

Pátranie po bezpečnom a trvalo udržateľnom zdroji energie predstavuje jednu z najväčších výziev našej doby. Je však otázne, koľko energie potrebujeme a či ju dokážeme získať z obnoviteľných zdrojov všetku. David MacKay sa pokúsil získať odpovede detailnou číselnou analýzou našej spotreby a výroby. Jeho závery neúprosne odhaľujú ťažké voľby, ktoré musíme uskutočniť; pre čitateľov so záujmom o energetickú budúcnosť ľudstva to bude poučné čítanie. Pre každého, kto má vplyv na energetickú politiku, či už vo vláde, obchode alebo neziskovej spoločnosti, by táto kniha mala byť povinná. Ide o fakticky presnú a ľahko čitateľnú správu o výzvach budúcnosti. Pôjde o kľúčovú referenciu v mojej knižnici po mnoho nasledujúcich rokov.

Tony Juniper

Bývalý generálny riaditeľ, Spoločnosť Priateľov Zeme

Napísané prítažlivou formou, s množstvom užitočných informácií a osviežujúco aktuálne.

Peter Ainsworth, poslanec

Tieňový štátny tajomník pre životné prostredie, výživu a záležitosti vidieka

David MacKay sa rozhodol vniesť svetlo do poloprávd, omylov a nezmyslov o klimatickej zmene a našich energetických potrebách, ktoré sa na nás len tak hrnú. Táto kniha je čitateľná, dostupná a dôkladná. Rozoberá nepodložené názory a privádza nás k faktom, ktoré hovoria samy za seba. Je to užitočný sprievodca pre laika aj pre odborníka. Srdečne ju odporúčam.

Graham Stuart, poslanec

Táto pozoruhodná kniha od experta v oblasti energetiky veľmi jasne a objektívne ukazuje rôzne možnosti naplnenia nízkouhlíkového spôsobu života, ktoré sú nám dostupné. Z týchto múdrych slov budú mať prospech tvorcovia legislatívy, výskumníci, súkromný sektor, aj neziskové organizácie.

**Sir David King, člen Kráľovskej spoločnosti
Hlavný vedecký poradca britskej vlády 2000-8**

Knihu som začal čítať včera. Aby som mohol pokračovať, nasledujúci deň som si zobral dovolenku. Je to skvelý, vtipný, zmysluplný, cenný kus práce a knihu usilovne posiadam všetkým známym.

**Matthew Sullivan
Carbon Advice Group Plc**

Je to skutočne cenný príspevok k prebiehajúcej debate o energetickej politike. Autor používa presvedčivú kombináciu jednoduchej aritmetiky a sedliackeho rozumu a vyvracia niektoré mýty a posvätné pravdy. Kniha je nevyhnutnou príručkou pre každého so záujmom o energetiku a snahou pochopiť čísla.

**Lord Oxburgh, člen Kráľovskej spoločnosti
Bývalý predseda Royal Dutch Shell**

Je to skvelá kniha s osobitým štýlom a obrovským množstvom informácií.

Prof. David Newbery, člen Britskej akadémie

Denne počujeme toľko prázdnych rečí o klimatickej zmene a energetických systémoch, že nutne potrebujeme autoritatívnu štúdiu o tom, čo je a čo nie je skutočne možné na dosiahnutie trvalo udržateľnej energie. Ide o 'povinné čítanie' nielen pre domácnosti a priemysel, ale pre každého ministra vo vláde a to nielen v Británii.

**Michael Meacher, poslanec
Bývalý minister životného prostredia**

Kniha Davida MacKaya určuje štandard pre budúce debaty o energetickej politike a klimatickej zmene. Jeho oddanosť faktom a racionálnym argumentom je obdivuhodná v oblasti zavalovanej zo všetkých strán propagandou a zbožnými prianiami a aj keď jeho závery nakoniec zastarajú, tak ako u všetkých vedeckých prác, jeho prístup zostane aktuálny veľmi dlho.

David Howarth, poslanec

Rozhodnutia o obnoviteľnej energii, ktoré v nasledujúcich rokoch (ne)urobíme, určia dedičstvo pre budúce generácie. Ako dospejeme k racionálnym rozhodnutiam? Vo svojej knihe nám David MacKay nehovorí, ktorú cestu si zvoliť, ale ako. Základná aritmetika stačí na rozlíšenie medzi zmysluplnou stratégiou a snom. Každý, kto cíti zodpovednosť za budúcnosť našej spoločnosti, by si mal knihu prečítať.

Prof. Dan Frenkel, člen Kráľovskej spoločnosti

Absolútne potešujúce čítanie. Neobvykle jasné a prítažlivé.

**Chris Goodall
Autor knihy Desať technológií pre záchranu planéty**

Kniha Davida MacKaya je intelektuálne uspokojivý, povzbudzujúci príspevok k pochopeniu komplexných záležitostí výroby a spotreby energie. Vyvracia citovo podfarbené nezmysly v energetickej politike a do rovníc dáva skutočné čísla. Mal by si ju prečítať každý, najmä politici.

Prof. Ian Fells, nositeľ Rádu britského impéria
Zakladajúci riaditeľ NaREC,
Centra pre novú a obnoviteľnú energiu

Zabránenie klimatickému chaosu si bude vyžadovať dômyselné sociálne, ekonomické a technologické rozhodnutia, vychádzajúce z dobrých informácií. Ekonomické a sociálne zákony nie sú nemenné. Politici by mali prispôsobiť ekonomiku obnoviteľnej energii a viesť kultúrnu zmenu smerujúcu k šetreniu energie. MacKay nám však pripomína, že ani oni „nedokážu zmeniť zákony fyziky!“. Samotná MacKayova kniha neponúka všetky odpovede, ale poskytuje dobrý základ a pomoc pre informované rozhodnutia jednotlivcov a čo je ešte dôležitejšie, aj celých spoločností.

Duncan McLaren
Prezident, Priatelia Zeme, Škótsko

MacKay vnáša vítanú dávku sedliackeho rozumu do debaty o zdrojoch a využití energie. Čerstvý vzduch nahrádza ten horúci.

Prof. Mike Ashby, člen Kráľovskej spoločnosti
Autor knihy Materiály a životné prostredie

Kniha Davida MacKaya je súčasťou úsilia, ktoré všetci venujeme obnoviteľnej energii. Je cenná najmä tým, že sa navyše zameriava na spotrebu a výrobu energie. Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou je rozsiahla výprava, ktorá poskytuje praktického sprievodcu aj odkazy na literatúru. Možno to vyznieva pre knihu o obnoviteľnej energii trochu ironicky, no MacKayove čísla ilustrujú výzvu, akou bude nahradenie fosílnych palív a dokladajú tiež, prečo je také nevyhnutné šetriť energiu a hľadať nové technológie.

Darran Mesem
Viceprezident Fuel Development
Royal Dutch Shell

Kniha, ktorá do detailov ukazuje skutočné fakty o obnoviteľnej energii vo forme, ktorá je ľahko čitateľná a zároveň zábavná. „Povinná literatúra“ pre všetkých, ktorí zohrávajú nejakú úlohu pri riešení klimatickej krízy.

Robert Sansom
Riaditeľ Strategického a trvalo udržateľného rozvoja
EFD Energia

Už toľko sa napísalo o uspokojení energetických potrieb v budúcnosti, že by sa napísanie ďalšej užitočnej knihy zdalo nepravdepodobné, no MacKay to dokázal. Je potešením čítať jeho knihu, ktorá osloví predovšetkým praktických ľudí s túžbou pochopiť, čo je a čo nie je v energetike dôležité. Podobne ako pred ním Lord Kelvin, profesor MacKay si uvedomuje, že v mnohých oblastiach a zvlášť v energetike, nie je možné javy správne pochopiť bez kvantifikácie. Preto je táto fascinujúca kniha aj studňou kvantitatívnych informácií pre tých, ktorí chcú rozprávať so svojimi priateľmi o výrobe a spotrebe energie, dnes aj v budúcnosti.

Dr. Derek Pooley
nositeľ Rádu britského impéria
Bývalý hlavný vedec ministerstva energetiky,
riaditeľ Britskej atómovej energie
a člen poradenskej skupiny EÚ pre energetiku

Zúfalo potrebujeme znížiť našu závislosť od fosílnych palív a nájsť obnoviteľné zdroje energie. Ale väčšina diskusií sa nezakladá na faktoch o ich spotrebe a výrobe. Táto kniha medzeru vyplňa prístupnou formou a mala by byť v každej knižnici.

Prof. Robert Hinde, nositeľ Rádu britského impéria,
člen Kráľovskej spoločnosti a Britskej akadémie
Výkonný Výbor, Pugwash UK

Áká úžasná kniha... Cítim sa lepšie, asi tak ako pacient s rakovinou, ktorý sa dozvedel všetko o svojej chorobe.

Richard Procter

Nádherne jasné a úžasne čitateľné.

Prof. Wily Brown

nositeľ Rádu britského impéria

Knihu som otvoril a takmer už nezatvoril...

Matthew Moss

Sedliacky rozum, technická gramotnosť a pár výpočtov je dobrý spôsob, ako pomôcť čitateľovi rozlíšiť pravdu od výmyslov pri výzve rozvoja náhrady fosílnych palív. MacKay napísal vynikajúcu knihu zaoberajúcu sa naliehavým problémom.

Prof. William W. Hogan
Raymond Plank Profesor Globálnej Energie
John F. Kennedy School of Government,
Harvardova Univerzita

Väčšina vedcov dnes do určitej miery popiera realitu; vieme, že existencia ľudí bude v najbližšej budúcnosti čeliť obrovským problémom, ale väčšinou tieto problémy ignorujeme. Pokračujeme v práci na vedeckých problémoch, ktoré nás zaujímajú a pokračovanie v tejto záľube zároveň prináša životný štýl náročný na emisie uhlíku s tým ako potrebujeme odletieť na najbližšiu konferenciu. Ale David MacKay ukázal svojim kolegom čo je potrebné robiť a využil svoj dôvtip aby rozobral otázku, ako môžeme získať dostatok energie, aby sme mohli žiť tak ako doteraz. Je to naozaj jasná kniha, ktorá vyvracia mýty a zbožné priania, ktoré zahmlievajú cestu využívaniu trvalo udržateľnej energie. Neprikazuje, ale núti čitateľa, aby poctivo premýšľal o našej spotrebe energie a o tom, ako je potrebné zmeniť životný štýl, aby bolo možné vyhovieť možnostiam alternatívnych zdrojov energie. Závety knihy sú v mnohých ohľadoch depresívne. Typický životný štýl Britov výrazne prevyšuje množstvo energie, ktoré dokážu poskytnúť „neškodné“ zdroje, ako napríklad vodné elektrárne. To vedie diskusiu kontroverzným smerom, smerom k jadrovej energii. Veľa čitateľov bude prikladať vyšší význam, ako MacKay, možnosti rozsiahlej katastrofy akou bol Černobyl'. Hlavné ale je, aby sme sa držali faktov: ako hovorí MacKay, „Nie som zástanca jadra. Som zástanca aritmetiky.“ Tento výrok sa výborne hodí na štýl celej knihy: na každej stránke sa nám dostane jasné (a často humorné) vysvetlenie limitov daného zdroja energie a zostáva len na čitateľovi aby rozhodol, čo dáva zmysel. Veľmi dobré je, že kniha obsahuje aj množstvo dodatkov, ktoré sa venujú fyzikálnym základom výroby energie. Takže je nám hneď jasné, prečo lietanie už nebude príliš účinnejšie, a že v dlhodobom horizonte sa budeme musieť naučiť žiť bez neho. To je nakoniec to, čo robí knihu inšpirujúcou viac ako depresívnou: intelektuálna zvedavosť, ktorá sa snaží pochopiť ako veci fungujú, nám priniesla problémy technologickej spoločnosti, ale zároveň nám dala nástroje, aby sme našli možnú cestu von. Je povinnosťou každého, aby sa týmto problémom zaoberal a výborne napísaná kniha Davida MacKaya pomôže verejnosti aj vedcom, aby prišli na to, čo je potrebné urobiť.

**Prof. John Peacock, člen Kráľovskej spoločnosti
Kozmológ, Riaditeľ Astronomického inštitútu,
Edinburgh University**

Kniha profesora MacKaya by bola hodnotná už len pre informácie, ktoré obsahuje. Ide však tiež o veľmi dobré čítanie, pretože ukrýva prekvapenia, ktorú po troške rozdáva čitateľovi. V časoch, kedy sú záležitosti energetickej politiky a životného prostredia stredobodom medzinárodného záujmu, ale pri

verejných diskusiách zároveň aj obľúbeným terčom dezinformácií a nereálnych plánov, MacKay veľmi ostro a jasne oddeľuje skutočnosť od nezmyslov. Rozoberá aj tie najkrajnejšie možnosti riešenia problémov energeticky a ukazuje, čo ešte je možné a čo už je len zbožné želanie. Robí to však natoľko racionálnym štýlom, že odzbrojí aj toho najväčšieho pochybovača. Talent, ktorým dokáže vysvetliť problém zábavnou formou spôsobil, že jeho študentom závidím, hoci prostredníctvom knihy všetci môžeme vidieť, ako tento naozaj úžasný štýl učenia vyzerá.

Tom Blees

**Autor knihy Prescription for the Planet – The Painless
Remedy For Our Energy & Environmental Crises**

Ako sa vlády snažia odvrátiť ekonomickú aj klimatickú krízu pomocou zelených podporných opatrení a financií – pritom zároveň podporujú spotrebu ako aj náhly prechod od fosílnych palív k trvalo udržateľnej energii – nemohla sa kniha Davida MacKaya objaviť v lepších okamihoch. Na základe princípov presnej, kvantitatívnej analýzy bez zveličovania, vysvetľuje jasne a výstižne väčšinu informácií, ktoré potrebujú politici vedieť, aby sa mohli v energetickej politike správne rozhodovať. Mali by si ju prečítať všetci politici rozhodujúci v oblasti energetiky a podnebia.

Robert Bailey

Seniorský poradca pre politiku, Oxfam, Veľká Británia

Považujem túto knihu za úplne dokonalú a odporúčam ju takmer doterne každému, s kým som sa nedávno rozprával o „obnoviteľnej energii“. Kapitoly ku koncu (27, 28, 29, 32) sú veľmi, veľmi podnetné. Nedostatok politického odhodlania v tejto oblasti je odsúdeniahodný a pri čítaní rozporuplných vyjadrení Tonyho Blaira mi v žilách vrela krv!

David Howey

Nový Zéland

Kniha Davida MacKaya o obnoviteľnej energii predstavuje úplný zdroj pre zhodnotenie jednotlivých možností výroby energie a jej účinnejšej spotreby. Učiteľia, študenti a všetci inteligentní obyvatelia tu nájdu všetky prostriedky, aby mohli rozumne premýšľať o trvalej udržateľnosti. Detailne a pomocou čísiel rozoberá slnečnú, veternú, prílivovú a veľa ďalších technológií tak, že je možné ich medzi sebou kvantitatívne porovnať. Či už vás zaujíma rozumne presadzovanie určitej technológie, alebo zníženie vlastnej spotreby energie, táto kniha je dobrý začiatok. Jej závery vychádzajú zo základných princípov fyziky, ktoré prehľadne vysvetľujú technické

kapitoly na konci knihy. Takže kniha je takisto názorná ukážka toho, ako je možné využiť základné poznatky vedy pri kľúčových rozhodnutiach v energetike v nasledujúcich desaťročiach. Ide o najdôležitejšiu knihu, ktorá využíva vedu pre dôležité problémy verejnosti, akú som tento rok čítal.

Prof. Jerry Gollub
Fyzik, Haverford College a
Pennsylvánska univerzita,
člen Americkej národnej akadémie vied

MacKayova kniha patrí medzi najviac názorné, dobre analytické a dobre napísané knihy o energii, aké som kedy videl. Prostredníctvom erudovaného, ale žartovného kvantitatívneho prístupu, MacKay osvetľuje obrovské výzvy, ktoré sa spájajú s možnými cestami využitia obnoviteľnej energie. Táto hrdinská práca sa stavia k energetickým výzvam priamo a sleduje fyzikálne limity okolitého sveta, s ktorými musíme pracovať. MacKay tak prináša kreatívne a užitočné nástroje, pomocou ktorých dokážeme kvantifikovať, vizualizovať a porovnať energetické možnosti na úrovni jednotlivcov a sami rozhodujeme, čo je zmysluplné. Ako pri obliatí tváre studenou vodou nás táto kniha prebúdzá z opojenia fosílnymi palivami a jasne ukazuje, že sa musíme dať do práce, ak si chceme náš energeticky náročný životný štýl zachovať.

Doc. Tom Murphy
Fyzik, San Diego

Každý, koho zaujíma prežité ľudstva by si mal túto knihu prečítať. Je naplnená faktami a štatistikami o riešeníach a ukazuje, že sa musíme prestať hádať, ktoré riešenie je najlacnejšie, alebo najlepšie, pretože ich potrebujeme všetky. Čítal som knihy o energii a klimatickej zmene už 20 rokov a táto je z nich najlepšia.

Stephen Tindale
Spoluzakladateľ Climate Answers, bývalý generálny
riaditeľ Greenpeace vo Veľkej Británii

Klimatická zmena je skutočná. Klimatická zmena prebieha. Komu veríte, že ju vyrieši – politici, obchodníci, zelená loby? Neverím nikomu z nich. Dobrá správa je, že už sa na nich viac spoliehať nemusíme. David MacKay vo svojej výbornej knihe „Obnoviteľné zdroje energie - s chladnou hlavou“ ukazuje, ako odlíšiť skutočnosť od zavádzania, takže sa môžeme sami rozhodnúť, kto hovorí pravdu a kto si ju prispôsobuje vlastným záujmom. Je to povinné čítanie pre každého, kto chce pomôcť vyliečiť svet.

Carol Atkinsonová
Generálna riaditeľka BRE Global

„Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou“ je vynikajúca kniha. V nej nájdeme argumenty vychádzajúce zo spoľahlivých údajov, prostredníctvom ktorých si osvojíme trvalo udržateľný prístup, potrebný pre zásobovanie ľudí energiou. Údaje, ktoré sú tak často zle interpretované a nepochopené, tu autor pozorne a detailne zhrnul. Z nich vychádza jasná a objektívna analýza jednotlivých zdrojov energie, ktorá pomáha ľuďom pri rozhodnutiach o jej využívaní. Kniha je hodnotná už len pre zdroje informácií, ktoré obsahuje. Tie, spolu s hravým a prístupným štýlom argumentovania Davida MacKaya z knihy robia potrebnú a užitočnú knihu pre odborníkov, ako aj laikov.

Dr. Mike Sheppard
Člen Schlumbergerovej nadácie
Cambridge

Rozhovory, noviny a komisie má často nútiť uvažovať: „sú to iba fyzici, ktorí sa zaujímajú o to, aké dôležité, či zásadné sú problémy?“ Tu sú ľahko stráviteľné čísla a spotreba a dostupnosť energie. Fantastický úspech.

Prof. Volker Heine
člen Kráľovskej spoločnosti

Táto fascinujúca, provokatívna a realistická kniha sa drží svojho nadpisu a dáva nám návod pre jasné uvažovanie o klimatickej zmene.

Sir John Sulston
Nositeľ Nobelovej ceny
Riaditeľ Ústavu vedy, techniky a inovácií, Univerzita
v Manchestri

Jedna z hlavných tém výbornej MacKayovej knihy je, že časté úslovie „každý kúsok pomáha“ je vo svete energie úplný nezmysel, kde „ak každý urobí málo, spolu dosiahneme iba málo.“ Namiesto toho potrebujeme a to rýchlo, energiu slnečnú, veternú, prílivovú, jadrovú apod., a aj to s neistým výsledkom. Ide skutočne o významnú knihu a naliehavú výzvu k činu, ktorá búši na dvere, že tento problém je obrovský. Ťažko v nájde demagógiu. Čitateľom sa odporúča urobiť si vlastné závery, potom čo pomocou jednoduchých výpočtov zistili, ako každé závažnejšie vyhlásenie naozaj zodpovedá skutočnosti. Ak by si túto knihu prečítalo dosť ľudí a to čím skôr, bol by to prvý krok smerom k záchrane.

Prof. Wolfgang Rindler
Fyzik, Texaská univerzita v Dallase

Ak by každý žil tak ako my na západe, potrebovali by sme tri planéty pre uspokojenie našich potrieb. Nemusíte byť popredný vedec, aby ste si uvedomili, že to nie je trvalo udržateľné. Je však také lákavé to ignorovať. Ľudia, ktorí budú najviac trpieť pre naše rozhadzovačné vyčerpanie zdrojov, sú tí na druhom konci sveta, v sub-saharskej Afrike a Ázii a naše ešte nenarodené deti a vnúčatá. Nevidíme ich a nemyslíme na nich. Ospravedlňujeme naše konanie tvrdením, že nevyhnutný technologický pokrok prinesie riešenie. Nebudme Spasiteľmi, tvrdíme. Vo svojej knihe nás David MacKay vracia späť na Zem. Pomocou základnej fyziky ukazuje, ako funguje svet a definuje čo je a čo nie je možné. To všetko vzťahuje na jednotlivcov, na každého z nás a ukazuje tým, ako môžeme dosiahnuť významné úspory v spotrebe. Čelíme naliehavému problému vyčerpania zásob energie v najbližších desaťročiach a už dnes potrebujeme radikálne riešenia. Pred sebou máme úžasnú knihu, ktorá ponúka cesty vpred, oživenú humorom a osobnými skúsenosťami. Aby ste ju prečítali a pochopili, nepotrebujete byť prvotriedny vedec: ale ak ním ste, všetky rovnice a referencie, ktoré potrebujete, nájdete na konci knihy.

Prof. Bob White, člen Kráľovskej spoločnosti
Geofyzik, univerzita Cambridge

Energetická politika je pre svet kľúčová a široká verejnosť by sa do debaty a rozhodnutí mala zapojiť. Takáto debata však musí vychádzať z realistických čísiel a dobrej fyziky. V knihe sú jasne a zrozumiteľne vysvetlené všetky kľúčové okolnosti. Napísaním knihy vykonal David MacKay veľkú službu pre spoločnosť.

Prof. Martin Rees, člen Kráľovskej spoločnosti
Astronóm, prezident Kráľovskej spoločnosti

Takúto knihu sme potrebovali veľmi dlho. Je to kniha, ktorá rozoberá energiu od základov, demystifikuje prevládajúcu literatúru a robí tak zrozumiteľne. Malo by ísť o prvý krok pre každého, kto sa snaží porozumieť princípom obnoviteľnej energie.

Prof. Peter Guthrie, držiteľ Rádu britského impéria,
člen Kráľovskej spoločnosti
Riaditeľ spolku Inžinierov bez hraníc

Je to jedna z najlepšie napísaných kníh v energetike. Štýl je jasný a čítavý. Autor veľmi dobre volí grafy a obrazové prílohy, takže vytvárajú vynikajúci, plastický prehľad o tematike. Neupadá do bežnej pasce technicky vzdelaných ľudí, ktorí sa domnievajú, že čím viac čísel uvedú, tým bude obrázok jasnejší. Sebakázeň má v tom zmysle, že starostlivo zvažuje, koľko faktov je čitateľ schopný uniesť. Farebné a grafické prepojenie textu a obrázkov by mohlo byť vzorom pre väčšinu podobných kníh. Na druhej strane sa jedná o nebezpečnú knihu a zradný prístup, pretože ukazuje

iba polovicu problematiky, teda koľko obnoviteľných zdrojov sme schopní využiť, ale už sa nezmieňuje o tom, ako to ovplyvní prenosovú sústavu, či poriadne nerozvedie podporné prostriedky. Veď každá kapacita vetra alebo slnka musí byť zálohovaná buď tepelnou elektrárnou alebo modernou jadrovou elektrárnou. Tu autor bohužiaľ používa rovnaký prístup ako bežné priemyselné lobby a tým je výber iba tých pozitívnych informácií.

RNDr. Václav Cílek, CSc.
Riaditeľ Geologického ústavu AV ČR

Spomedzi mnohých kníh, ktoré som na túto tému čítal, je táto najpresvedčivejšia a najvýstižnejšia. Excelentné dielo, dokonalá kombinácia formy a obsahu. To by bolo uspokojujúce, ak by to zároveň neodhaľovalo závažnosť problému. Kniha je naozaj veľmi dojímavá, s nádychom hroziacej tragédie: vzhľadom na časovú náročnosť a rozsah výzvy. Skúška správnej reakcie je zastrešujúca. Kríza má stále nádych nereálnosti – nič viditeľné sa zatiaľ nestalo – a zároveň je rovnako nevyhnutná, ako sa nám dnes javí prvá a druhá svetová vojna. Hlavný prínos spočíva v porovnaní možností jednotlivých druhov energie jednotným a veľmi jasným spôsobom, s presvedčivou presnosťou. Obzvlášť projekt DESERTEC (využívajúci slnečnú energiu na Sahare) ukazuje obrovské úsilie, ktoré dokážu vyvinúť vlády – najmä ak si uvedomujú rozsah problémov. Bude si to vyžadovať snahu národov porovnateľné so svetovými vojnami, aby sme sa s problémami vyrovnali – musíme ale urobiť niečo hmatateľné, čo poslúži ako štartovný bod. Ide o také riešenia, ktoré jednotlivé národy zvládajú dobre. Ide o rozsah podobný vybudovaniu automobilového priemyslu a elektrickej siete. A ak sa nám to celkom nepodarí, ak sa budeme musieť uskromniť, stále máme možnosť sa adaptovať.

Prof. Avner Offer
Historik, ekonóm, Oxford College

Kniha „Obnoviteľné zdroje energie - s hladnou hlavou“ jasne ukazuje vedecké pozadie správ o energii. Je to spoľahlivý sprievodca pre odborníkov, aj začiatočníkov.

Prof. Daniel Kammen
Berkeley

Napriek všetkému, čo bolo nedávno napísané o úsporách, pôvode a spotrebe energie, a o množstve vypúšťaného CO₂ jej výrobou, získať jasný pohľad na situáciu je ťažké. Nová kniha Davida MacKaya ponúka systém, ktorý ľudia potrebujú pre skutočné pochopenie tejto kriticky dôležitej témy.

Bill Gates
Zakladateľ spoločnosti Microsoft

Obnovitel'né zdroje energie – s chladnou hlavou

David JC MacKay

UIT
CAMBRIDGE, ENGLAND

Prvýkrát publikované v Anglicku v roku 2009.

UIT Cambridge Ltd.

PO Box 145

Cambridge

CB4 1GQ

England

Tel: +44 1223 302 041

Web: www.uit.co.uk

Copyright © 2009 David JC MacKay

Všetky práve vyhradené

ISBN 978-0-9544529-3-3 (brožúra)

ISBN 978-1-906860-01-1 (viazaná kniha)

David J C MacKay si vyhradzuje právo na autora tejto knihy v súlade s autorským právom, vývojom a patentovým aktom z roku 1988.

Aj keď zámerom tejto publikácie je poskytnutie presných a zodpovedných informácií v súvislosti s predkladanou problematikou, ani autor a ani vydavateľ sa nevyjadrujú (explicitne či implicitne) k presnosti informácií uvádzaných v tejto knihe a neprijímajú žiadnu legálnu zodpovednosť alebo ručenie za chyby alebo neúplné údaje, ktoré sa môžu v knihe vyskytnúť. Táto práca je podporená s pochopením, že UIT Cambridge Ltd a jej autori poskytujú informácie, ale nepokúšajú sa poskytovať technické riešenia alebo iné profesionálne služby. Ak sú takéto služby potrebné, treba vyhľadať asistenciu príslušného profesionála.

Veľa označení, ktoré používajú výrobcovia a predajcovia pre rozlíšenie výrobkov, sa označujú ako obchodné známky. UIT Cambridge Ltd uznáva obchodné známky ako vlastníctvo ich majiteľov.

1 0 9 8 7 6 5 4 3 2 1

3.5.2

Pre tých, ktorí nezažijú výhody zásob energie
nahromadenej v priebehu dvoch miliárd rokov.

Predslov k slovenskému vydaniu

Napriek neúspechu konferencie v Kodani, ktorá mala byť nástupcom Kyótskeho protokolu, klimatická zmena naďalej postupuje neúprosným tempom. Podľa posledných vedeckých poznatkov je koncentrácia oxidu uhličitého najvyššia za posledných 15 až 20 miliónov rokov, rýchlosť acidifikácie oceánov je najvyššia za posledných 65 miliónov rokov a tento rok má viac ako 50 % šancu, že bude globálne najteplejší od počiatku inštrumentálnych meraní teplôt. Arktický ľad sa rýchlo stenčuje a jeho plocha sa zmenšuje, ľadovce rýchlo ubúdajú takmer na celom svete a ekosystémy Zeme majú stále väčšie problémy adaptovať sa na zrýchľujúce sa zmeny. Vedci varujú pred potravinovou krízou a ceny ropy rastú napriek prebiehajúcej ekonomickej recesii. Obnoviteľné zdroje napriek extrémnej podpore zo strany mnohých vlád stále zabezpečujú iba okolo 1 % globálnej spotreby energie. Tieto a mnoho ďalších dôvodov prispelo k tomu, prečo sme sa rozhodli preložiť túto knihu a sprístupniť ju tak širšej verejnosti aj na Slovensku.

Knihu odporúčame prečítať všetkým, ktorí majú úprimný záujem a snahu riešiť problém klimatickej zmeny a energetickej bezpečnosti. Nepochybne nájdú návod, kde začať.

Kolektív prekladateľov, 22. februára 2010

Myšlienka preložiť túto publikáciu bola inšpirovaná projektom British Council s názvom Challenge Europe. Ďakujeme British Council za umožnenie jej realizácie a podporu, ktorú nám poskytli.

Prekladatelia: Mgr. Alexander Ač, PhD. (Ústav systémovej biológie a ekológie, v.v.i., Brno), Ing. Jozef Rusnák, PhD. (Technická univerzita v Košiciach).

Jazykoví editori: Michal Ač, Danka Ačová.

Odborní editori: Dr. Peter Weiss (Iwamoto Laboratory, Department of Physical Electronics, Tokyo), Ing. Július Ložek, CSc., Ing. Marek Hvizdoš, PhD. (Technická univerzita v Košiciach).

Za významnú pomoc pri preklade ďakujeme: Mgr. Jozefovi Pechovi (Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava), Mgr. Jánovi Lopatáňovi (Warwick University), Mgr. Jánovi Štěrbovi (Juhocheská univerzita)

Grafická úprava: Alexander Ač

Vydavateľ slovenského prekladu: Technická univerzita v Košiciach,
Fakulta elektrotechniky a informatiky, Letná 9, 042 00 Košice,

Slovenská republika

Rok vydania: 2010

Vydanie: prvé

ISBN: 978-80-553-0417-5 (elektronická verzia)

Predslov

O čom je táto kniha?

Obávam sa, že plánované znižovanie emisií v Británii sú len prázdne slová – táranie o využití obnoviteľných zdrojov. Každý tvrdí, aké je dôležité zbaviť sa závislosti od fosílnych palív a všetkým nám odporúčajú, aby sme prispeli, ale mnohé z týchto odporúčaných krokov jednoducho nedávajú zmysel.

Prázdnych slov je dnes veľa, pretože ľudia podliehajú emóciám (napríklad kvôli veternej alebo jadrovej energii) a nikto nehovorí o číslach. Ak už niekto spomenie číslo, zvolí ich tak, aby zneli pôsobivo a hrali do kariet predkladaným argumentom, namiesto toho, aby boli zmysluplným príspevkom do diskusie.

Toto je jednoduchá a priamočiara kniha zameraná na čísla. Jej cieľom je previesť čitateľa pomedzi prázdne slová a doviest' ho k činom, ktoré skutočne niečo zmenia a k opatreniam, ktoré naozaj majú zmysel.

Táto kniha je zadarmo

Knihu som nepísal pre peniaze. Napísal som ju, pretože obnoviteľné zdroje energie sú dôležité. Ak chcete knihu zadarmo, nie je problém: nájdete ju na internetovej stránke www.withouthotair.com.

Knihy je zadarmo aj z iného dôvodu: môžete zadarmo využívať *všetky* jej materiály, *okrem* kresieb a fotiek s menami fotografov, podľa licencie Creative Commons Attribution-Non-Commercial-Share-Alike 2.0 UK: England & Wales Licence; (kresby a fotky nie je možné šíriť, pretože autori mi povolili iba použiť ich diela, avšak nie *zdieľať* ich podľa Creative Commons Licence.) Privítam, ak čitatelia budú používať materiály najmä na vzdelávacie účely. Moje internetové stránky obsahujú samostatné súbory s vysokou kvalitou každého obrázku obsiahnuté v knihe.

David MacKay pre slovenskú verziu knihy

Neviem o tom, že by za 12 mesiacov od vydania knihy „Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou“ boli objavené nejaké nové fyzikálne zákony. Energiu stále nemožno vyrobiť ani zničiť; teplo stále neprúdi od chladnejších k teplejším predmetom a dva plus dva sú stále štyri. Preto dúfam, že jednoduché a približné výpočty v tejto knihe zostanú užitočné. Veľmi ďakujem Alexandrovi Ačovi, Jožovi Rusnákovi a Jožovi Pechovi za preklad knihy do slovenčiny. Pozývam všetkých čitateľov, ktorí by radi zlepšili argumenty knihy, aby prispeli ďalšími údajmi, novými modelmi, alebo lepšou analýzou k wiki verzii knihy na <http://www.withouthotair.com/Wiki.html>. Ďakujem veľmi za prečítanie!

Ako s knihou pracovať

Niektoré kapitoly začínajú výrokom. Prosím, majte na pamäti, že zvolené výroky neznamenajú, že s nimi súhlasím. Premýšľajte o nich skôr ako o výzvach, hypotézach, ktoré majú byť podrobené kritickému rozboru.

Mnohé z úvodných kapitol (s číslami 1, 2, 3,...) majú svoje pokračovanie v technických kapitolách (A, B, C,...) k nim priradených. Tieto technické kapitoly sa začínajú na strane 254.

Na konci každej kapitoly sú ďalšie poznámky a odkazy na zdroje a referencie. Domnievam sa, že poznámky pod čiarou pôsobia rušivo, ak zasahujú do hlavného textu, takže v tejto knihe ich nenájdete. Ak sa bez nich nezaobídete, pridajte ich – takmer každé zásadnejšie tvrdenie v texte obsahuje odkaz na konci s odporúčaním na ďalšiu literatúru.

V texte takisto nájdete odkazy na internetové zdroje. Ak je odkaz príliš dlhý, využil som službu TinyURL a vložil som skrátený kód odkazu do textu, napr. – [yh8xe] – a celý odkaz na konci knihy na strane 344. yh8xe je skratka pre tiny URL, v tomto prípade <http://tinyurl.com/yh8xse>. Úplný zoznam všetkých použitých URLs v tejto knihe nájdete na <http://tinyurl.com/yh8xse>.

Ak zistíte, že odkaz už nefunguje, môžete nájsť stránku v internetovom archíve Wayback Machine [f754].

Privítam akékoľvek pripomienky a opravy. Uvedomujem si, že občas dôjde k chybám, v skorších verziách knihy som sa v niektorých číslach mýlil až dvojnásobne. Aj keď dúfam, že chýb v knihe je menej a sú menej závažné, pravdepodobne budem tieto čísla priebežne meniť spolu s tým, ako budem zisťovať nové fakty o obnoviteľnej energii.

Ako citovať túto knihu:

David J. C. MacKay. *Sustainable Energy – without the hot air.* UIT Cambridge, 2008. ISBN 9780954452933. Voľne dostupná na www.withouthotair.com.



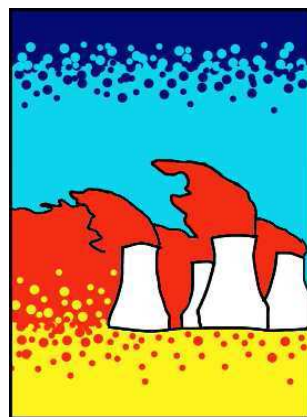
Obsah

I	Čísla, nie prívlastky	1
1	Motivácia	2
2	Rovnováha	22
3	Autá	29
4	Vietor	32
5	Lietadlá	35
6	Slnko	38
7	Ohrev a chladenie	50
8	Voda	55
9	Svetlo	57
10	Vietor z morí	60
11	Elektrické spotrebiče	61
12	Vlny	73
13	Jedlo a poľnohospodárstvo	76
14	Príliv a odliv	81
15	Výrobky	88
16	Geotermálna energia	96
17	Verejné služby	100
18	Dokážeme žiť z obnoviteľných zdrojov?	103
II	Skutočná zmena	113
19	Každá VEĽKÁ VEC pomáha	114
20	Lepšia doprava	118
21	Lepšie vykurovanie	140
22	Efektívne používanie elektrickej energie	155
23	Trvalo udržateľné fosílné palivá?	157
24	Jadrová energia?	161
25	Pomoc obnoviteľných zdrojov z iných krajín?	177
26	Fluktuácie a uskladnenie energie	186
27	Päť energetických plánov pre Britániu	203
28	Náklady v perspektíve	214
29	Čo robiť teraz?	222
30	Energetické plány pre Európu, Ameriku a svet	231
31	Posledná vec, o ktorej by sme mali hovoriť	240
32	Povedať áno	250
	Podakovanie	251

III	Technické kapitoly	253
A	Autá II	254
B	Vietor II	263
C	Lietadlá II	269
D	Slnko II	283
E	Vykurovanie II	289
F	Vlny II	307
G	Prílív a odliv II	311
H	Výrobky II	322
IV	Užitočné údaje	327
I	Rýchle referencie	328
J	Populácie a rozlohy	338
K	História energie Veľkej Británie	342
	Zoznam internetových odkazov	344
	Bibliografia	348
	Index	355
	O autorovi	366

Časť I

Čísla, nie prívlaskty



1 Motivácia

Žijeme v čase veľkej ignorancie vedy, kedy prevládajú emócie a pocity nad pravdou.

James Lovelock

Nedávno som čítal dve knihy, jednu napísal fyzik a druhú ekonóm. V knihe *Bez paliva* fyzik z Kalifornského technologického inštitútu (Caltech) David Goodstein opisuje nadchádzajúcu energetickú krízu spôsobenú koncom Éry ropy. Táto kríza príde čoskoro, predpovedá Goodstein: kríza bude bolestivá, ale nie v čase, keď vyčerpáme poslednú kvapku ropy, ale v čase, keď ťažba ropy nebude stačiť na pokrytie dopytu – možno už v rokoch 2015 alebo 2025. Navyše, ak by sa nám nejakým magickým spôsobom okamžite podarilo prejsť z ropy na jadrovú energiu, hovorí ďalej v knihe, ropnú krízu by jednoducho nahradila kríza *jadrová* v priebehu približne 20 rokov, keďže sa zásoby uránu tiež vyčerpajú.

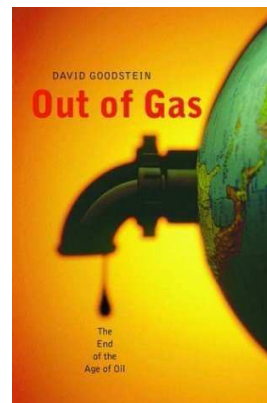
V *Skeptickom ekologovi* Björn Lomborg vykresľuje celkom odlišný vývoj v štýle „Všetko je v poriadku.“ Dokonca sa v skutočnosti situácia neustále zlepšuje. Ďalej sa dozvedáme, že nám nehrozí výraznejšia energetická kríza, lebo energie je dostatok.

Ako je možné, že dvaja inteligentní ľudia dospeli k takým rozdielnym záverom? Musel som teda zistiť, ako to je.

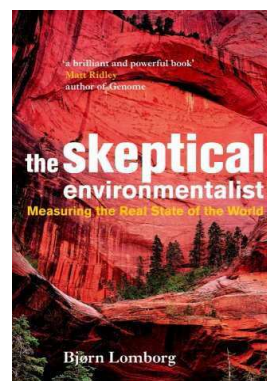
V roku 2006 sa téma energie dostala aj na predné stránky novín v Anglicku. Hrozba klimatickej zmeny a strojnásobenie cien zemného plynu za posledných 6 rokov rozprúdili búrlivú debatu. Ako by mala Veľká Británia zabezpečiť obyvateľom energiu? A ako by to mal urobiť svet?

„Veterná či jadrová?“, znie jedna z otázok. Ťažko si predstaviť väčšiu rozpoltenosť názorov expertov v nejakej inej problematike. V diskusii o navrhovanej koncepcii rozvoja jadrovej energie povedal Michael Meacher, bývalý minister životného prostredia: „Ak chceme znížiť emisie skleníkových plynov o 60 %... do roku 2050, nemáme inú možnosť, len s pomocou obnoviteľných zdrojov“. Sir Bernard Ingham, bývalý štátny zamestnanec, zástanca jadrovej energie, povedal: „Každý, kto sa spolieha na to, že nám obnoviteľné zdroje zabezpečia dostatok [energie], žije v inom svete a je, podľa môjho názoru, nepriateľom ľudí.“

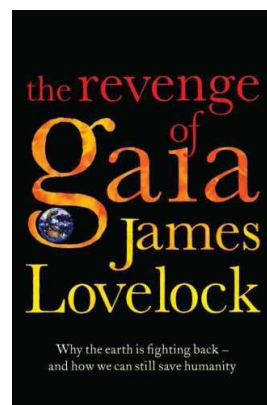
Podobné rozpory môžeme vypozerovať aj vo vnútri ekologického hnutia. Všetci sa zhodnú, že *niečo* je potrebné nevyhnutne urobiť, ale *čo*? Jonathon Porritt, predseda Komisie pre obnoviteľný rozvoj, píše: „Dnes neexistuje opodstatnenie pre uprednostňovanie plánov pre nový jadrový program a... akýkoľvek takýto plán by bol v rozpore s [vládnou] stratégiou trvalo udržateľného rozvoja.“ A ďalej: „bezjadrová stratégia by mohla a mala byť dostatočná na dosiahnutie úspor fosílnych palív, ktoré budeme potrebovať do roku 2050 a neskôr.“ Naopak ekolog James Lovelock v



David Goodstein *Bez paliva* (2004)



Björn Lomborg *Skeptický ekolog* (2001)



Pomsta planéty Gaia: Prečo sa Zem bráni – a ako ešte môžeme zachrániť ľudstvo
James Lovelock (2006) . © Allen Lane

knihe *Pomsta planéty Gaia* píše: „Dnes už je neskoro na zavedenie trvalo udržateľného rozvoja.“ Podľa neho je energia z jadrového štiepenia, aj keď nie ako dlhodobá záchrana pre našu sužovanú planétu, „jediná dostupná a efektívna liečba, ktorú dnes máme.“ Veterné turbíny sú „iba... gestom, ktoré má ukázať ekologické úmysly [našich politikov].“

Celá táto debata je principiálne iba o číslach. Koľko energie dokáže ktorý zdroj poskytnúť, pri akých ekonomických a sociálnych nákladoch, a pri akých rizikách? Avšak o aktuálnych číslach sa hovorí iba málokedy. Pri diskusiách ľudia hovoria iba „Jadrová energia je príliš drahá“, alebo „Máme *obrovské* zdroje veternej a príливovej energie*“. Problém s takýmto štýlom argumentácie je v tom, že nám nestačí vedieť, že niečo je *obrovské*: potrebujeme vedieť, aké je to obrovské v porovnaní s iným obrovským a to konkrétne s *našou obrovskou spotrebou*. Aby sme dokázali porovnávať, potrebujeme čísla, nie prívlastky.

A keď sa aj používajú čísla, sú také obrovské, že ich význam je nejasný. Čísla sú volené tak, aby vyvolali dojem a získali podporu namiesto toho, aby informovali. „Obyvatelia Los Angeles prejdú autom 227 miliónov kilometrov – vzdialenosť medzi Zemou a Marsom – každý deň.“ „Každý rok je zničených 110 tisíc kilometrov štvorcových tropického dažďového lesa.“ „Briti odhodajú 2,6 miliardy krajcov chleba každý rok.“ „Množstvo vyhodeného papiera v Anglicku by naplnilo 103 448 poschodových autobusov.“

Ak by sa všetky neefektívne návrhy riešenia energetickej krízy poukladali za sebou, dosiahli by na Mesiac a späť... ale to už som odbočil.

Aký je výsledok nedostatku zmysluplných čísel a faktov? Že sme zaplavení množstvom nezmyslov a hlúposť. BBC odporúča spôsob, akým môže každý z nás prispieť k záchrane sveta – napríklad „odpojte zo siete nabíjačky mobilných telefónov, keď ich nepoužívate“; ak niekto namietne, že nabíjačky mobilov *nie sú* číslom jeden v spotrebe energie, objaví sa heslo „Každá úspora je dobrá“. Každá úspora dobrá? Realistickejšie je heslo:

Ak každý urobí málo, všetci dosiahneme iba málo.

Aj firmy prispievajú k pravidelnej dávke hlúposti vtedy, keď nám hovoria, aké sú dokonalé, alebo ako nám pomôžu s „naším kúskom pomoci.“ Napríklad internetová stránka BP (British Petroleum) vyzdvihuje zníženie emisií skleníkových plynov (CO₂), ktoré by mali dosiahnuť zmenou náteru, ktorou maľujú svoje lode. Verí tomu niekto? Určite je každému jasné, že emisie nie sú otázkou farby, ale otázkou *obsahu* tankera – a nemal by ten zaujímať spoločnosť, ak chceme dosiahnuť významné zníženie emisií CO₂? Na stránkach BP takisto možno nájsť rozhrešenie pre vašu uhlíkovú stopu, na „targetneutral.com“, kde sa dozviete, ako je možné „neutralizovať“ všetky vaše emisie CO₂, a „Zem to nič nestojí“. To všetko iba za 40 libier ročne. Ako je to možné?! Ak by to bola pravda, vláda by dokázala vyriešiť problém klimatickej zmeny za vreckové predsedu vlády!

*pozn. prekl.: Najčastejšie používaný termín, ale presnejší termín je slapová energia, pretože energia sa využíva ako pri prílive, tak aj pri odlive. Používa sa aj termín energia prílivu.

Ešte trestuhodnejší je prístup spoločností, ktoré ponúkajú ako riešenie ekologických problémov „baterky na vodu,“ „prenosné veterné turbíny,“ „biodegradovateľné mobilné telefóny“ a ďalšie nezmysly.

Zavádzajú však aj zástancovia. Napríklad ľudia, ktorí chcú vyzdvihovať výhodu obnoviteľných zdrojov nad jadrovou energiou, hovoria, že „pobrežné veterné turbíny by mohli poskytnúť elektrinu pre všetky domácnosti v Anglicku,“ a potom povedia, že „budovanie jadrových elektrární nepomôže v boji s klimatickou zmenou,“ pretože 10 nových jadrových elektrární „by znížilo emisie CO₂ iba o 4 %“. Tento argument je zavádzajúci, pretože prechádza od hrušiek k jablkám, od „elektriny pre domy“ k „znižovaniu emisií.“ Pravda je taká, že množstvo elektrickej energie vyrobenej tými nádhernými veternými turbínami, ktoré „by zásobovali všetky domy v Anglicku“ je *presne také isté*, ako množstvo elektriny vyrobenej 10 škaredými jadrovými elektrárnami, ktoré by „znížili emisie iba o 4 %“! Zásobovanie elektrinou všetkých domácností v Británii predstavuje iba 4 % britských emisií.

Ale možno najhoršími previnilcami v kráľovstve nezmyslov sú ľudia, ktorí by naozaj mali vedieť viac – popularizátori vedy, ktorí publikujú nezmysly – napríklad časopis *New Scientist* s článkom o „aute na vodu.“*

V prostredí, v ktorom ľudia nerozumejú číslam, noviny, aktivisti, firmy a politici môžu úspešne spáchať vraždu.

Potrebujeme jednoduché čísla a potrebujeme čísla zrozumiteľné, porovnateľné a ľahko zapamätateľné.

Ak budeme mať tieto čísla, budeme schopní odpovedať na otázky ako:

1. Môže krajina ako Británia existovať zo svojich vlastných obnoviteľných zdrojov?
2. Ak každý obyvateľ zmení teplotu svojho termostatu o jeden stupeň bližšie k okolitej teplote, bude šoférovať menšie auto a vypne nabíjačky mobilných telefónov, keď práve nenabíja telefón, bude možné odvrátiť energetickú krízu?
3. Mala by sa výrazne zvýšiť daň na pohonné látky? Mali by sme znížiť maximálnu povolenú rýchlosť na polovicu?
4. Je niekto, kto uprednostňuje veternú energiu pred jadrovou, „nepriateľom ľudí“?
5. Ak je klimatická zmena „väčšia hrozba ako terorizmus,“ mali by vlády postaviť mimo zákon „oslavovanie cestovania“ a prijať zákon proti „akciám podporujúcim konzum“?
6. Umožní nám prechod na „vyspelejšie technológie“ znížiť emisie skleníkových plynov bez zmien v našom spôsobe života?
7. Malo by sa ľudom odporúčať jesť viac vegetariánskej stravy?
8. Je populácia Zeme 6-krát vyššia ako by mala byť?

*Pozri detaily v poznámke ku kapitole (str. 19). Každá kapitola má poznámky s referenciami, zdrojmi a detailmi. Aby som čitateľa viac nemiatoľ, v texte sa poznámky pod čiarou už neobjavia.



Obrázok 1.1. Tento leták od Greenpeace som dostal ako spam v máji 2006. Majú moderné turbíny kapacitu nahradiť nenávidené chladiace veže?

Prečo debatujeme o energetickej politike?

Dnes sú pri debatách o energii určujúce tri rozdielne motivácie.

Po prvé, fosílna palivá sú vyčerpateľné. Je možné, že lacná ropa (vďaka ktorej jazdíme na našich osobných a nákladných autách) a lacný zemný plyn (ktorým vykurojme mnoho našich bytov) tu už v priebehu našich životov nebudú. Takže sa snažíme hľadať alternatívne zdroje energie. Naozaj, ak predpokladáme, že fosílna palivá sú okrem toho cenné napríklad pri výrobe plastov a mnohých iných vecí, možno by sme ich preto mali zachovať na lepšie využitie, ako ich len jednoducho spáliť.

Po druhé, zaujíma nás bezpečnosť dodávok energie. Aj keď sú fosílna palivá v jednej časti sveta stále dobre dostupné, možno od nich nechceme byť závislí, ak by to našu ekonomiku vystavilo rozmarom nedôveryhodných cudzích štátov (dúfam, že počujete moju opovázlivosť.) Ak sa pozrieme na obrázok 1.2, zdá sa, ako keby „naš“ zdroj fosílnych palív už vrchol dosiahol. Británie sa zvlášť dotýka problém bezpečnosti dodávok energie, známy ako „nedostatok energie.“ Významná časť starnúcich uhoľných a jadrových elektrární ukončí v najbližších 10 rokoch svoju činnosť (obrázok 1.3), takže existuje riziko, že v určitom čase dopyt po energii prekročí jej ponuku, pokiaľ nebudú prijaté potrebné opatrenia.

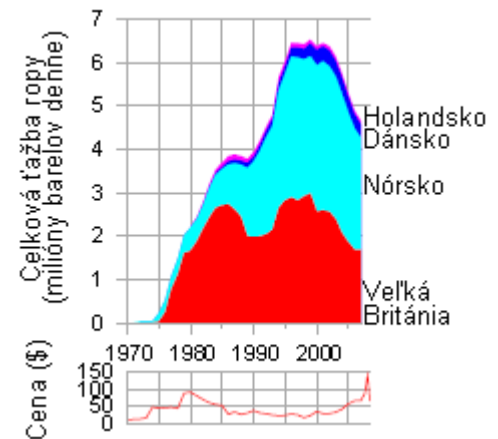
Po tretie, je veľmi pravdepodobné, že používanie fosílnych palív mení naše podnebie. Podiel na klimatickej zmene má viacero ľudských aktivít, najviac sa však na nej podieľa zosilnenie skleníkového efektu pôsobením CO₂. Väčšina emisií tohto plynu pochádza zo spaľovania fosílnych palív. A hlavný dôvod, prečo ich spaľujeme, je výroba energie. Takže ak chceme riešiť problém klimatickej zmeny, potrebujeme nové spôsoby získavania energie. Problém podnebia je najmä problémom energie.

Nech je pre vás motiváciou ktorýkoľvek z týchto problémov, potrebujeme čísla o energii a následné opatrenia, ktoré sú účinné.

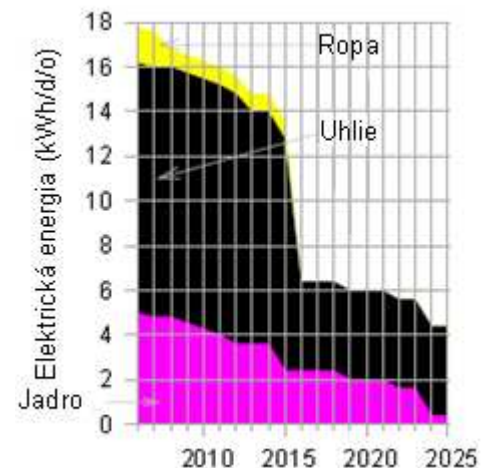
Prvé dva problémy, riešenie ktorých smeruje k drastickému zníženiu používania fosílnych palív, sú jednoznačne sebeckou záležitosťou. Tretí problém, klimatická zmena, je viac altruistickou motiváciou, veď hlavné dopady klimatickej zmeny poniesú budúce generácie mnoho stoviek rokov. Niektorí ľudia majú pocit, že za klimatickú zmenu nenesú zodpovednosť. Hovoria napríklad „Prečo by som mal niečo robiť ja? Pozrite sa, čo robí Čína!“ V nasledujúcich riadkoch sa budem venovať klimatickej zmene podrobnejšie, pretože pri písaní knihy som sa naučil niektoré zaujímavé skutočnosti, ktoré mi viac objasnili tieto etické otázky. Ak vás klimatická zmena nezaujíma, preskočte do ďalšej sekcie na strane 12.

Motivácia klimatickou zmenou

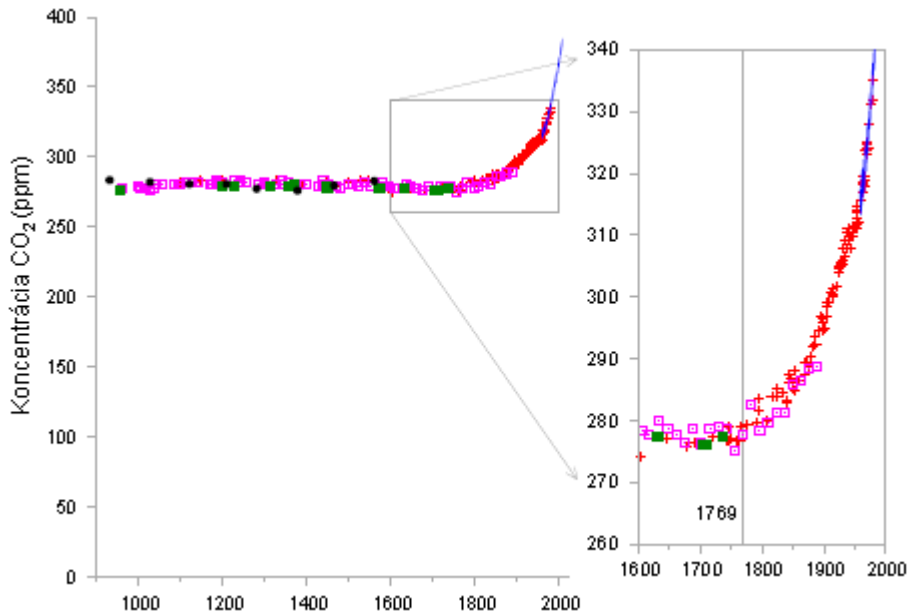
Motiváciu klimatickou zmenou vysvetlím v troch krokoch. Prvý: spaľovanie fosílnych palív spôsobuje nárast koncentrácie CO₂. Druhý: CO₂ je skleníkový plyn. Tretí: zosilňovanie skleníkového efektu zvyšuje priemerné globálne teploty (a má veľa iných dôsledkov).



Obrázok 1.2. Dochádzajú „naše“ fosílna palivá? Celková ťažba ropy v Severnom mori, a cena ropy v dolároch (pri hodnote v roku 2006).



Obrázok 1.3. Nedostatok energie, ktorý vznikne ako následok odstavenia britských elektrární, podľa spoločnosti EDF. Graf ukazuje predpokladanú elektrickú energiu jadrových, uhoľných a ropných elektrární, v kilowatthodinách za deň na osobu. Elektrická energia predstavuje maximum jednotlivých zdrojov.



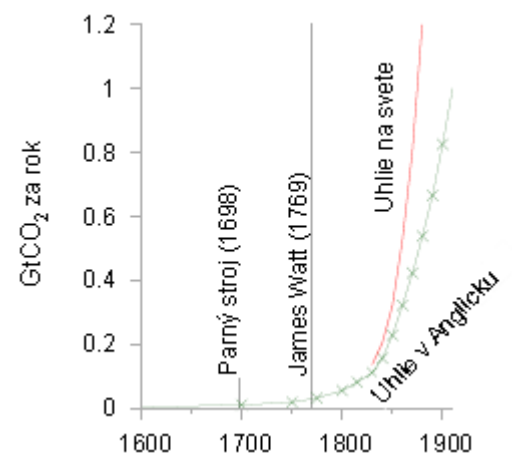
Obrázok 1.4. Koncentrácia oxidu uhličitého (CO_2) (v miliónoch) za posledných 1100 rokov, získaná zo vzduchu v ľadových jadrách (do r. 1977) a meraná priamo na Havaji (od r. 1958).

Myslím si, že medzi rokmi 1800 a 2000 došlo k nejakej udalosti. Vyznačil som rok 1769, v ktorom James Watt patentoval svoj parný stroj. (Prvý použiteľný parný stroj bol objavený o 70 rokov skôr, ale ten Wattov bol oveľa účinnejší.)

Začnime tým, že koncentrácia CO_2 vo vzduchu rastie. Obrázok 1.4. zobrazuje merania koncentrácie CO_2 vo vzduchu od roku 1000 n. l. až do súčasnosti. Niektorí „skeptici“ tvrdia, že tento nedávny nárast je prirodzený úkaz. Je teda „skeptik“ tou osobou, ktorá sa ani nepozrie na údaje? Nemyslíte si, len tak náhodou, že sa *niečo* mohlo stať v rokoch 1800 až 2000 n. l.? Niečo, čo nebolo súčasťou prirodzených procesov v predchádzajúcich tisícročiach?

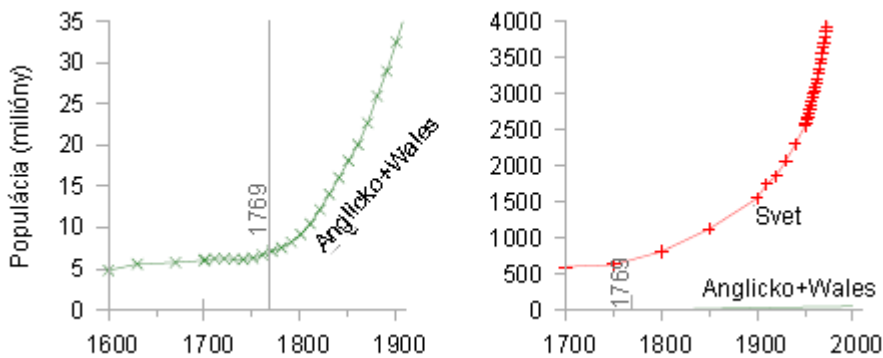
Niečo sa naozaj stalo a nazýva sa to priemyselná revolúcia. Na grafe som vyznačil rok 1769, kedy si James Watt nechal patentovať svoj parný stroj. Zatiaľ čo prvý použiteľný stroj bol vynájdený v roku 1698, skutočným začiatkom priemyselnej revolúcie bol až Wattov účinnejší parný motor. Jedným z hlavných využití motora bolo pumpovanie vody z uhoľných baní. Obrázok 1.5 ukazuje, čo sa stalo s produkciou uhlia od roku 1796. V roku 1800 sa uhlie používalo na výrobu železa, lodí, vyhrievanie budov, pohon lokomotív a ďalších zariadení a samozrejme aj na pohon púmp, ktoré umožňovali ťažbu väčšieho množstva uhlia v kopcoch Anglicka a Walesu. Británia mala mimoriadne dobré zásoby uhlia: keď sa revolúcia začala, množstvo uhlíka uloženého v uhlí pod Britániou bolo rovnaké, ako je množstvo uhlíka v rope v Saudskej Arábii.

V priebehu rokov 1769 až 1800 sa ťažba uhlia v Británii zdvojnásobila. V nasledujúcich 30 rokoch (1830), sa znovu zdvojnásobila. Ďalšie zdvojnásobenie rýchlosti ťažby sa odohralo za 20 rokov (1850) a ďalšie zdvojnásobenie tiež za 20 rokov (1870). Toto uhlie umožnilo

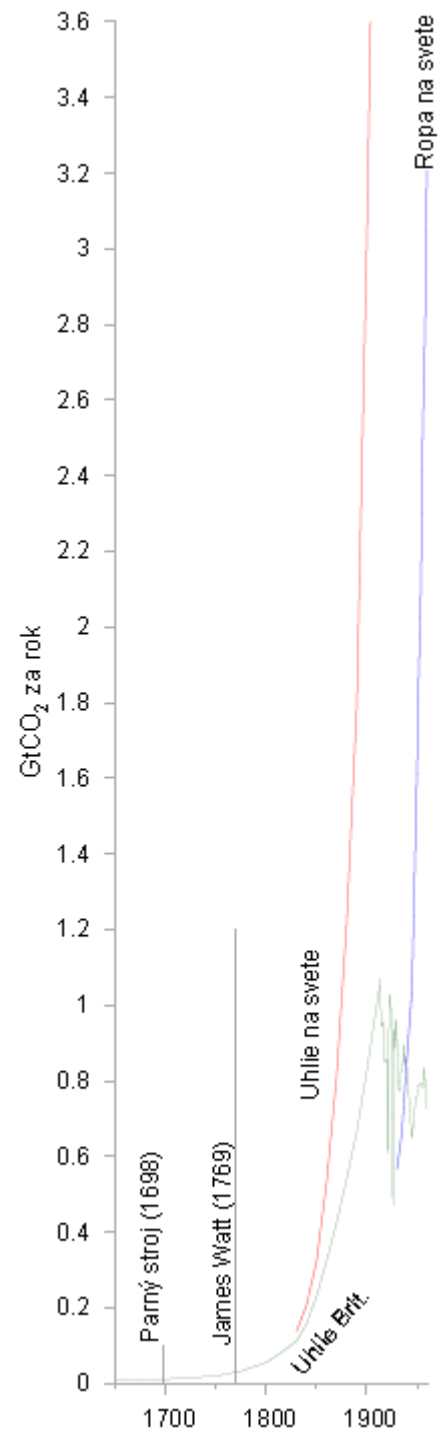
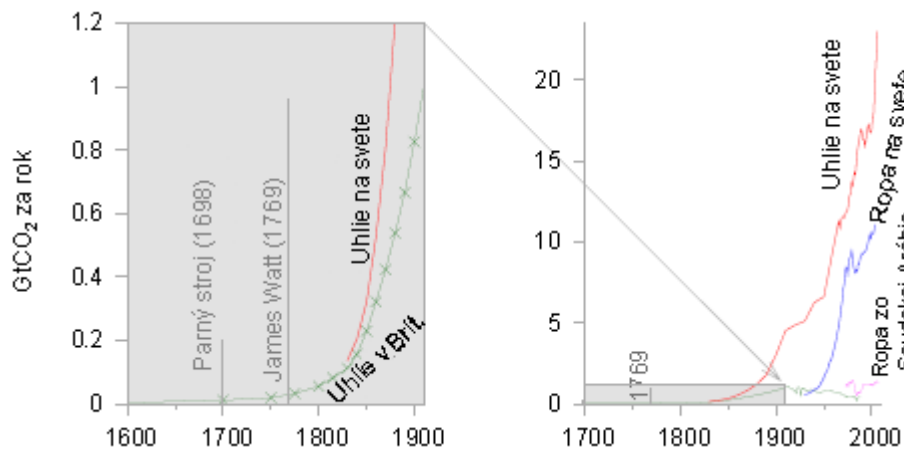


Obrázok 1.5. História ťažby uhlia v Británii a na svete v rokoch 1600 až 1910. Rýchlosť ťažby je udávaná v miliardách ton CO_2 – nepredstaviteľná jednotka, ale nemajte obavy: čoskoro si ju priblížime.

Británii dosiahnuť vrchol prosperity. To prinieslo Anglicku a Walesu blahobyt, ktorý sa odzrkadlil v storočí nebyvalého nárastu populácie.



Spolu s tým, ako revolúcia napredovala, pridali sa aj ďalšie krajiny. Obrázok 1.6 ukazuje ťažbu uhlia v Británii a ťažbu uhlia na celom svete na tej istej mierke ako obrázok 1.5, s posunom v histórii o 50 rokov neskôr. Británia dosiahla vrchol ťažby uhlia v roku 1910, avšak medzitým sa ťažba uhlia na svete zdvojnásobovala každých 20 rokov. Je ťažké znázorniť históriu ťažby uhlia na jednom grafe. Aby sa dalo ukázať, čo sa odohralo nasledujúcich 50 rokov, kniha by musela byť vysoká 1 meter! Na riešenie tohto problému je potrebné buď zmenšiť mierku vertikálnej osi:



alebo je možné rozdeliť vertikálnu os nerovnomerne tak, aby bolo možné na osi zobraziť malé aj veľké hodnoty zároveň. Toho možno dosiahnuť napríklad použitím logaritmického osi, ktorú som využil na spodných grafoch obrázku 1.7 (str. 6). Na logaritmickom škále je každý 10-násobný nárast (od 1 do 10, od 10 do 100, od 100 do 1000) na grafe zobrazený s rovnakým odstupom. Množstvo, ktoré rastie na logaritmickom mierke konštantným percentuálnym prírastkom za rok (to sa nazýva „exponenciálny rast“), sa javí ako priamka. Logaritmické mierky sú

Obrázok 1.6. Čo sa stalo ďalej. História ťažby uhlia v Británii a vo svete od roku 1650 do roku 1960, na tej istej mierke ako na obrázku 1.5.

vynikajúce na pochopenie rastu. Zatiaľ čo obyčajné grafy v obrázkoch na stranách 6 a 7 ukazujú, že ťažba uhlia v Británii a vo svete výrazne vzrástla, a zároveň, že výrazne vzrástla aj britská a svetová populácia, ich pomerné rýchlosti rastu nie sú na týchto grafoch viditeľné. Logaritmické grafy umožňujú porovnávať rýchlosti rastu. Ak sa napríklad pozrieme na sklon krivky populácie, je možné vidieť, že rast svetovej populácie za posledných 50 rokov bol o niečo rýchlejší ako rast populácie v Anglicku a Walesu v roku 1800.

Od roku 1769 do roku 2006 vzrástla ročná ťažba uhlia 800-násobne. Ťažba uhlia rastie aj dnes. Ťažia sa aj ostatné fosílné palivá – obrázok 1.7 ukazuje napríklad ťažbu ropy – ale v prípade emisií CO₂ kraľuje aj naďalej uhlie.

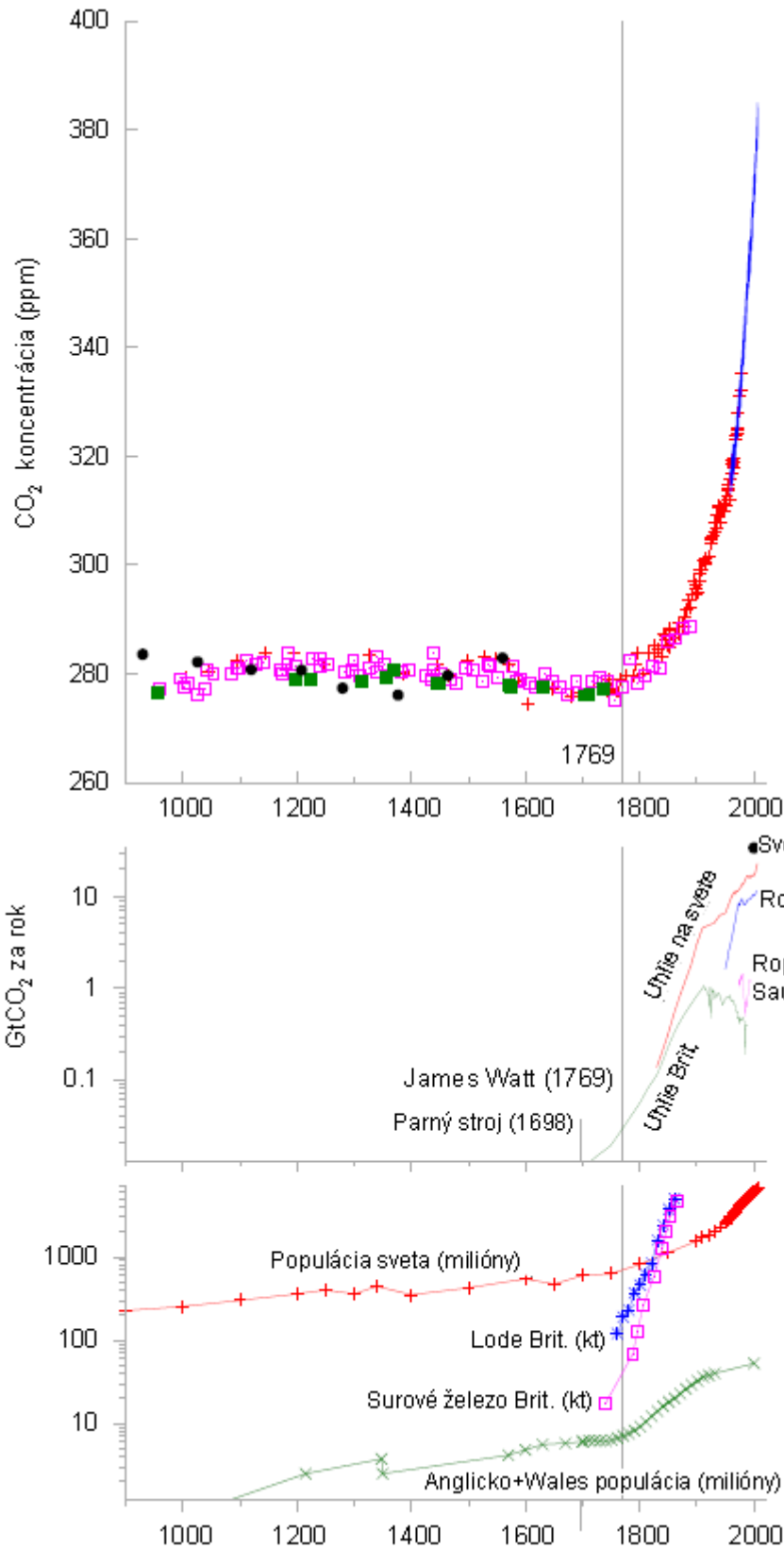
Spaľovanie fosílnych palív je hlavnou príčinou nárastu koncentrácie CO₂ vo vzduchu. Toto je fakt, ale počkať: stále počujem nejaký šum a mrmlanie od skupiny klimatických neaktivistov. Čo hovoria? Tu je napríklad Dominic Lawson, ktorý píše pre časopis *The Independent*:

„Vypúšťať do atmosféry približne **sedem gigaton** CO₂ za rok spaľovaním fosílnych palív vyzerá veľa. Avšak biosféra a oceány uvoľnia do atmosféry približne **1900 gigaton** a **36 000 gigaton** CO₂ za rok - ... To je jedna z príčin, prečo niektorí z nás pochybujú o význame ľuďmi podmieneného zosilnenia skleníkového efektu. Znižovanie emisií CO₂ je megalománia, zveličujúca úlohu človeka. Politici nemôžu zmeniť počasie.“

Osobne proti skepticizmu nič nenamietam, a nie všetko, čo hovoria skeptici, je bezvýznamné; nezodpovedná žurnalistika v štýle Dominica Lawsons si však zasluhuje poriadne schladieť.

Prvý problém s tvrdením Lawsons spočíva v tom, že *všetky tri čísla* ktoré uvádza (**sedem**, **1900** a **36 000**), sú *nesprávne*! Správne čísla sú **26**, **440** a **330**. Poďme však k hlavnému argumentu Lawsons, a teda že naše emisie sú oveľa menšie ako tie prirodzené.

Áno, prirodzené toky CO₂ sú vyššie ako tie spôsobené ľuďmi pred 200 rokmi. Ale je nesmierne zavádzajúce zamerať sa na toky CO₂ iba smerom *do* atmosféry a nespomenúť pritom približne rovnaké množstvo CO₂, ktoré prúdi z atmosféry späť do biosféry a oceánov. Skutočnosť je taká, že *prírodné* toky do a z atmosféry boli po tisícročia v rovnováhe, preto nie je dôležité, že sú výraznejšie ako emisie ľudí. Prírodné toky sa *navzájom nulujú*. Takže aj keď boli prirodzené taoky veľké, koncentrácia CO₂ v atmosfére a oceánoch bola za posledné tisícročia *konštantná*. Naopak, spaľovanie fosílnych palív, hoci je menej významné, spôsobuje *nový* prísun uhlíka, ktorý *nie je nulovaný*. Tu je jednoduchá analógia s pasovou kontrolou na letisku. Za hodinu priletí tisíc pasažierov



Obrázok 1.7. Horný graf znázorňuje koncentráciu CO₂ (v milióntinách) za posledných 1100 rokov – tie isté údaje sú znázornené na obrázku 1.4.

Tu je portrét Jamesa Watta a jeho parného stroja z roku 1796.



Stredný graf (na logaritmickej mierke) ukazuje vývoj ťažby uhlia v Anglicku, ropy v Saudskej Arábii, uhlia na svete, ropy na svete a (čierny bod vpravo hore) celkové emisie skleníkových plynov v roku 2000.

Spodný graf ukazuje (na logaritmickej mierke) niektoré dôsledky Priemyselnej Revolúcie: rýchly nárast populácie Anglicka, a podobne tak, aj sveta; a pozoruhodný nárast vo výrobe surového železa (v tonách za rok); a rast hmotnosti Anglických lodí (v tisícach ton).

Na rozdiel od obyčajných grafov na predošlej strane, logaritmická mierka umožňuje znázorniť rast populácie Anglicka aj sveta zároveň v jednom grafe, a možnosť vývoj kriviek porovnať.

a k dispozícii je presne toľko úradníkov, aby stihli odbaviť 1000 pasažierov za hodinu. Môže sa vytvoriť rad, ale vďaka súladu rýchlosti príchodu pasažierov a rýchlosti odbavovania nenarastá. Teraz si predstavte, že pre hmlu musí na letisku núdzovo pristáť lietadlo z menšieho letiska. Táto zmena spôsobí, že dodatočne príde na letisko 50 pasažierov za hodinu – iba malý nárast v porovnaní s pôvodnou kapacitou 1000 pasažierov za hodinu. Takže čo sa stane? Pomaly ale isto začne rad *narastať*. Spaľovanie fosílnych palív preukázateľne zvyšuje koncentráciu CO₂ v atmosfére a v povrchových vodách oceánov. Žiaden z klimatológov nespochybňuje tento fakt. Čo sa týka koncentrácie CO₂, človek je významný.

Dobre. Spaľovanie fosílnych palív zvyšuje koncentráciu CO₂ významne [dnes je na úrovni hodnôt pred 15-20 mil. rokov – pozn. prekl.]. Prekáža to však? „Uhlík je príroda!“, pripomína nám ropná loby, „Uhlík je život!“ Ak by CO₂ nemal žiadne škodlivé účinky, potom by naozaj nebol problém s jeho emisiami. Bohužiaľ, CO₂ je skleníkový plyn. Nie síce najsilnejší, ale nepochybne významný. Pridáme ho do atmosféry a urobí to, čo skleníkové plyny robia: absorbuje infračervené žiarenie (teplo) prichádzajúce z povrchu Zeme a znovu ho vyžaruje náhodným smerom späť do atmosféry. Výsledkom tohto náhodného presmerovania dopravy tepla do atmosféry je zbrzdený únik tepla z planéty, ktorá sa ocitne pod prikrývkou z CO₂. Takže CO₂ má otepľujúci vplyv. Tento fakt nie je dokázaný komplexným historickým záznamom globálnej teploty, ale jednoduchými fyzikálnymi vlastnosťami molekúl CO₂. Skleníkové plyny vytvárajú okolo atmosféry prikrývku a CO₂ je jednou jej vrstvou.

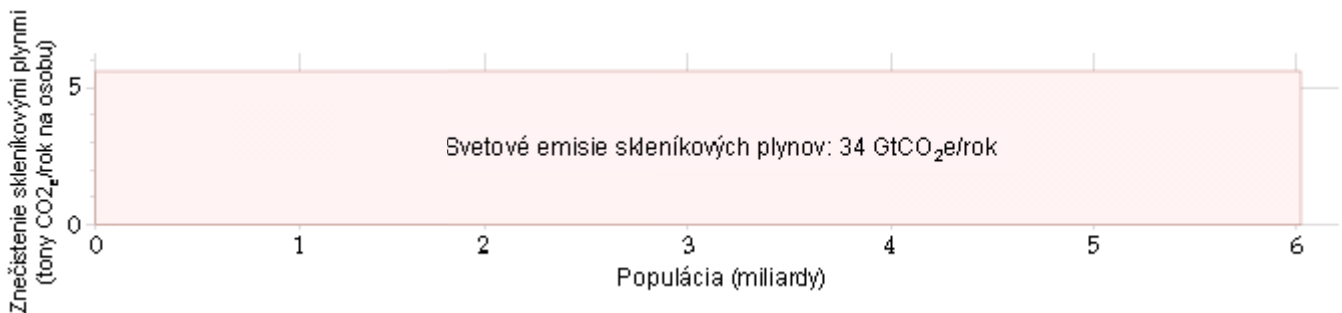
Čo sa teda stane, ak sa ľudstvu podarí zdvojnásobiť alebo strojnásobiť koncentrácie CO₂ (kam určite smerujeme, ak sa nič nezmení)? Existuje tu mnoho neistôt. Skúmať klímu je veľmi ťažké. Podnebie je komplexný systém, osie hniezdo a o koľko sa presne oteplí pri zdvojnásobení koncentrácie CO₂, nie je isté. Najlepšie klimatické modely nám hovoria, že zdvojnásobenie CO₂ bude mať podobný účinok ako zvýšenie aktivity Slnka o 2 % a spôsobí to nárast priemerných teplôt asi o 3 °C. To je niečo, čo by historici nazvali Zlou situáciou. Nemám v úmysle recitovať litánie pravdepodobných drastických dopadov oteplenia, pretože som si istý, že ste o nich už počuli. Najčastejšie sa hovorí o tom, že „grónsky ľadovec sa postupne roztopí a v priebehu niekoľko sto rokov sa zdvihne hladina oceánov o 7 metrov.“ Väčšina litánií hovorí o pohrome pre budúce generácie. Také teploty Zem nezažila posledných 100 000 rokov a je pravdepodobné, že ekosystémy by boli tak významne pozmenené, že Zem by nás prestala zásobovať niektorými tovarmi a službami, ktoré dnes považujeme za samozrejmé.

Modelovanie podnebia je obtiažne a plné neistôt. No neistota v presnej hodnote, o ktorú sa zmení globálna teplota, nemôže slúžiť ako ospravedlnenie pre nečinnosť. Ak by ste boli na rýchlo idúcej motorke,

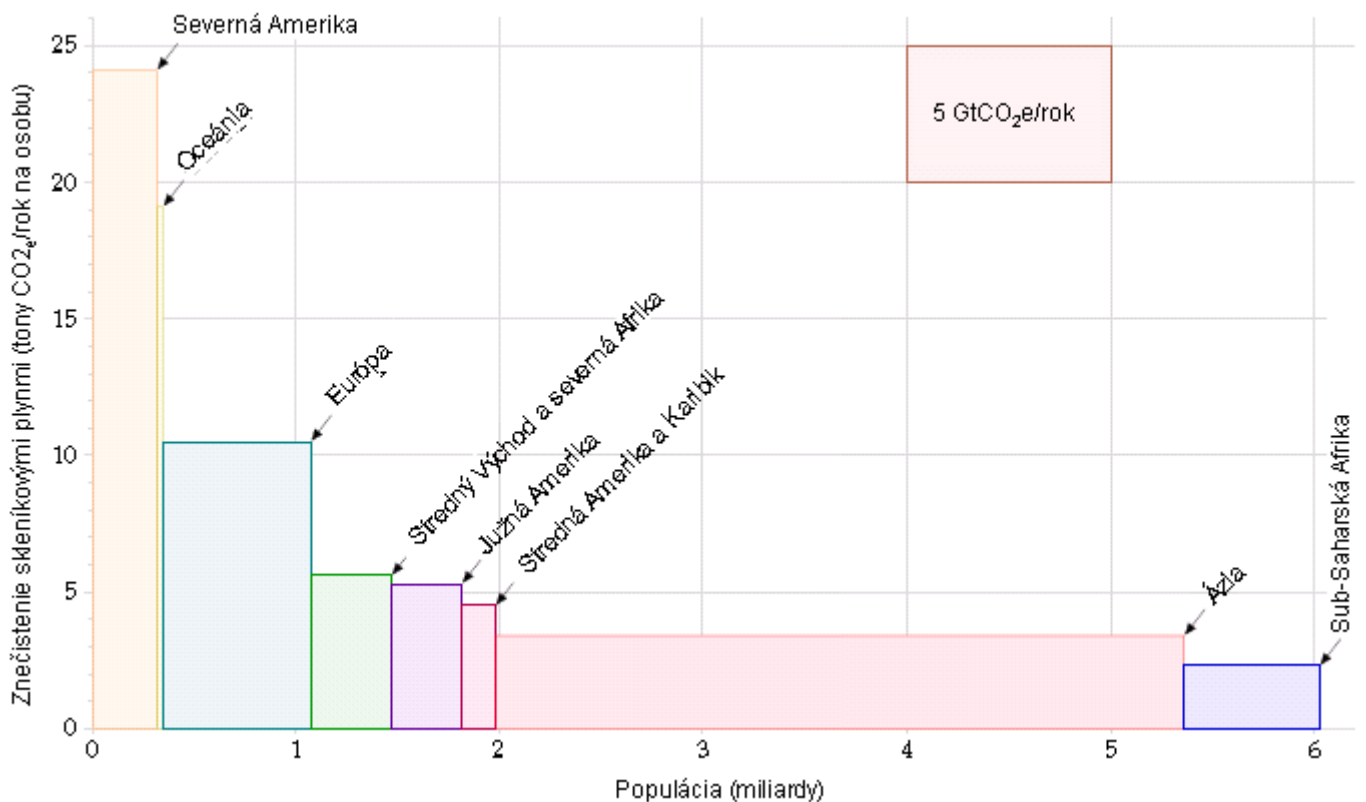
v hmle a blízko útesu a pri tom všetkom nemali dobrú mapu hraníc útesu, oprávňoval by vás chýbajúci kus mapy na to, aby ste *nespomalili*?

Takže, kto by mal spomaliť? Kto by mal prestať s emisiami uhlíku? Kto je zodpovedný za klimatickú zmenu? Ide samozrejme o etickú, nie vedeckú otázku, ale etické diskusie sa musia zakladať na faktoch. Takže poďme preskúmať fakty o emisiách skleníkových plynov. Najprv krátko o tom, v akých jednotkách sa vyjadrujú. Medzi hlavné skleníkové plyny patria CO₂, metán a oxid dusný. Každý z týchto plynov má rozdielne fyzikálne vlastnosti, preto sa zvyknú vyjadrovať všetky emisie skleníkových plynov v „ekvivalentných množstvách oxidu uhličitého,“ kde „ekvivalentný“ znamená „majúci rovnaký otepľujúci efekt za 100 rokov.“ Jednu tonu CO₂-ekvivalentu možno skratiť ako „1 tCO₂e,“ a jednu miliardu ton (teda tisíc miliónov ton) ako „1 GtCO₂e“ (jedna gigatona). V tejto knihe znamená 1 t jednu metrickú tonu (1000 kg). Nebudem rozlišovať britské tony, pretože sa líšia od metrickej tony menej ako 10 %.

V roku 2000 bolo celkové množstvo emisií skleníkových plynov približne 34 miliárd ton CO₂e za rok. Ťažko predstaviť také číslo. Je možné si ho ale zjednodušiť a zosobniť vydelením počtu obyvateľov na planéte (6 miliárd) a získame znečistenie skleníkovými plynmi *na osobu*, čo je 5½ tony CO₂e na osobu za rok. Takto možno vyjadriť svetové emisie obdĺžnikom, ktorého šírka je populácia (6 miliárd) a výška predstavuje emisie na osobu.



Takže teraz sú si všetci obyvatelia rovní, ale nie každý z nás vypúšťa 5½ tony CO₂ za rok [teda priemerná uhlíková stopa každého obyvateľa planéty je 5½ CO₂e – pozn. prekl.]. Môžeme teda rozlíšiť emisie v roku 2000 tak, aby sa ukázalo, ako jednotlivé oblasti sveta prispievajú k spoločnému 34 miliardovému obdĺžniku.

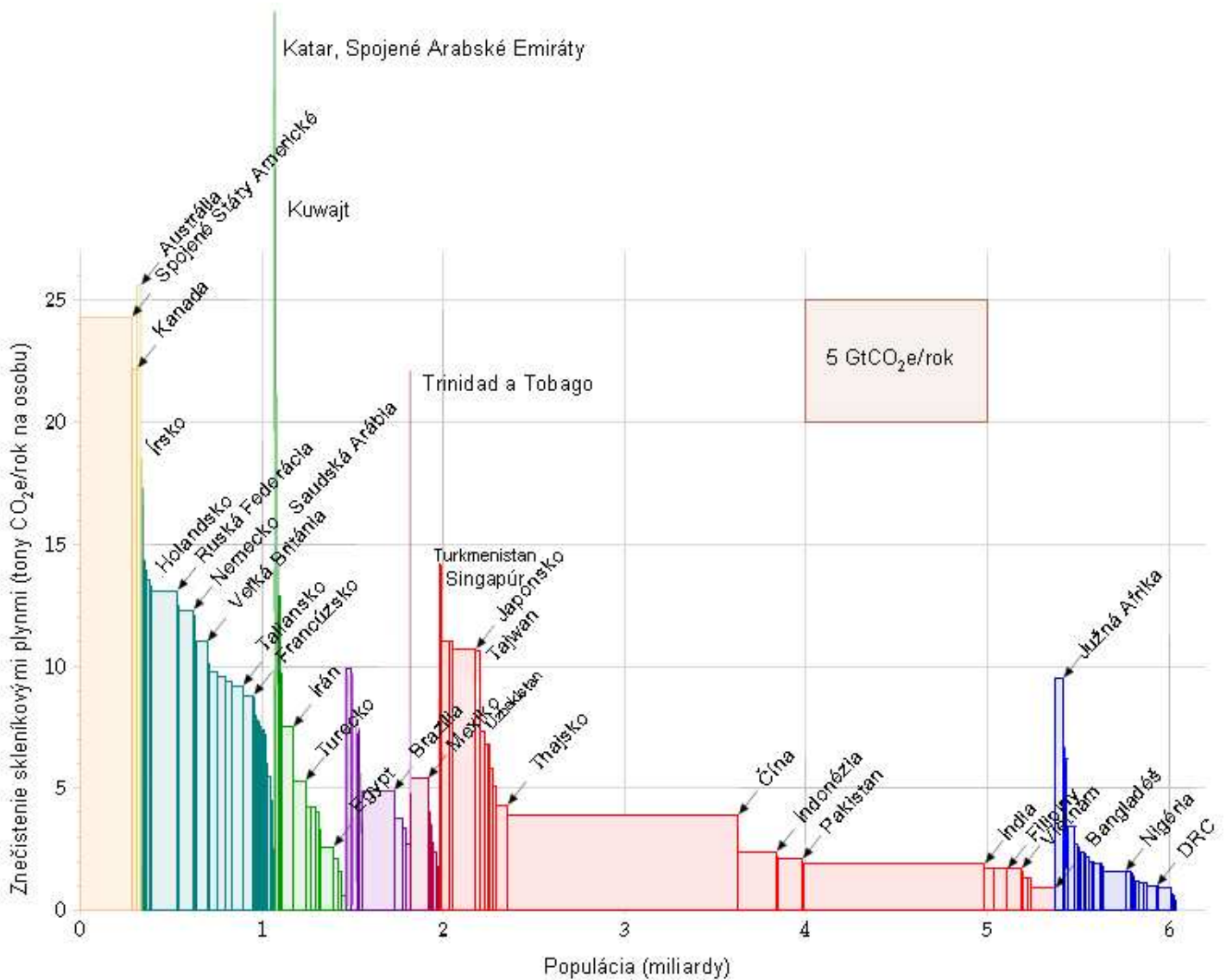


Tento obrázok, ktorý je v tej istej mierke ako predošlý, rozdeľuje svet na 9 oblastí. Každý obdĺžnik znázorňuje emisie skleníkových plynov daného regiónu, pričom šírka znázorňuje počet obyvateľov a výška priemerné emisie na obyvateľa v príslušnej oblasti.

V roku 2000 predstavovali emisie Európanov na obyvateľa asi dvojnásobok svetového priemeru sveta, emisie v Severnej Amerike boli asi štvornásobné.

Môžeme pokračovať v delení a jednotlivé regióny rozdeliť na krajiny. Až tu to začína byť skutočne zaujímavé.

Medzi hlavné krajiny s najväčšími emisiami patrí Austrália, USA a Kanada. Európske krajiny, Japonsko a Južná Afrika sú tiež významnými prispievateľmi. Spomedzi európskych krajín predstavuje Anglicko priemer.

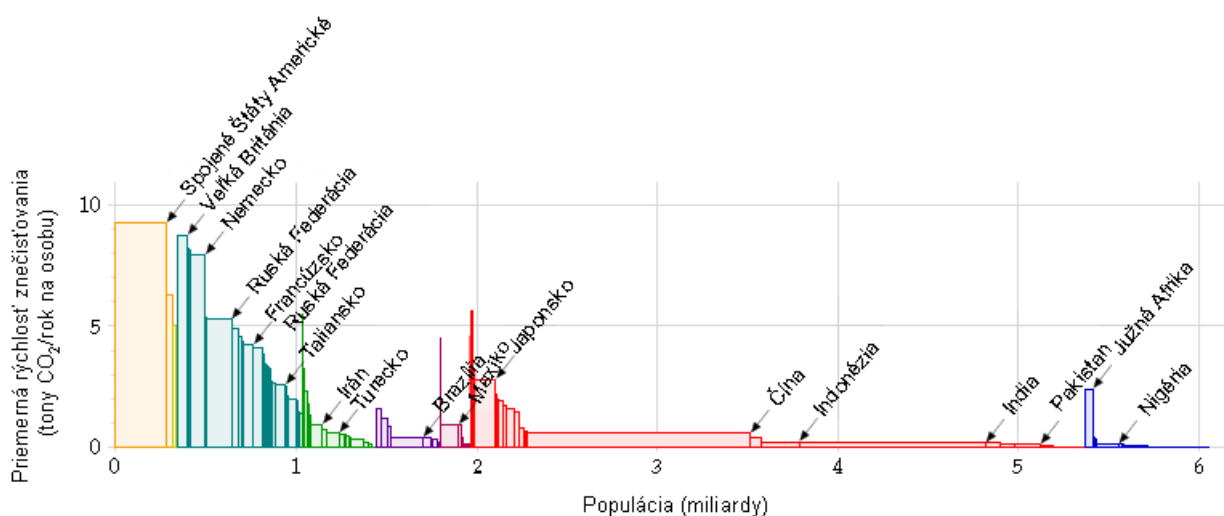


Ako je na tom ale Čína, tá neposlušná krajina „bez kontroly“? Pravda, plocha čínskeho obdĺžnika je približne rovnaká ako v prípade USA, skutočnosťou však je, že ich emisie na obyvateľa sú *nižšie* ako svetový priemer. A emisie obyvateľov Indie sú menej ako *polovica* priemeru sveta. Navyše musíme mať na pamäti, že väčšina z priemyselných emisií Číny a Indie je spojená s výrobou *produktov určených pre bohaté krajiny*.

Takže ak predpokladáme, že je „potrebné niečo urobiť“ pre zníženie emisií skleníkových plynov, kto nesie bremeno tejto zodpovednosti? Nuž, je to etická otázka. Nedokážem si však dosť dobre predstaviť etický systém, ktorý neprípúšťa, že zodpovednosť padá obzvlášť na krajiny nachádzajúce sa na ľavej strane zobrazovaného grafu – teda krajiny s emisiami dvoj-, troj- alebo štvornásobne vyššími ako je svetový priemer. Napríklad, ako sú krajiny Británia, alebo USA.

Historická zodpovednosť za dopady klimatickej zmeny

Ak predpokladáme, že ľudia svojou aktivitou poškodili podnebie, a že niekto musí tento problém riešiť, kto bude platiť? Niektorí chcú, aby „platil ten, kto znečisťuje.“ Predchádzajúce grafy ukázali, kto znečisťuje dnes. Nie je však až natoľko dôležité, kto znečisťuje dnes a ako *rýchlo*, ale rozhodujú skôr *celkové* vypustené emisie. Väčšina (asi 1/3) CO₂ totiž zostane vo vzduchu najmenej 50 -100 rokov. Ak prijmeme etický princíp, že platiť by mal znečisťovateľ, musíme sa pýtať, aká veľká je historická stopa danej krajiny. Nasledujúci graf ukazuje kumulatívne emisie CO₂ jednotlivých krajín, vyjadrených ako priemerná rýchlosť emisií za obdobie 1880-2004.

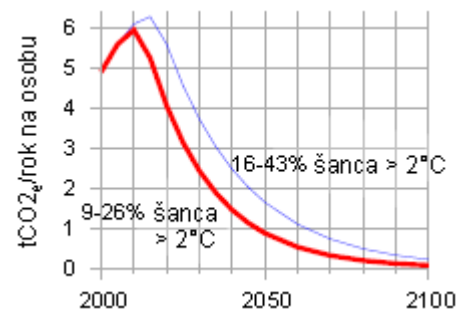


Británia, gratulujem! Dostali sme sa na stupienok víťazov. Hoci sme dnes v Európe iba priemernou krajinou, pri započítaní historických emisií na obyvateľa sme hneď za USA druhí.

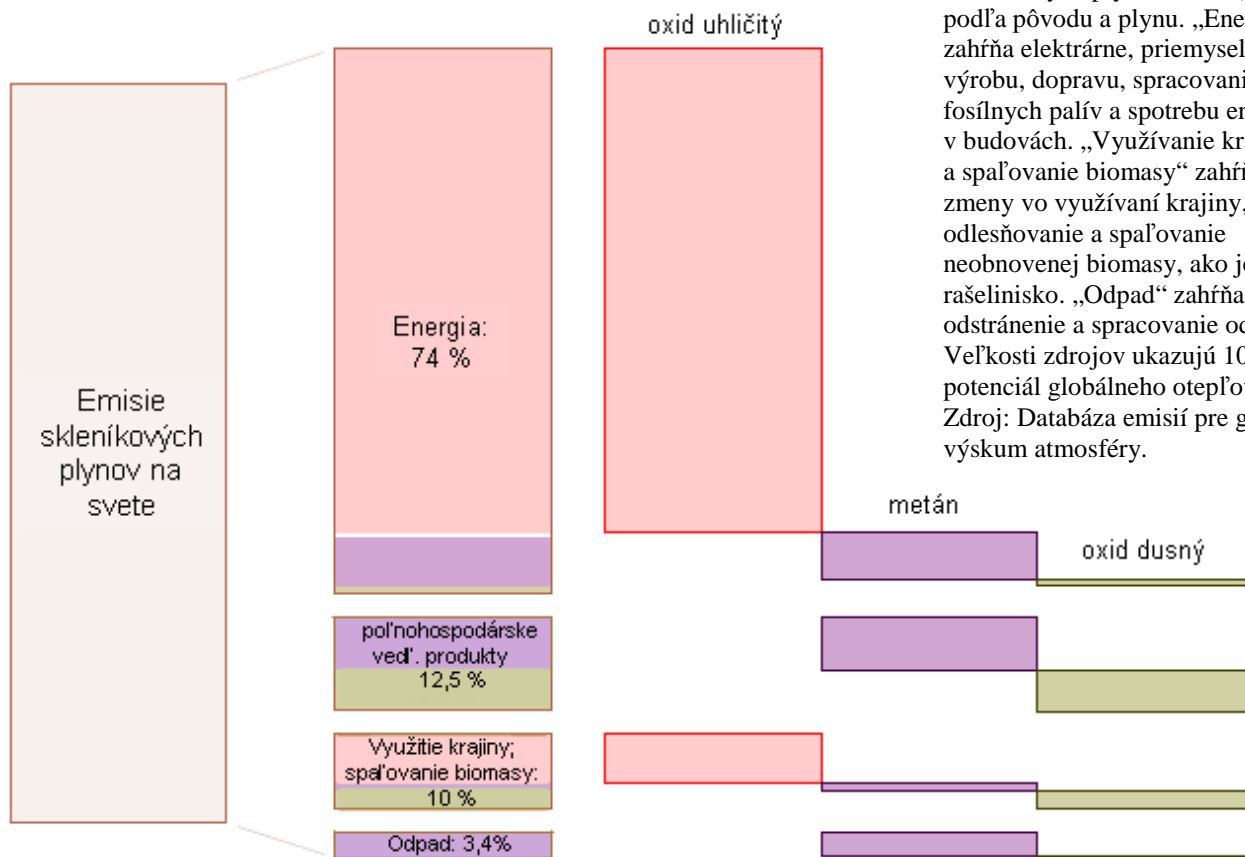
Dobre, stačilo etiky. Takže čo je teda podľa vedcov treba urobiť, aby sme sa vyhli riziku oteplenia Zeme o 2 °C (2 °C znamená rast teploty, nad ktorým sa predpokladá mnoho negatívnych vplyvov)? Zhoda je jasná. Potrebujeme sa zbaviť využívania fosílnych palív [presnejšia je formulácia, že sa potrebujeme zbaviť využívania fosílnych palív tak, aby CO₂ unikalo do ovzdušia – pozn. prekl.] a potrebujeme to urobiť rýchlo. Niektoré krajiny, vrátane Británie, sa zaviazali znížiť emisie skleníkových plynov o 60 % do roku 2050, ale je potrebné zdôrazniť, že takéto zníženie, akokoľvek významné, nie je nič mimoriadne [z pohľadu klimatickej zmeny – pozn. prekl.]. Ak by sa svetové emisie postupne znížili o 60 % do roku 2050, podľa klimatológov je viac pravdepodobné ako nie, že globálne teploty stúpnu o viac ako 2 °C. Rozsah zníženia emisií, ktoré potrebujeme dosiahnuť, ukazuje obrázok 1.8. Na ňom vidieť dva bezpečné scenáre emisií podľa Baer a Mastrandrea (2006) v správe Inštitútu pre verejný dohľad nad výskumom. Nižšia krivka predpokladá pokles emisií od roku

2007, s celkovou rýchlosťou poklesu 5 % za rok. Horná krivka predpokladá neskorší nástup znižovania emisií a pokles emisií o 4 % za rok. Oba scenáre by mali poskytnúť slušnú pravdepodobnosť, že sa vyhneme otepleniu o viac ako 2 °C v porovnaní s priemernou teplotou pred priemyselnou revolúciou. Pri scenári predstavovanom spodnou krivkou je pravdepodobnosť, že spomínané oteplenie prekročíme v rozmedzí 9 - 26 %. Vo vyššom scenári je šanca prekročenia tejto hranice v rozmedzí 16 - 43 %. Tieto pomerne bezpečné emisné scenáre však predpokladajú oveľa výraznejšie zníženie emisií, ako ktorýkoľvek zo scenárov predkladaných Medzivládny panelom pre klimatickú zmenu (IPCC), alebo Sternovou správou.

Tieto potenciálne bezpečné možnosti vývoja vyžadujú zníženie globálnych emisií o 70 % alebo o 85 % do roku 2050. Čo to znamená pre krajinu ako Británia? Ak sa prikloníme k princípu znižovania a zblížovania úrovne emisií (tzv. „contraction and converge“), čo znamená že všetky krajiny majú za cieľ dosiahnuť rovnaké emisie na obyvateľa, potom Británia potrebuje znížiť svoje emisie o viac ako 85 %; malo by sa dostať zo súčasných 11 ton CO₂e za rok na osobu na približne **1 tonu za rok na osobu** do roku 2050. To je taký výrazný pokles, že najlepšie je v tejto súvislosti *prestať uvažovať o fosílnych palivách.*



Obrázok 1.8. Globálne emisie pre dva scenáre podľa Baer a Mastrandrea, vyjadrené v tonách na CO₂ za rok na osobu, za predpokladu počtu obyvateľov 6 miliárd. Oba scenáre by mali poskytovať dobrú šancu, ako sa vyhnúť nárastu teploty viac ako o 2 °C oproti predindustriálnemu obdobiu.



Obrázok 1.9. Rozdelenie emisií skleníkových plynov sveta (2000) podľa pôvodu a plynu. „Energia“ zahŕňa elektrárne, priemyselnú výrobu, dopravu, spracovanie fosílnych palív a spotrebu energie v budovách. „Využívanie krajiny a spaľovanie biomasy“ zahŕňa zmeny vo využívaní krajiny, odlesňovanie a spaľovanie neobnovenej biomasy, ako je rašelinisko. „Odpad“ zahŕňa odstránenie a spracovanie odpadu. Veľkosti zdrojov ukazujú 100-ročný potenciál globálneho otepľovania. Zdroj: Databáza emisií pre globálny výskum atmosféry.

A ešte posledná poznámka k motivácii: aktivít človeka podieľajúcich sa na emisiách skleníkových plynov je síce veľa, no zďaleka najväčší podiel má **využívanie energie**. Niektorí ľudia totiž ospravedlňujú svoju neochotu znižovať spotrebu energie výrokmi typu „metán gregajúcich kráv prispieva k otepľovaniu viac ako cestovanie lietadlom.“ Áno, vedľajšie poľnohospodárske produkty prispeli v roku 2000 asi 1/8 k celkovým emisiám skleníkových plynov. Ale využívanie energie k nim prispelo až 3/4 (obrázok 1.9). Preto je problém klimatickej zmeny najmä problémom spotreby energie.

Varovanie čitateľom

Dobre, dost' o klimatickej zmene. Budem predpokladať, že sme dostatočne motivovaní, aby sme sa zbavili fosílnych palív. Nech už je však vaša motivácia akákoľvek, cieľom knihy je pomôcť vyznať sa v číslach a počtoch tak, aby každý dokázal vyhodnotiť jednotlivé kroky a podprieť ich faktami a údajmi, aby vedel určiť, ktoré *opatrenia majú zmysel*. Netvrdím, že počty a čísla v tejto knihe sú nové; napríklad spomínané knihy Goodsteina, Lomborga a Lovelocka sú plné zaujímavých čísel a výpočtov a na internete tiež existuje množstvo užitočných zdrojov (pozri poznámky na konci každej kapitoly).

V tejto knihe snažím o to, aby čísla boli ľahko zapamätateľné a jednoduché; aby ste s nimi mohli narábať samostatne; a aby jednotlivé príklady boli také jasné, že každý trochu premýšľajúci človek si z nich dokáže urobiť jasné závery. Nechcem vás kŕmiť svojimi vlastnými závermi. Presvedčenie je silnejšie, ak vznikne prirodzene, ako keď je iba naučené. Pochopenie je tvorivý proces. Verím, že po prečítaní tejto knihy budete znovu presvedčení o svojich schopnostiach vyhodnotiť každý podobný problém.

Rád by som zdôraznil, že nasledujúce výpočty sú zámerne nepresné. Zjednodušenie je totiž cieľom k pochopeniu. Po prvé, zaokrúhľovanie čísel umožní ich ľahšie zapamätanie. V tejto knihe je napríklad populácia Anglicka 60 miliónov a populácia sveta je 6 miliárd. Nemám problém všetky výpočty spresniť, ale bolo by to na úkor plynulosti. Ak si napríklad zapamätáme, že emisie skleníkových plynov v roku 2000 boli 34 miliárd ton CO₂e za rok, potom zároveň vieme a to bez použitia kalkulačky, že emisie predstavujú 5½ tony CO₂e na jedného obyvateľa za rok. Tento hrubý výpočet (34 delené 6 sa rovná 5½) nie je presný, ale je rýchly a dostatočný na účely zaujímavej debaty. Alebo, ak si zapamätáte, že priemerná svetová spotreba je 5½ tony CO₂e na osobu, ľahko si uvedomíte, že jediným spiatočým letom spotrebujete viac ako tretinu svetovej priemernej ročnej uhlíkovej spotreby na obyvateľa na svete.

Páči sa mi viac, ak sa výpočty zakladajú na praktických, každodenných skúsenostiach, ako na pôsobivých národných štatistikách. Ak chcem



„Pozri – človek s nízkymi emisiami“

Obrázok 1. 10. Zverejnené s láskavým povolením PRIVATE EYE/ Peter Dredge www.private-eye.co.uk

napríklad vypočítať typickú priemernú rýchlosť vetra v Cambridge, pýtam sa „je moja rýchlosť bicyklovania zvyčajne väčšia?“ Odpoveď je áno. Takže už si dokážem odvodiť, že rýchlosť vetra v Cambridge je iba zriedkakedy vyššia ako moja priemerná rýchlosť na bicykli 20 km/h (5,6 m/s, alebo 12 míľ za hodinu). Zároveň porovnávam svoje výpočty s odhadmi iných ľudí a oficiálnymi štatistikami (tie nájdete na konci každej kapitoly.) Táto kniha neslúži ako konečný zdroj pre dokonale presné čísla. Skôr má za cieľ znázorniť, ako možno použiť približné hodnoty na účely konštruktívnych a prínosných rozhovorov. Vo výpočtoch najčastejšie používam príklady pre Britániu, ale niekedy aj pre Európu, Ameriku alebo celý svet, ale malo by byť jednoduché prepočítať tieto hodnoty na ktorýkoľvek región alebo štát sveta, o ktorý máte záujem.

Na záver tejto kapitoly mi dovoľte ešte zopár upozornení. Nielen že budeme zaokrúhľovať čísla, s ktorými pracujeme, ale zanedbáme aj všetky druhy detailov, o ktoré sa starajú investori, manažéri a ekonómovia. Ak sa snažíte rozbehnúť obchod s obnoviteľnou energiou, už 5-percentný nárast v nákladoch môže spôsobiť rozdiel medzi úspechom a zlyhaním, takže v tomto prípade je nutné prihliadať na každý detail. Ale pre účely tejto knihy nehrá 5 % úlohu. Je o dvoj- alebo o desaťnásobkoch. Je o fyzikálnych limitoch obnoviteľnej energie, nie o ich súčasnej ekonomickej zmysluplnosti. Zatiaľ čo ekonomika je neustále premenlivá, základné prírodné limity budú navždy rovnaké. A tie potrebujeme pochopiť.

Debáty o energetickej politike sú často mäťúce a emočne ladené, pretože ľudia spájajú *fakty* a *etické zásady*.

Medzi príklady **faktických tvrdení** patria výroky „v globále uvoľňuje spaľovanie fosílnych palív 34 miliárd ekvivalentných ton oxidu uhličitého za rok“ alebo „ak sa zdvojnásobí koncentrácia CO₂, v nasledujúcich 100 rokoch sa zvýši globálna teplota o 1,5 - 5,8 °C“; „nárast teploty o 2 °C spôsobí roztopenie grónskeho ľadovca za 500 rokov“; „úplné roztopenie grónskeho ľadovca spôsobí nárast hladín oceánov o 7 metrov.“

Faktické tvrdenie môže byť buď správne alebo nesprávne; a určiť *to správne*, je ťažké; to je otázka pre vedcov. Napríklad faktické tvrdenia, ktoré som uviedol, môžu byť správne alebo nie. Ale nevieme, či sú všetky z nich správne. Niektoré z nich sa dnes považujú za „veľmi pravdepodobné.“ Ťažkosti spojené s určením ich pravdivosti sú príčinou debát vedeckej komunity. Ale pri určitom dostatočnom množstve pokusov a diskusií sa pravda alebo nepravda väčšiny takýchto predpokladov nakoniec vyrieši, prinajmenšom „mimo akékoľvek pochybnosti.“

Medzi príklady **etických tvrdení** patria výroky „je zlé vyčerpať globálne zásoby spôsobom, ktorý spôsobí rozsiahle škody budúcim generáciám“; a „znečisťovanie by nemalo byť zadarmo“; a „mali by sme podniknúť kroky, ktoré zabezpečia, aby sa koncentrácia CO₂ nezdvajnosobila“; a „politici by mali súhlasiť so stropom pre emisie CO₂“; a „krajiny s najvyššími emisiami CO₂ v minulom storočí majú povinnosť zakročiť proti klimatickej zmene“; a „je spravodlivé rozdeliť emisie CO₂

rovnako na všetkých obyvateľov sveta“. Takéto tvrdenia nie sú ani „správne“ ani „nesprávne“. Či s nimi súhlasíme závisí od nášho vlastného etického hodnotenia alebo hodnôt. Etické predpoklady si niekedy môžu protirečiť. Napríklad vláda Tonyho Blaira vyhlásila radikálny postoj k emisiám CO₂: „Británia by mala znížiť emisie skleníkových plynov o 60 % do roku 2050“; v tom čase však kancelár Gordon Brown opakovane žiadal od krajín produkujúcich ropu, aby zvýšili ťažbu ropy.

Táto kniha sa zameriava na fakty, nie na etické postoje. Chcem, aby boli jasné, takže ľudia sa môžu zamerať na zmysluplné debaty o etických rozhodnutiach. Chcem, aby každý pochopil, ako jednotlivé fakty obmedzujú možnosti, ktoré máme. Ako dobrý vedec sa budem snažiť vyhnúť osobným názorom na etické otázky, ale občas mi niečo unikne – prosím odpustite mi.

To, či je *spravodlivé*, že Európa a Severná Amerika významne ukrajuje z energetického koláča, je etickou otázkou; ja som tu na to, aby som vám pripomenul *skutočnosť*, že už nie je možné mať vlka sýteho a aj ovcu celú; aby som vám pomohol rozpoznať bezpredmetné a neefektívne návrhy riešení; a aby som vám pomohol rozpoznať strategické rozhodnutia, ktoré sú v súlade s našimi osobnými hodnotami.

Potrebujeme zmysluplný plán!

Poznámky a ďalšie čítanie

Na konci každej kapitoly budú podrobnosti myšlienok nachádzajúce sa v kapitole, zdroje údajov a citácie, a tiež odkazy na ďalšiu literatúru.

Strana číslo

- 2 „...nemáme inú možnosť ako to dosiahnuť, len pomocou obnoviteľných zdrojov“; „každý, kto sa spolieha na obnoviteľné zdroje na zaručenie dostatku [energie] žije v inom svete a je podľa môjho názoru nepriateľom ľudí.“ Výroky sú z relácie *Otázky?*, 27. január 2006, BBC Radio 4 [ydoobr]. *Michael Meacher* bol minister životného prostredia v rokoch 1997 až 2003. *Sir Bernard Ingham* bol poradcom Margaret Thatcherovej keď bola vo funkcii premiérky a bol vedúcim Vládnej informačnej služby. Je sekretárom Zástancov jadrovej energie.
- *Jonathon Porritt* (Marec 2006). *Je jadrová energia odpoveďou?* Sekcia 3. Rada ministrom. <http://www.sd-commission.org.uk/>
- 3 „Jadrová energia je príliš drahá“, „máme obrovské zdroje veternej a prílivovej energie.“ Ann Leslie, novinár. V rozhovore pre reláciu *Otázky?*, Radio 4, Február 2006.
- *Obyvatelia Los Angeles prejdú... zo Zeme na Mars* – (The Earthworks Group, 1989, strana 34).
- spoločnosti *targetneutral.com* stačí zaplatiť iba 4 libry za jednu tonu CO₂ na ich „neutralizáciu“ (angl. offset) emisií. (To je významne nižšia cena ako v prípade akejkoľvek inej „neutralizačnej“ spoločnosti, s ktorou som sa stretol.) Za túto cenu by mohol priemerný Angličan svojich 11 ton za rok „neutralizovať“ iba za 44 libier za rok! Dôkaz, že „neutralizácia“ spoločnosti BP v praxi nefunguje, vychádza zo skutočnosti, že ich firma nedokázala dosiahnuť Zlatý Štandard <http://www.cdmgoldstandard.org/> (Michael Schlup, osobná komunikácia). Mnoho „neutralizačných“ projektov sa podľa Fiony Harvey z *Financial Times* ukázalo ako bezcenných [2jhve6].
- 4 „Ľudia, ktorí chcú vyzdvihnúť výhodu obnoviteľných zdrojov nad jadrovou energiou, hovoria „pobrežné veterné turbíny by mohli poskytnúť elektrinu pre všetky domácnosti v Anglicku,“ Na konci roku 2007, britská vláda ohlásila povolenie



„Dobre – dohodnuté; oznamujem – „nič nerobiť nie je možné!“ tak počkáme a uvidíme, ako sa to vyvinie...“

Obrázok 1. 11. Zverejnené s láskavým povolením PRIVATE EYE/ Paul Lowe
www.private-eye.co.uk

výstavby veterných turbín na mori „dostatočných pre zásobovanie elektrinou všetkých domov v Británii.“ Hovorca organizácie Priatel'ia Zeme, Nick Rau povedal, že organizácia takéto rozhodnutie vlády víta. „Potenciálna elektrická energia, ktorú môže tento priemysel vyrobiť, je obrovská,“ povedal [25e59w]. Podľa časopisu Guardian [5o7mxk], John Sauven, generálny riaditeľ organizácie Greenpeace povedal, že tieto plány predstavujú „revolúciu vo veternej energii“. „A labouristi sa potrebujú zbaviť svojej posadnutosti jadrovou energiou, ktorá dokáže znížiť emisie CO₂ iba o 4 % v ďalekej budúcnosti“. Nick Rau zo Spoločnosti Priateľov Zeme povedal: „Máme nesmiernu radosť, že vláda berie vážne potenciál veternej energie v moriach, ktorá dokáže vyrábať 25 % elektriny Británie do roku 2020“. O pár týždňov neskôr vláda ohlásila povolenie výstavby nových jadrových elektrární. „Dnešné rozhodnutie povoliť výstavbu novej generácie jadrových reaktorov... bude znamenať iba málo v boji s klimatickou zmenou,“ varovala organizácia Priatel'ia Zeme [5c4olc].

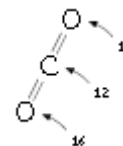
V skutočnosti obe plánované akcie – veterné turbíny na mori aj jadrové reaktory – by dodali rovnaké množstvo elektriny za rok. Celkový plánovaný výkon 33 GW by v priemere znamenal 10 GW, čo zodpovedá 4 kWh za deň na osobu; a nahradenie všetkých starnúcich jadrových elektrární by tiež znamenalo 10 GW elektriny, čo je 4 kWh na osobu za deň. V tej istej vete oponenti jadrovej energie hovoria, že jadrová energia „urobí málo,“ zatiaľ čo veterná energia by „zásobovala elektrinou všetky domy v Británii.“ Pravda je taká, že „zásobiť elektrinou všetky domy v Anglicku“ a „znížiť emisie iba o 4 %“ je presne to isté.

- 4 **„auto na vodu“** *New Scientist*, 29. júl 2006, strana 35. V článku s titulkom „Auto na vodu bude možno už do roku 2009“, sa dozvieme:
 - „Zabudnite na autá s pohonom na alkohol alebo rastlinný olej. Onedlho by ste mohli poháňať svoje auto obyčajnou vodou v nádrži. Bol by to automobil s absolútne nulovými emisiami.“
 - „Zatiaľ čo voda na prvý pohľad nepredstavuje zrejmy zdroj výkonu, má kľúčovú vlastnosť: obsahuje veľa vodíka, prvku, o ktorom sa často hovorí ako o nádeji, že bude zelené palivo budúcnosti.“
 - Výsledky, o ktorých informoval *New Scientist*, nie sú vymyslené – išlo však o auto, ktoré využíva ako palivo bór a ako prvý krok slúži chemická reakcia bóru s vodou. Prečo mal časopis *New Scientist* potrebu pretvoriť tento príbeh na auto s pohonom na vodu? Voda nie je palivo. Nikdy nebola a nikdy nebude. Voda už je spálená! Prvý zákon termodynamiky hovorí, že nie je možné získať energiu z ničoho; energiu je možné iba premeniť z jednej formy na inú. Energia pre akýkoľvek motor musí odniekiaľ pochádzať. Stanica Fox News prezentovala ešte absurdnejší príbeh [2fzt3].
- **Klimatická zmena predstavuje oveľa väčšie nebezpečenstvo ako terorizmus.** Sir David King, Hlavný vedecký poradca britskej vlády, Január, 2004. [26e8z]
- **oslavovanie cestovania** – narážka na to, že „oslavovanie“ by mohla byť trestným činom podľa definície Teroristického Aktu anglickou vládou s účinnosťou od 13. Apríla 2006. [ykhayj]
- 5 **Obrázok 1.2.** Tento obrázok ukazuje ťažbu surovej ropy vrátane kondenzátov, tekutých uhl'ovodíkov, zemného plynu a ďalších tekutých produktov a zisk zo spracovania v rafinérii. Zdroje: EIA a štatistický prehľad BP o svetovej energii.
- 6 **Prvý praktický parný stroj bol vynájdený v roku 1698.** V skutočnosti už Herón Alexandrijský opísal parný stroj, ale keďže jeho verzia sa nasledujúcich 1600 rokov neuchytila, považujem za prvý *praktický* stroj vynález Saveryho v roku 1698.
 - **Obrázky 1.4 a 1.7: Graf koncentrácie CO₂.** Údaje zozbieral Keeling a Whorf (2005) (merania v rokoch 1958 -2004); Neftel a kol. (1994) (1734 - 1983); Etheridge a kol. (1998) (1000 - 1978); Siegenthaler a kol (2005) (950 - 1888 n. l.); a Indermuhle a kol. (1999) (v období pred 11 000 až 450 rokmi). Mimochodom, tento graf si netreba popliesť s „hokejovým grafom“ – ten ukazuje historickú rekonštrukciu globálnych *teplôt*. Pozorný čitateľ si povšimne, že prezentovaný argument o klimatickej zmene nezmieňuje *historické* záznamy teplôt vzduchu.
 - Obrázky 1.5-1.7: Ťažba uhlia:** zdroje podľa Jevonsa (1866), Malanima (2006), Holandskej environmentálnej agentúry (NEAA) (2006), Národnej kancelárie pre ekonomický výskum (2001), Hatcher (1993), Flinn a Stoker (1984), Churk a kol. (1986), Supple (1987), Ashworth a Pegg (1986). Jevons bol prvým autorom, ktorý hovoril o „ropnom zlome“ [u nás pozri V. Cílek, Nejistý plamen – pozn. prekl.]. V roku 1865 odhadol zásoby ľahko dostupného uhlia v Británii, a to na základe histórie exponenciálneho rastu spotreby a predpovedal koniec exponenciálneho rastu a koniec britkej nadvlády svetovému priemyslu. „Nemôžeme sa dlho udržať na súčasnej rýchlosti rastu spotreby... obmedzenie nášho napredovania sa musí prejaviť v priebehu nasledujúcich 100 rokov. ...záver je nevyhnutne taký, že dni nášho šťastného napredovania a vhodných

podmienok sú vecou obmedzeného trvania.“ Jevons mal pravdu. V priebehu storočia dosiahla ťažba uhlia v Británii vrchol a nasledovali dve svetové vojny.

- 8 *Dominic Lawson, novinár z The Independent.* Citácia z príspevku Dominica Lawsons v *The Independent*, 8. júna 2007.

Nejde o doslovnú citáciu: Skrátil som jeho slová pre väčšiu zreteľnosť, ale dal som si pozor, aby som neopravil žiadne z jeho chýb, *Všetky tri čísla, ktoré uvádza, sú nesprávne.* Tu je objasnené, prečo. Po prvé, hovorí o „oxide uhličitom“, ale udáva hodnoty pre uhlík: spaľovanie fosílnych palív znamená pridávanie 26 gigaton CO₂ za rok do atmosféry (nie 7 gigaton). To je častá chyba. Po druhé, tvrdí, že oceány emitujú do atmosféry 36 000 gigaton uhlíka za rok. To je oveľa horšia chyba: 36 000 gigaton je totiž *celkový obsah* uhlíka v oceánoch! Podľa štandardných grafov uhlíkového cyklu [16y5g], je ročný tok výrazne menší – asi 90 gigaton uhlíka za rok (330 Gt CO₂/rok) (Domnievam sa, že týchto 90 GtC/rok je odhadovaná rýchlosť toku, pri ktorom by atmosféra náhle znížila svoj obsah koncentrácie CO₂ na nulu.) Podobne tak jeho tok „1900 gigaton“ z biosféry do atmosféry je nesprávne. Správny údaj podľa štandardných grafov je približne 120 gigaton uhlíka za rok (440 GtCO₂/rok).



Hmotnosti atómu uhlíka a molekuly CO₂ sú v pomere 12 ku 44, pretože atóm uhlíka váži 12 a každý kyslík váži 16 atómových hmotnostných jednotiek. $12 + 16 + 16 = 44$.

Mimochodom, pozorovaný nárast koncentrácie CO₂ presne zodpovedá tomu, čo by sa dalo očakávať za predpokladu, že väčšina emisií uhlíka zostane v atmosfére. Od roku 1714 do roku 2004 sme vypustili do atmosféry približne 1160 GtCO₂ v dôsledku spaľovania fosílnych palív a výroby cementu (Marland a kol., 2007). Ak by vo vzduchu zostali *všetky* emisie, koncentrácia CO₂ by sa zdvihla až o 160 ppm (z 280 ppm na 440 ppm). Doterajší pozorovaný nárast bol približne 100 ppm (z 275 na 377 ppm) [385 ppm v roku 2008 – pozn. prekl.]. Takže z toho množstva, čo sme vypustili, vo vzduchu zostalo približne 60 %.

- 10 *Oxid uhličitý má otepľujúci účinok.* Nadmerne emotívna debata na túto tému sa stáva už pomerne únavnou, je to tak? „Veda už povedala svoje posledné slovo.“ „Nie, nepovedala!“ „Povedala, áno!“ Myslím, že najlepšie, čo môžeme urobiť, je odkázať každého, kto si chce odpočinúť od kričania, na krátku správu od Charney a kol. (1979). Závěry tejto správy majú rozhodne váhu, pretože správa pochádza z dielne Národnej akadémie vied (ekvivalent k Slovenskej akadémii vied, v Británii Kráľovská spoločnosť), ktorá si zvolila expertov na základe ich odbornosti a „s ohľadom na vhodnú vyváženosť.“ Výskumná skupina bola ustanovená „pod záštitou Vedenia výskumu podnebia Rady národného výskumu, aby sledovala vedecké podklady pre projekcie možných klimatických zmien budúcnosti, ako dôsledok emisií oxidu uhličitého do atmosféry, pochádzajúceho z ľudskej činnosti.“ Presnejšie, boli požiadani o: „identifikáciu hlavných predpokladov, na ktorých stojí dnešné pochopenie týchto faktorov a procesov a zhrnutie výstižným a objektívnym spôsobom naše najlepšie dnešné pochopenie spojenia oxidu uhličitého a zmeny podnebia ku prospechu zákonodarcov.“ Správa má iba 33 strán a dá sa voľne stiahnuť [5qfkw] a odporúčam ju. Je v nej jasne stanovené, ktoré fakty boli známe už v tom čase, teda v roku 1979, a ktoré veci zostávajú stále nejasné.

Tu sú hlavné závery, ktoré som si z nej zobral. Po prvé, zdvojnásobenie koncentrácie CO₂ zmení ohrievanie troposféry, oceánov a pevniny o priemernú energiu na jednotku plochy, približne 4 W/m², pokiaľ zostanú všetky ostatné vlastnosti atmosféry nezmenené. Tento otepľujúci účinok je možné porovnať s priemerným množstvom energie absorbovanej atmosférou, pevninou a oceánmi, čo je 238 W/m². Takže účinok zdvojnásobenia koncentrácie CO₂ by bol rovný nárastu intenzity Slnka o $4/238 = 1,7$ %. Po druhé, dopady takéhoto oteplenia je ťažké predpovedať pre vysokú zložitosť systému atmosféra/oceán, ale autori predpovedali oteplenie v rozsahu 2 °C až 3,5 °C, s výraznejším nárastom vo vyšších zemepisných šírkach. Autori nakoniec uzatvárajú, že: „napriek snahe sa nám nepodarilo nájsť žiadne prehliadnuté alebo podhodnotené fyzikálne vplyvy, ktoré by mohli znížiť súčasné predpokladané oteplenie v dôsledku zdvojnásobenia koncentrácie CO₂ na zanedbateľné hodnoty, alebo ho dokonca zvrátili.“ Upozorňujú, že vďaka oceánom existuje „veľká a významná zotrvačnosť globálneho klimatického systému,“ ktorá môže spôsobiť, že oteplenie sa môže prejavovať veľmi pomaly, takže ho bude ťažké zaznamenať v nadchádzajúcich desaťročiach. Napriek tomu „oteplenie sa nakoniec prejaví a s ním spojené regionálne klimatické zmeny... môžu byť významné.“

Predhovor predsedu Asociácie pre výskum podnebia (Climate Research Board) Vernera E. Suomiho zhrnul závery správy slávnou dvojicou záporov. „Ak bude pokračovať nárast koncentrácie oxidu uhličitého, podľa správy nie je dôvod pochybovať o klimatických zmenách a nie je dôvod veriť, že tieto zmeny budú zanedbateľné.“

- 10 *Litánie pravdepodobných drastických dopadov oteplenia - Pretože som si istý, že ste o nich už počuli.* Pozri [2z2xg7] ak nie.
- 12 *Môžeme pokračovať v delení a jednotlivé regióny rozdeliť na krajiny.* Zdroj údajov: Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Verzia 4.0. (Washington, DC: World Resources Institute, 2007). Prvé tri obrázky ukazujú celkové národné emisie všetkých hlavných skleníkových plynov (CO₂, CH₄, N₂O, PFC, HFC, SF₆), bez príspevku súvisiaceho so zmenami využívania krajiny a lesníctva. Obrázok na strane 14 ukazuje kumulatívne emisie len pre CO₂.
- 14 *Británia, gratulujem! ...pri započítaní historických emisií na obyvateľa sme druhí, hneď za USA.* Úprimne sa týmto ospravedlňujem Luxembursku, ktoré je z historického pohľadu v emisiách na obyvateľa pred USA aj Britániou; ale ak uvažujem o pódiu víťazov, mám na mysli skutočne krajiny, ktoré majú vysoké emisie na obyvateľa, ale zároveň aj vysoké emisie ako štát. Najväčšími historickými znečisťovateľmi sú podľa dostupného poradia USA (322 GtCO₂), Rusko (90 GtCO₂), Čína (89 GtCO₂), Nemecko (78 GtCO₂), Veľká Británia (62 GtCO₂), Japonsko (43 GtCO₂), Francúzsko (30 GtCO₂), India (25 GtCO₂) a Kanada (24 GtCO₂). Poradie emisií na osobu je nasledovné: Luxembursko, USA, Veľká Británia, Česká republika, Belgicko, Nemecko, Estónsko, Katar a Kanada.
- *Niektoré krajiny, vrátane Británie, sa zaviazali znížiť emisie skleníkových plynov o 60 % do roku 2050.* Naozaj, ako píšem, zvýšila britská vláda svoj záväzok zníženia emisií na 80 % oproti hodnotám v roku 1990.
- 15 *Obrázok 1.8.* Pri scenári s nižšími emisiami je pravdepodobnosť, že teplota prekročí hranicu oteplenia o 2 °C 9 – 26 %; celkové kumulatívne emisie oxidu uhličitého od roku 2007 do budúcnosti dosahujú 309 GtC; najvyššia koncentrácia CO₂ je 410 ppm, koncentrácia CO₂e dosiahne maximálne 421 ppm a v roku 2100 klesne koncentrácia CO₂ na 355 ppm. Pri vyššom scenári je pravdepodobnosť prekročenia teploty o 2 °C medzi 16 - 43 %; kumulatívne emisie od roku 2007 predstavujú 415 GtC; najvyššia koncentrácia CO₂ je 425 ppm, koncentrácia CO₂e dosiahne maximálne 435 ppm, v roku 2100 klesne koncentrácia CO₂ na 380 ppm. Pozri aj <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2007-2008/>.
- 16 *a na internete tiež existuje množstvo užitočných zdrojov.* Odporúčam napríklad: *Štatistický prehľad svetovej energie* od BP [yyxq2m], Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj www.sd-commission.org.uk, Dánska asociácia pre veternú energiu www.windpower.org, Environmentalisti za jadrovú energiu www.ecolo.org, Oddelenie pre veternú energiu, Univerzita Risø www.risoe.dk/vea, DEFRA www.defra.gov.uk/environment/statistics a obzvlášť odporúčam knihu *Avoiding Dangerous Climate Change* [Ako sa vyhnúť nebezpečnej klimatickej zmene – pozn. prekl.] [dzcqj], Inštitút Pembina www.pembina.org/publications.asp a DTI (teraz pod skratkou BERR) www.dti.gov.uk/publications/.
- 17 *faktické tvrdenia a etické tvrdenia...* Etické tvrdenia tú tiež známe ako „normatívne tvrdenia“ alebo „hodnotové súdy“ a faktické tvrdenia sú tiež známe ako „pozitívne tvrdenia.“ Etické tvrdenia často využívajú slovesá ako „mal by“ a „musí“, alebo prívlastky ako „spravodlivý“, „správny“ a „nesprávny“. K tejto problematike odporúčam dobrú publikáciu Dessler a Parson (2006). [y98ys5]
- 18 *Gordon Brown.* 10. septembra 2005 povedal Gordon Brown, že vysoká cena paliva znamená vysoké riziko pre európsku ekonomiku a globálny rast a vyzval krajiny OPEC-u [Združenie krajín vyvážajúcich ropu – pozn. prekl.], aby zvýšili ťažbu ropy. O šesť mesiacov neskôr povedal: „Potrebujeme ...vyššiu produkciu, viac vrtov, viac investícií, viac investícií do petrochemického priemyslu.“ (22. Apríl 2006). [y98ys5]
- Rád by som zmiernil svoju kritiku voči Gordonovi Brownovi, pretože nedávno sa vyjadril za podporu elektromobilov a „plug-in“ hybridných automobilov. Ako uvidíte neskôr, jeden zo záverov v tejto knihe je, že elektrifikácia väčšiny dopravy je dobrým plánom, ako sa zbaviť spaľovania fosílnych palív.

2 Rovnováha

Prírodu nemožno oklamať.

Richard Feynman

Teraz sa podme venovať výrobe a spotrebe energie. Dnes sa väčšina energie, ktorú spotrebuje rozvinutý svet, získava z fosílnych palív, čo nie je dlhodobu udržateľné. Presne ako dlho dokážeme ešte žiť z fosílnych palív, je zaujímavá otázka, ale tou sa v tejto knihe zaoberať nebudeme. Budeme rozmýšľať o tom, ako sa *dá existovať bez fosílnych palív*.

Najprv si urobíme dva stĺpce. Na ľavej strane do červeného stĺpca budeme pridávať spotrebu energie, do pravého zeleného stĺpca budeme pridávať energiu z obnoviteľných zdrojov. Postupne budeme stĺpce skladat' z tých jednotlivých zložiek, o ktorých bude práve reč.

Otázka, ktorou sa v knihe budeme zaoberať, znie: „*Môžeme žiť trvalo udržateľným spôsobom?*“ Preto pozbierame všetky *možné* spôsoby získavania obnoviteľnej energie a naskladáme ich do zeleného stĺpca vpravo.

Vľavo, v červenom stĺpci, vypočítame spotrebu „typickej, priemerne bohatej osoby“; odporúčam vám, aby ste si spočítali svoju *vlastnú* spotrebu a vytvorili si tiež svoj vlastný červený stĺpec. Neskôr k výpočtom pridáme súčasnú *priemernú* spotrebu energie Európanov a Američanov.



SPOTREBA VÝROBA

Vybrané kľúčové formy spotreby pre stĺpec vľavo:

- ◆ doprava
 - autá, lietadlá, lode
- ◆ vykurovanie a chladenie
- ◆ osvetlenie
- ◆ informačné systémy a iná elektronika
- ◆ jedlo
- ◆ priemyselná výroba

Hlavné kategórie v stĺpci vpravo s trvalo udržateľnou výrobou:

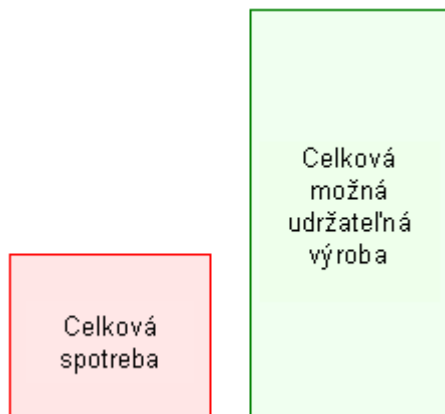
- ◆ veterná energia
- ◆ solárna energia
 - fotovoltaika, tepelná energia, biomasa
- ◆ vodná energia
- ◆ energia vln
- ◆ prílivová energia
- ◆ geotermálna energia
- ◆ jadrová? (s otazníkom, pretože nie je jasné, či jadrová energia je „udržateľná“)

Pri určovaní našej spotreby energie na vykurovanie, dopravu, výrobu a tak ďalej, nechceme určiť iba konečnú spotrebu v ľavom stĺpci, ale aj pochopiť, od čoho táto spotreba závisí, a ako možno jej jednotlivé zložky meniť a ovplyvňovať.

V pravom, zelenom stĺpci budeme na seba ukladať jednotlivé zložky obnoviteľnej energie dostupné pre Veľkú Britániu. To nám umožní odpovedať na otázku: „Dokáže Veľká Británia existovať zo svojich vlastných zdrojov obnoviteľnej energie?“

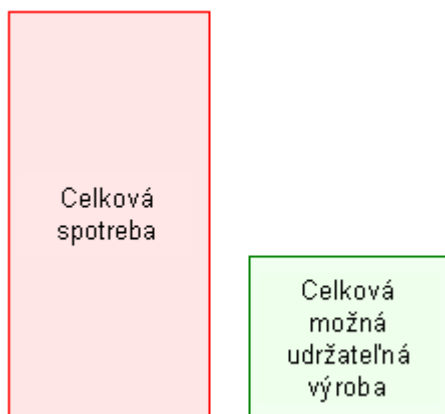
Či obnoviteľné zdroje energie, o ktorých tu budeme uvažovať, sú *ekonomicky* zmysluplné, je veľmi dôležitá otázka, no odložme ju bokom a najprv poskladajme stĺpce. Niekedy sa totiž ľudia príliš zameriavajú na ekonomickú stránku vecí a unikajú im širšie súvislosti. Ľudia sa napríklad pýtajú: „Je veterná energia lacnejšia ako jadrová?“ a zabudnú sa opýtať „*koľko* vetra máme k dispozícii?“ alebo „*koľko* uránu nám zostáva?“

Výsledok na konci by mohol vyzeráť približne takto:



Ak zistíme, že spotreba je oveľa nižšia ako možnosti obnoviteľnej energie, môžeme potom povedať „dobre, *možno* dokážeme žiť trvalo-udržateľne; pozrime sa na ekonomické, sociálne a ekologické dopady obnoviteľných alternatív; a ak všetko pôjde dobre, *nemusí* nastať energetická kríza.“

Alebo naopak zistíme, že náš výsledok vyzerá takto:



- oveľa horší výsledok. To nám hovorí, že „bez ohľadu na ekonomickú stránku obnoviteľnej energie *nemáme* jednoducho dostatok obnoviteľnej energie na udržanie nášho súčasného životného štýlu; prichádza významná zmena.“

Energia a elektrina

Debata o výrobe a spotrebe energie sú nejasné pre nadmerné množstvo *jednotiek*, v ktorých elektrinu a energiu meriame. Od „ton ropného ekvivalentu“ až po „terawatt hodiny“ (TWh) a „exajouly“ (EJ). Iba odborníci vedia, čo sa naozaj skrýva pod jednotkou „barel ropy“ alebo „milión BTU“. V tejto knihe budeme všetko vyjadrovať v jednoduchých jednotkách, ktoré si každý dokáže prestaviť.

Jednotka **energie**, ktorú som si zvolil, je kilowatthodina (kWh). Táto jednotka sa nazýva „jednotková“ na účtoch za elektrinu a spotrebiteľ za ňu v roku 2008 v Británii zaplatí asi 10 pencí. Ako ďalej uvidíme, väčšina činností v každodennom živote približne zodpovedá malým číslam vyjadreným touto jednotkou.

Keď budeme hovoriť o **výkone** (teda rýchlosti, s akou spotrebujeme alebo vyrábame energiu), hlavná jednotka bude kilowatthodina za deň (kWh/d). Niekedy použijeme aj jednotku watt (40 W \approx 1 kWh/d) a kilowatt (1 kW = 1000 W = 24 kWh/d), ako ďalej vysvetlím. Kilowatthodina za deň je výborná jednotka: väčšina každodenných činností spotrebúvajúcich energiu sa pohybuje rýchlosťou malého čísla v kilowatthodinách za deň. Napríklad jedna 40 W žiarovka, ak svieti celý deň, spotrebuje **jednu** kilowatthodinu za deň. Niektoré elektrické spoločnosti k účtom za elektrinu udávajú aj grafy spotreby elektriny s kilowatthodinami za deň. Túto jednotku budem používať pre všetky formy energie, nielen pre elektrinu. Spotrebu benzínu, plynu, uhlia - všetko toto budem merať v kilowatthodinách za deň. Ešte to vyjasním: pre niektorých ľudí znamená slovo „výkon“ iba spotrebu *elektrickej* energie. Ale táto kniha sa venuje *všetkým* formám spotreby energie a výroby a budem používať pojem „výkon“ aj pre ostatné formy využívania energie.

Jedna kilowatthodina za deň zodpovedá približne energii, ktorú by vykonal jeden ľudský sluha. Počítať v kilowatthodinách za deň je preto veľmi účinný spôsob, ako vyjadriť počet sluhov, ktorí pre vás pracujú.

V bežnej reči ľudia často zamieňajú energiu a výkon, ale v tejto knihe sa musíme prísne držať ich vedeckých definícií. *Výkon je rýchlosť, akou sa spotrebúva energia.*

Možno dobrý spôsob, ako vysvetliť energiu a výkon, je použitie analógie *vody* a *vodného toku* z kohútika. Ak sa chcete napiť vody, chcete určitý **objem** vody – povedzme **jeden liter** (ak máte smäd). Keď otočíte kohútikom, vytvoríte **tok** vody – približne **jeden liter za minútu**, ak kohútikom otočíte iba málo; alebo to môže byť desať litrov za minútu v prípade väčšieho pootočenía. Ten istý objem (jeden liter) vody získate pri väčšom pootočení za jednu desatinu minúty alebo za jednu minútu pri malom pootočení. Tento *objem* za určitý čas je rovný *toku* násobeného *časom*:

$$\text{objem} = \text{tok} \times \text{čas}$$



Obrázok 2.1. Rozdiel medzi energiou a výkonom (elektrickou energiou). Každá z týchto 60 wattových žiaroviek má výkon 60 W keď svieti; nespotrebovávajú „energii“ 60 W; vyžaruje 60 W *elektrickej* energie vo forme svetla a tepla (hlavne toho druhého).

objem meriame v litroch	tok meriame v litroch za minútu
energii meriame v kWh	výkon meriame v kWh za deň

Hovoríme, že tok je rýchlosť, pri ktorej dosiahneme určitý objem. Ak poznáme objem dosiahnutý za určitý čas, môžeme získať tok vydelením objemu časom:

$$\text{tok} = \frac{\text{objem}}{\text{čas}}$$

A tu je spojitosť energie a elektrického výkonu. Objem vody zodpovedá energii; tok vody zodpovedá výkonu elektrickej energie.

Ak je napríklad kedykoľvek zapnutý hriankovač, začne spotrebúvať elektrickú energiu rýchlosťou jeden kilowatt dovedy, kým ho nevypneme. Alebo inak, hriankovač (ak ho necháme stále zapnutý) spotrebuje jednu kilowatthodinu (kWh) za hodinu; a za deň spotrebuje 24 kilowatthodín.

Čím dlhšie je hriankovač zapnutý, tým viac energie spotrebuje. Môžete si vypočítať energiu spotrebovanú nejakou činnosťou vynásobením výkonu časom:

$$\text{energia} = \text{elektrický výkon} \times \text{čas}$$

Joule je štandardná medzinárodná jednotka energie, ale nanešťastie je príliš malá na to, aby sa s ňou dalo pracovať. Jedna kilowatthodina je rovná 3,6 miliónom joulov (3,6 megajoulov).

Elektrický výkon je natoľko dôležitý a užitočný, že má niečo, čo iné toky nie: svoje špeciálne jednotky. Keď hovoríme o toku, môžeme ho merať v litroch za minútu, galónoch za hodinu alebo kubických metroch za sekundu; všetky tieto jednotky jasne naznačujú, že ide o objem za čas. Výkon „jeden joule za sekundu“ sa nazýva *jeden watt*. Jeden tisíc joulov za jednu sekundu je jeden kilowatt. Takže aby sme mali v terminológii jasno: hriankovač spotrebuje jeden kilowatt. Nespotrebuje „jeden kilowatt za sekundu.“ Pojem „za sekundu“ už je obsiahnutý v definícii kilowattu: jeden kilowatt je „jeden kilojoule za sekundu.“

Iné príklady jednotiek, ktoré majú podobne ako watt už v sebe zahrnutý údaj „za čas“, je uzol: „Rýchlosť našej jachty bola desať uzlov!“ (uzol vyjadruje rýchlosť námornej míle za hodinu); hertz - „Dokážem počuť bzučanie pri 50 hertzoch“ (jeden hertz je frekvencia jedného cyklu za sekundu); ampér - „Rozbuška vybuchne, ak je prúd vyšší ako 13 ampérov“ (nie 13 ampérov za sekundu); a kónská sila - „Tento čmudiaci stroj má výkon 50 koní“ (nie 50 koní za sekundu, ani 50 koní za hodinu, ani 50 koní za deň, ale iba 50 koní). Podobne hovoríme, že „jadrová elektrárňa vyrába jeden gigawatt.“ Jeden gigawatt, je mimochodom milión kilowattov, alebo 1000 megawattov. Takže jeden gigawatt uživí milión hriankovačov. A písmeno „g“ v slove gigawatt vyslovujeme tvrdo, podobne ako v slove grgať. Písmená „g“ a „w“ píšeme veľkými písmenami iba v prípade ich skrátene na GW.

Prosím, nikdy nehovorte „jeden kilowatt za sekundu“, „jeden kilowatt za hodinu“, alebo „jeden kilowatt za deň“, pretože žiadna z týchto jednotiek nie je platnou jednotkou elektriny. Nutkanie ľudí hovoriť „za niečo“, keď hovoria o svojich hriankovačoch, je jedna z príčin, prečo som sa rozhodol ako jednotku výkonu používať „kilowatthodinu za deň“. Ospravedlňujem sa, že je to trochu ťažkopádnejšie vysvetliť a napísať.

energiu
meriame v
kWh
alebo
MJ

výkon
meriame v
kWh za deň
alebo
kW
alebo
W (wattoch)
alebo
MW (megawattoch)
alebo
GW (gigawattoch)
alebo
TW (terawattoch)

A ešte posledná vec, ktorú chcem ujasniť: Ak napíšem „niekto spotreboval jeden gigawatt energie,“ hovorím iba to, *koľko* energie spotreboval, ale nie *ako rýchlo* ju spotreboval. A ak sa povie jedna gigawatthodina, neznamená to *automaticky*, že energia bola spotrebovaná za *jednu hodinu*. Môžete spotrebovať jednu gigawatthodinu energie, ak zapnete milión hriankovačov na jednu hodinu, alebo ak zapnete tisíc hriankovačov na tisíc hodín.

Ako som už uviedol, zväčša udávam výkon v kWh/d *na osobu*. Jedna z príčin je možnosť ľahkého porovnávania medzi krajinami alebo regiónmi. Predstavte si napríklad, že sa bavíme o spaľovaní odpadu a zistíme, že spaľovanie odpadu v Anglicku znamená množstvo elektrického výkonu 7 terawatthodín za rok a že v Dánsku je to 10 terawatthodín za rok (jedna terawatthodina je jedna miliarda kilowatthodín). Pomôže nám to určiť, či Dánsko spaľuje „viac“ odpadov ako Anglicko? Zatiaľ, čo samotné celkové množstvo energie vyrobenej z odpadu v každej krajine je zaujímavý údaj, myslím, že to, čo chceme vedieť, je údaj množstva výkonu *na jednu osobu*. (Keď už sme pri tom, v prípade Dánska je to 5 kWh/d/osobu a v prípade Anglicka 0,3 kWh/d/osobu.) Ak budeme diskutovať o všetkom v jednotkách osôb, výsledkom knihy bude jej lepšia použiteľnosť, taká, ktorá bude - dúfajme - užitočná pri diskusiách o obnoviteľnej energii na celom svete.

Pikantné detaily

Je energia stále rovnako? Hovoríme o „používaní“ energie, ale nehovorí jeden z prírodných zákonov, že energiu nemožno vytvoriť, ani zničiť?

Áno, nie som celkom presný. V skutočnosti je táto kniha o *entropii* – čo je ťažšie vysvetliteľné. Keď „spotrebujeme“ jeden kilojoule energie, v skutočnosti iba *premieňame* jeden kilojoule energie z formy s *nízkou entropiou* (napríklad elektrickej energie) na presne také isté množstvo energie s inou formou, ale už oveľa *vyššou entropiou* (napríklad horúca voda, alebo horúci vzduch). Aj v prípade, že „spotrebujeme“ energiu, tá stále existuje; ale za normálnych okolností nedokážeme používať energiu stále dookola, pretože užitočná energia je tá s *nízkou entropiou*. Niekedy sa tieto formy energie rozlišujú pridaním písmena k jednotke: jedna kWh(e) znamená jednu kilowatthodinu elektriny – to je najkvalitnejšia energia. Jedna kWh(t) je jedna kilowatthodina tepelnej energie – toľko je napríklad v desiatich litroch vriacej vody. Energia skrytá v predmetoch s vysokou teplotou je obvykle užitočnejšia (s nižšou entropiou) ako energia v chladnejších predmetoch. Tretí stupeň energie predstavuje chemická energia. Tá má podobne vysokú kvalitu, ako elektrická energia.

Je pohodlnejšie, aj keď zavádzajúcejšie hovoriť o energii skôr ako o entropii a práve to budeme v tejto knihe väčšinou robiť. Niekedy s však toto zavádzanie spresním; napríklad, keď sa budeme rozprávať o mrazení, elektrárnach, tepelných čerpadlách alebo o geotermálnej energii.

Ale neporovnávame tu jablká s hruškami? Je možné porovnávať rôzne formy energie, ako napríklad chemickú, ktorú spaľujeme v automobiloch, s elektrickou energiou získanou z veterných turbín?

Ak porovnáваме spotrebovanú energiu s rôzne vyrobenou energiou, neznamená to, že všetky formy energie sú ekvivalentné a zameniteľné. Elektrickú energiu vyrobenú veternou turbínou nemožno využiť v spaľovacom motore, a benzín nám nepomôže, ak chceme pozerať televízor. V princípe je možné premeniť jednu formu energie na inú, vždy pri určitých stratách. Elektrárne na fosílné palivá napríklad spotrebujú *chemickú energiu* a vyrábajú *elektrinu* (s účinnosťou asi 40 %). A hliníkové továrne zasa využívajú *elektrickú energiu* na výrobu produktu s vysokým obsahom chemickej energie – hliníka (s účinnosťou asi 30 %).

V niektorých záveroch o výrobe a spotrebe energie sa všetky formy energie uvádzajú v tých istých jednotkách, ale pridávajú sa k nim koeficienty, napríklad elektrická energia získaná z vodnej elektrárne má 2,5-násobne vyššiu hodnotu ako chemická energia získaná z ropy. Takéto hodnotenie efektívnej energetickej hodnoty elektriny možno obhájiť slovami „no, 1 kWh elektriny sa rovná 2,5 kWh energie ropy, pretože ak dáme toľko ropy do priemernej elektrárne, získame asi 40 % z 2,5 kWh, čo sa rovná 1 kWh elektrickej energie.“ Avšak v tejto knihe budem pri porovnávaní rôznych foriem energie používať prevody 1:1. *Nie je* totiž pravda, že 2,5 kWh v rope sa nevyhnutne rovná 1 kWh v elektrine; to len v prípade, ak by sme z ropy vyrábali elektrinu. Áno, premena chemickej energie na elektrickú sa uskutočňuje s takouto účinnosťou. Ale aj elektrickú energiu je možné premieňať na chemickú energiu. V inom svete, možno nie takom vzdialenom, s pomerne dostatočným množstvom elektriny a nedostatkom ropy, môžeme používať elektrinu na výrobu paliva; v takom svete by sme určite nepoužívali ten istý konverzný koeficient – v takom prípade by nás každá kWh benzínu stála asi 3 kWh elektriny! Myslím si, že časovo nemenný a vedecky správny spôsob vyhodnocovania a porovnávaní jednotlivých energií, je považovať 1 kWh chemickej energie za 1 kWh elektriny. Takýto spôsob vyhodnocovania energie bude znamenať, že niektoré moje odhady budú vyzeráť odlišne od niektorých iných (napríklad podľa *Štatistického prehľadu svetovej energie BP (BP's Statistical Review of World Energy)* sa 1 kWh elektriny rovná 100/38 kWh \approx 2,6 kWh ropy; ale naopak, vládne údaje *Spracovania britskej štatistiky energie (Digest of UK energy Statistics, DUKES)* používajú porovnanie 1 : 1 tak ako ja). Znovu zdôrazňujem, tento spôsob porovnania neznamená, že tým hovorím, aby ste premieňali jednu formu energie na inú. Premena energie vždy prináša straty, či už premena chemickej na elektrickú alebo naopak.

Fyzika a rovnice

Cieľom knihy nie je iba vyhodnotiť dnešnú spotrebu energie v číslach a možnú výrobu energie z obnoviteľných zdrojov, ale tiež by malo byť jasné, *od čoho tieto čísla závisia*. Pochopiť, od čoho výsledné čísla závisia, je nevyhnutné na uskutočnenie vhodných rozhodnutí, ktoré by tieto čísla menili. Iba v prípade, ak pochopíme fyzikálne princípy súvisiace so spotrebou energie, môžeme kriticky hodnotiť vyjadrenia typu „autá vyplytvajú 99 % energie, ktorú spotrebujú; mohli by sme prerobiť naše autá tak, aby boli stokrát účinnejšie.“ Je tento výrok pravdivý? Na vysvetlenie budem musieť použiť nasledujúcu rovnicu:

$$\text{kinetická energia} = \frac{1}{2}mv^2$$

Pripúšťam, že pre mnoho čitateľov je takáto rovnica španielskou dedinou. A preto dopredu sľubujem: *Všetky takéto rovnice budú zhrnuté iba v technických kapitolách na konci knihy*. Ktokoľvek s vysokoškolským vzdelaním v matematike, fyzike alebo chémii si určite tieto kapitoly s radosťou prečíta. Hlavný obsah knihy (od strany 2 po stranu 251) je určený pre každého, kto vie sčítať, násobiť a deliť. Ale je určená hlavne pre našich zvolených aj nezvolených zástupcov, členov britského parlamentu.

A ešte posledná poznámka, než sa do toho pustíme: neviem o energii všetko. Nepoznám všetky odpovede a čísla tu uvedené je možné skontrolovať a opravovať. (V skutočnosti očakávam opravy a uverejním ich na internetových stránkach knihy.) Ale jedným *som* si istý: akékoľvek odpovede týkajúce sa obnoviteľnej energie vyžadujú čísla. Táto kniha ich poskytuje a dáva návod, ako s nimi pracovať. Dúfam, že sa vám to bude páčiť!

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

25 *Pojem „za sekundu“ už je obsiahnutý v definícii kilowattu*. Iné príklady jednotiek, ktoré, podobne ako watt, už v sebe majú „za čas“ sú uzle – „rýchlosť našej jachty bola desať uzlov!“ (uzol je jedna námorná míľa za hodinu); hertz – „Počujem bzučanie 50 hertzov“ (jeden hertz je frekvencia jedného cyklu za sekundu); ampér – „poistka praskne ak je prúd vyšší ako 13 ampérov“ (nie 13 ampérov za sekundu); a konská sila – „ten čmudiaci motor dosahuje výkon 50 konských síl“ (nie 50 konských síl za sekundu, ani 50 konských síl za hodinu, ani 50 konských síl za deň, iba 50 konských síl).

- *Prosím, nikdy nehovorte „jeden kilowatt za sekundu“* Existujú určité, veľmi zriedkavé výnimky z tohto pravidla. Ak sa hovorí o raste v dopyte po výkone, je možné povedať „Dopyt v Británii rastie rýchlosťou 1 gigawatt za rok.“ V kapitole 26, kde budem hovoriť o kolísaní veternej energie, poviem „ráno výkon dodávaný veternými mlynmi v Írsku klesol rýchlosťou 84 MW za hodinu.“ Pozor na to! Stačí jedna nešťastná slabika na vyvolanie zmatku: napríklad, váš merač spotreby elektrickej energie (elektriny) je v kilowatthodinách (kWh), *nie* v „kilowattoch za hodinu“.

Na strane 368 nájdete tabuľku, ktorá vám pomôže robiť prevody z jednotiek kWh na osobu za deň a ďalších používaných jednotiek elektriny.

3 Autá

Prvú kapitolu, ktorá sa venuje spotrebe, začnime tým, čo našu modernú civilizáciu vystihuje najlepšie: autom.

Koľko elektriny spotrebuje naše auto? Len čo ovládneme prevody, zvyšok je len jednoduchá aritmetika:

$$\text{energia spotrebovaná za deň} = \frac{\text{vzdialenosť precestovaná za deň}}{\text{vzdialenosť na jednotku paliva}} \times \text{energia na jednotku paliva}$$

Nech je **vzdialenosť precestovaná za deň** uvažujme o 50 km (30 míľ).

Nech je **vzdialenosť na jednotku paliva**, známa aj pod názvom **spotreba** auta, 33 míľ na britský galón (prebraté z reklamy na rodinné auto):

$$33 \text{ míľ na britský galón} \approx 12 \text{ km na liter}$$

A čo s **energiou na jednotku paliva** (nazývanou aj ako **kalorická hodnota** alebo **energetická hustota**)? Namiesto jej pevného stanovenia je zábavnejšie trochu pouvažovať. Palivá automobilov (či už nafta alebo benzín) obsahujú uhľovodíky a tie môžeme nájsť aj na našom kuchynskom stole. Obsah kalórií je napísaný na obale: 8 kWh na kg (obrázok 3.2). Pretože sme počítali spotrebu auta v kilometroch na jednotku *objemu* paliva, potrebujeme vyjadriť kalorickú hodnotu v energii na jednotkový *objem*. Aby sme vyjadrili náš „8 kWh na kg“ (teda energiu na jednotkovú *hmotu*) na energiu na jednotkový objem, potrebujeme poznať hustotu paliva. Aká je hustota masla? Maslo pláva na hladine vody, podobne ako ropné škvrnky, takže jeho hustota musí byť o niečo nižšia ako hustota vody, ktorá má hustotu 1 kg na liter. Ak predpokladáme, že maslo má 0,8 kg na liter, získame kalorickú hodnotu:

$$8 \text{ kWh na kg} \times 0,8 \text{ kg na liter} \approx 7 \text{ kWh na liter.}$$

Lepšie ako opakovať nepresný prepočet bude lepšie pracovať s oficiálnymi údajmi pre benzín, teda 10 kWh na liter.

$$\begin{aligned} \text{energia za deň} &= \frac{\text{vzdialenosť za deň}}{\text{vzdialenosť na jednotku paliva}} \times \text{energia na jednotku paliva} \\ &= \frac{50 \text{ km/deň}}{12 \text{ km/liter}} \times 10 \text{ kWh/liter} \\ &\approx 40 \text{ kWh/deň.} \end{aligned}$$

Gratulujem! Práve sa nám podaril prvý výpočet spotreby. Tento výpočet je zobrazený v ľavom stĺpci na obrázku 3.3. Výška červeného stĺpca predstavuje 40 kWh spotrebovanej energie za deň na osobu.



Obrázok 3.1. Autá. Červené BMW v tieni vesmírnej lode z planéty Dorkon.



NUTRITION	
Typical Values	Per 100g
Energy kJ	3080

Obrázok 3.2. Chcete vedieť, aká je energia v palive auta? Pozrite sa na štítok na obale masla alebo margarínu. Kalorická hodnota je 3000 kJ na 100 g alebo približne 8 kWh na kg.

SPOTREBA VÝROBA



Obrázok 3.3. Záver kapitoly 3: typický šofér auta spotrebuje približne 40 kWh za deň.

Tento odhad platí pre typického majiteľa typického auta. V ďalších kapitolách sa budeme venovať *priemernej* spotrebe všetkých ľudí v Británii, pričom berieme do úvahy aj to, že nie každý obyvateľ vlastní auto. V druhej časti tiež rozoberieme, aká by *mohla* byť spotreba s pomocou iných technológií, ako napríklad elektromobilov.

Prečo dokáže auto prejsť 33 míľ na galón? Kam ide táto energia? Môžeme vyrobiť autá, ktoré by prešli 3300 míľ na galón? Ak nás zaujíma zníženie spotreby energie autom, musíme porozumieť fyzikálnym zákonom, ktorým podlieha. Odpovede na tieto otázky nájdete v technickej kapitole A (strana 256), kde je znázornená teória spotreby auta. Odporúčam vám čítať technické kapitoly iba v prípade, ak vám vzorce typu $\frac{1}{2}mv^2$ nespôsobujú zdravotné problémy.

Záver kapitoly 3: typický majiteľ auta spotrebuje približne 40 kWh za deň. Teraz potrebujeme vypočítať trvalo udržateľný spôsob výroby energie, takže budeme mať niečo, s čím tento výpočet porovnať.

Otázky

Aké sú energetické náklady na výrobu paliva pre auto?

Dobrá otázka. Pri výpočte energie spotrebovanej pri určitej činnosti sa vždy snažím určiť pevné „hranice“ danej činnosti. To zjednodušuje celý výpočet, ale súhlasím, že je vhodné definovať celkový energetický dopad danej činnosti. Odhaduje sa, že výroba každej jednotky paliva vyžaduje vklad 1,4 jednotky ropy a iných primárnych palív (Treloar a kol., 2004).

A čo energetické náklady na výrobu auta?

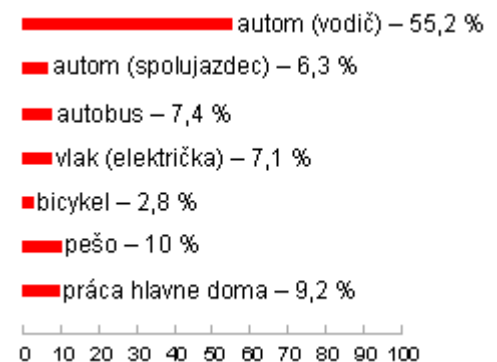
Áno, aj tieto náklady patria mimo hraníc výpočtu. O nákladoch na výrobu auta budeme hovoriť v 15. kapitole.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

29 *Nech je vzdialenosť precestovaná za deň 50 km.* To zodpovedá 18 000 km (11 000 míľ) za rok. Približne polovica populácie Britov jazdí do práce autom. Celkové množstvo najazdených kilometrov v Británii je 686 miliárd osobokm za rok, čo zodpovedá „priemernej vzdialenosti prejazdenej autom na jedného Brita“ 30 km za deň. Zdroj: Ministerstvo dopravy [5647rh]. Ako som povedal na str. 22, budem uvažovať o spotrebe „typického, primerane majetného obyvateľa“ – teda o spotrebe, ktorá je cieľom mnohých ľudí. Niektorí ľudia jazdia málo. V tejto kapitole som chcel vypočítať spotrebu energie ľudí, ktorí auto používajú, nie neosobný „priemer“ pre Britániu, ktorý dáva dokopy všetkých ľudí. Ak som napísal „priemerná spotreba energie na jazdu autom v Británii je 13 kWh/d na osobu“, stavím sa, že niektorí ľudia si to vyložia ako: „Jazdím na aute, takže spotrebujem 13 kWh/d.“

29 *...predpokladajme 33 míľ na britský galón.* To v európskych číslach znamená 8,6 litra na 100 km. 33 míľ na galón bol priemer britských áut v roku 2005



Obrázok 3.4. Ako cestujú do práce Briti, podľa prieskumu z roku 2001.

[27jdc5]. Benzínové autá majú priemernú spotrebu 31 mng (míl na galón); naftové autá 39 mng; nové benzínové autá (menej ako dva roky), 32 mng (Ministerstvo dopravy, 2007). Honda, „najúspornejší výrobca áut v USA,“ mala priemernú spotrebu nových áut v roku 2005 35 mng [28abpm].

- *predpokladajme hustotu 0,8 kg na liter.* Hustota benzínu je 0,737. Hustota nafty je 0,820-0,950 [nmn41].
- *...oficiálna hodnota je 10 kWh na liter.* Oak Ridge National Laboratory (ORNL) [2hcgdh] udáva nasledovné kalorické hodnoty: nafta: 10,7 kWh/l; letecké palivo: 10,4 kWh/l; benzín: 9,7 kWh/l. Ak sa pozriete na kalorické hodnoty, nájdete „hrubé kalorické hodnoty“ a „čisté kalorické hodnoty“ (známe aj ako „spalné teplo“ a „výhrevnosť“). Tieto hodnoty sa líšia iba o 6 % v prípade motorových palív, takže nie je dôležité ich rozlišovať, ale dovoľte mi, aby som rozdiel medzi nimi vysvetlil. Hrubá kalorická hodnota je vlastná chemická energia, ktorá sa uvoľní pri horení paliva. Jedným z produktov horenia je voda a vo väčšine motorov a elektrární sa časť tejto energie spotrebuje na výpar vody. Čistá kalorická hodnota udáva, koľko energie zostane po odpočítaní energie spotrebovanej na výpar.

Keď sa pýtame „koľko energie potrebujem na svoj životný štýl?“, správna veličina je práve hrubá kalorická hodnota. Naopak čistá kalorická hodnota je zaujímavá pre inžiniera elektrárne, ktorý rozhoduje o tom, aký druh paliva bude využívať. V tejto knihe som sa snažil používať hrubé kalorické hodnoty. A ešte posledná poznámka pre nekonečných pedantov, ktorí hovoria „maslo nerovná sa uhľovodík“: Dobré, nie je to *čistý* uhľovodík; ale je vhodné zjednodušiť to takto, pretože maslo zväčša tvoria dlhé uhľovodíky, podobne ako benzín. Dôkazom správnosti postupu je skutočnosť, že toto priblíženie znamenalo chybu menej ako 30 %. Vitajte vo svete partizánskej fyziky.

kalorické hodnoty	
benzín	10kWh na liter
nafta	11kWh na liter



4 Vietor

Británia má najlepšie zdroje veternej energie v Európe.

Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj

Veterné elektrárne narušia vzhľad krajiny celkom bezúčelne.

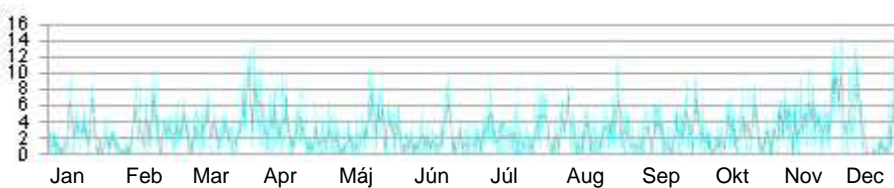
James Lovelock

Koľko veternej energie (resp. výkonu) dokážeme vyrobiť?

Odhadnúť potenciál veternej energie na pevnine v Británii môžeme vynásobením priemernej energie na jednotku plochy veternej elektrárne plochou, ktorá pripadá na jedného obyvateľa v Británii:

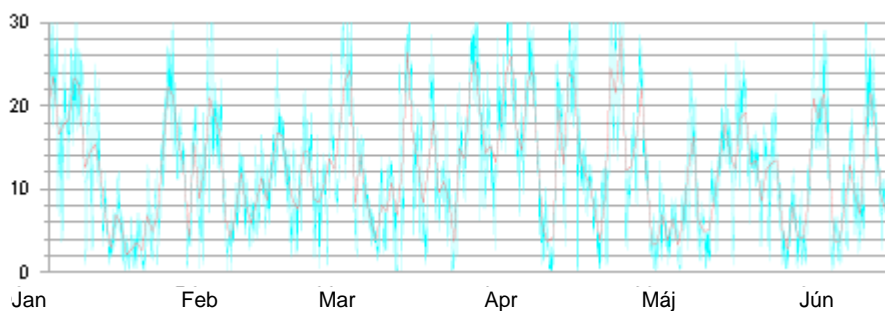
výkon na osobu = **veterný výkon na jednotku plochy** × plocha na osobu

Kapitola B (strana 265) vysvetľuje spôsob, ako vypočítať výkon z jednotkovej plochy veternej elektrárne v Británii. Ak je typická rýchlosť vetra 6 m/s (13 míľ za hodinu, alebo 22 km/h), výkon na jednotku plochy z veterného parku je približne **2 W/m²**.



Odhad 6 m/s je pravdepodobne nadhodnotením pre mnohé oblasti v Británii. Napríklad obrázok 4.1 ukazuje priemernú rýchlosť vetra v Cambridge v roku 2006. Vietor dosiahol dennú priemernú rýchlosť 6 m/s iba 30 dní v roku – pozri histogram na obrázku 4.6. Avšak niektoré miesta dosahujú aj rýchlosť nad 6 m/s – napríklad hora Cairngorm v Škótsku (obrázok 4.2).

Ak započítame hustotu populácie: 250 ľudí na km², alebo 4000 m² na osobu, zistíme, že veterný výkon dokáže vyrobiť



Obrázok 4.1. Priemerná rýchlosť vetra v metroch za sekundu v Cambridge, v denných (červená čiara) a v polhodinových intervaloch (modrá čiara) v roku 2006. Pozri aj obrázok 4.6.



Obrázok 4.2. Priemerná rýchlosť vetra v Cairngorm v metroch za sekundu, v priebehu šiestich mesiacov v roku 2006.

$$W/m^2 \times 4000m^2/osobu = 8000 W \text{ na osobu,}$$

pokiaľ by veterné turbíny boli rozmiestnené po *celej* krajine a predpokladáme, že $2 W/m^2$ je správna hodnota energie na jednotku plochy. Ak to premeníme na naše obľúbené jednotky, znamená to 200 kWh/d na osobu.

Buďme realistickí. Koľko plochy krajiny môžeme zastavať veternými turbínami? Možno 10 %? Potom môžeme uzavrieť: ak pokryjeme najveternejších 10 % krajiny turbínami (dodávajúcimi $2 W/m^2$), sme schopní vyrobiť **20 kWh/d na osobu**, čo predstavuje *polovicu* výkonu, ktorý spotrebuje priemerné auto na fosílny pohon na vzdialenosť 50 km denne.

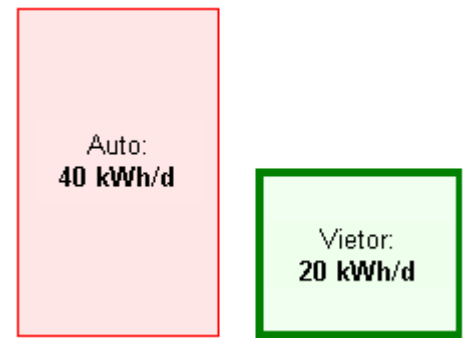
Zdroj veternej energie v Británii môže byť „obrovský“, ale zjavne nie je taký obrovský, ako naša obrovská spotreba. K veternej energii na mori sa dostaneme neskôr.

Mal by som uviesť, z akých veľkorysých predpokladov tento výpočet vychádza. Porovnajme tento odhad potenciálu veterného výkonu v Británii s dnes inštalovaným výkonom vo svete. Turbíny, ktoré by zabezpečili našej krajine 20 kWh/d na osobu, predstavujú 50-násobok celého veterného výkonu Dánska, 7-násobok turbín Nemecka a dvojnásobok všetkých veterných turbín na svete [údaj na rok 2008 je 1,5-násobok – pozn. prekl.].

Prosím však, aby nedošlo k nedorozumeniu. Tvrdím, že by sme sa nemali zaoberať veternou energiou? Vôbec nie. Jednoducho sa snažím poukázať na skutočnosť, že pokiaľ majú znamenať veterné turbíny významný prínos, potrebujeme ich na veľmi veľkej ploche.

Tento záver – že maximálny príspevok veternej energie na pevnine, hoci je „obrovský“, je oveľa menší ako naša spotreba – je dôležitý. Porovnajme kľúčový predpoklad, teda že výkon na jednotku plochy je $2 W/m^2$, so skutočnými hodnotami veterných parkov v Británii.

Veterná elektráreň (alebo tiež veterný park – pozn. prekl.) Whitelee, postavený pri škótskom Glasgowe, má 140 veterných turbín s kombinovaným *maximálnym* výkonom 322 MW na ploche $55 km^2$. To je $6 W/m^2$, *maximum*. Priemerný výkon je nižší, pretože turbíny sa netočia neustále. Podiel priemerného výkonu k maximálnemu sa nazýva „využitelnosť“ a mení sa podľa miesta a tiež závisí od zvolených veterných turbín; zväčša je tento faktor na vhodných lokalitách s vhodnými turbínami asi 30 %. Ak predpokladám, že Whitelee má kapacitný faktor 33 %, potom je priemerný výkon na plochu $2 W/m^2$ – teda presne tá istá energetická hustota, k akej sme sa dopracovali.



Obrázok 4.3. Záver kapitoly 4: maximálna možná výroba z veternej energie na pevnine v Británii je 20 kWh za deň na osobu.

VÝKON NA PLOCHU

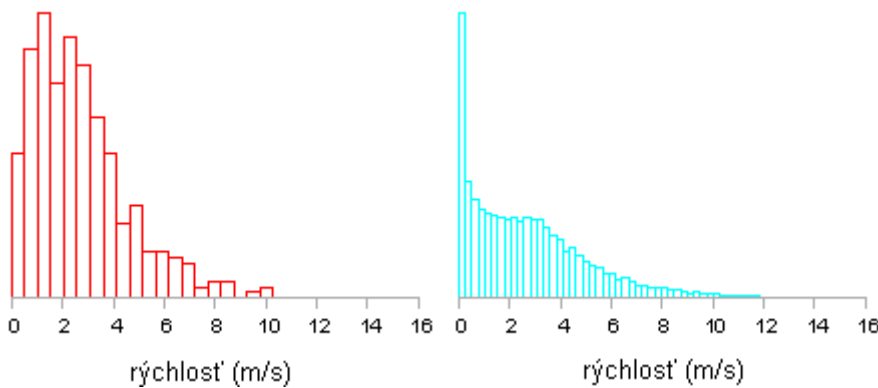
veterná elektráreň $2 W/m^2$
(rýchlosť 6 m/s)

Tabuľka 4.4. Fakty hodné zapamätania: veterné elektrárne.

HUSTOTA POPULÁCIE V BRITÁNII

250 na km^2 <--> 4000 m^2 na osobu

Tabuľka 4.5. Fakty hodné zapamätania: hustota populácie. Pozri stranu 338 pre ďalšie krajiny



Obrázok 4.6. Histogram priemernej rýchlosti vetra v Cambridge v metroch za sekundu: denné priemery (vľavo) a polhodinové priemery (vpravo)

Otázky

Veterné turbíny sú čoraz väčšie. Ovplyvnia väčšie turbíny závery, ku ktorým sme dospeli v tejto kapitole?

Vysvetľuje to kapitola B. Väčšie turbíny sú ekonomicky výhodnejšie, avšak výkon z danej plochy významne nezvyšujú, pretože medzi väčšími turbínami musia byť väčšie odstup. Veterná elektrárň s dvojnásobnou výškou vyrobí asi o 30 % viac elektrickej energie.

Výkon vetra sa neustále mení. Znamená to, že je horšie využiteľný?

Možno. Vrátime sa k tomu v kapitole 26, kde sa pozrieme na problém premenlivosti vetra a pozrieme sa na niekoľko možných spôsobov riešenia, vrátane uskladňovania energie a riadenia spotreby.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

- 32 *Obrázok 4.1 a obrázok 4.6.* Zdroje o rýchlosti vetra v Cambridge sú od Digital Technology Group, Computer Laboratory, Cambridge [vxhhj]. Meteorologická stanica je umiestnená na streche budovy Gates, asi vo výške 10 m. Rýchlosť vetra vo výške 50 m je približne o 25 % vyššia. Údaje pre Cairngorm (*obrázok 4.2*) pochádza z Katedry fyziky univerzity Heriot-Watt [tdvml].
- 33 *Turbíny, ktoré by zabezpečili našej krajine 20 kWh/d na osobu, predstavujú 50-násobok celého veterného výkonu Dánska.* Ak predpokladáme využiteľnosť 33 %, priemerný výkon 20 kWh/d na osobu vyžaduje inštalovaný výkon 150 GW. Na konci roku 2006 malo Dánsko inštalovaný výkon 3,1 GW; Nemecko 20,6 GW. Inštalovaný výkon vetra je 74 GW (wwindea.org) [v roku 2008 to bolo už 100 GW – pozn. prekl.]. Na porovnanie, využiteľnosť veternej energie veternými parkami v Dánsku v roku 2006 bola 22 % a priemerný výkon na jedného obyvateľa predstavoval 3 kWh/d na osobu.

5 Lietadlá

Predstavte si, že podniknete jeden medzikontinentálny let ročne. Koľko to vyžaduje energie?

Boeing 747-400 s 240 000 litrami paliva dopraví 416 pasažierov na vzdialenosť 14 200 km (8 800 míľ); kalorická hodnota paliva je 10 kWh na liter. (To sme zistili v kapitole 3). Takže energetické náklady jedného okružného letu s maximálnou vzdialenosťou, rovnomerne rozdelené medzi jednotlivých pasažierov, sú

$$\frac{2 \times 240\,000 \text{ litrov}}{416 \text{ pasažierov}} \times 10 \text{ kWh / liter} \approx 12\,000 \text{ kWh na pasažiera}$$

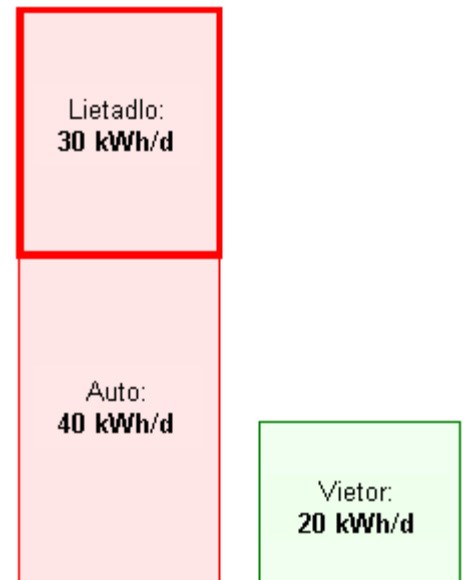
Ak uskutočníte jeden takýto let za rok, potom je vaša priemerná spotreba energie za deň

$$\frac{12\,000 \text{ kWh}}{365 \text{ dní}} = 33 \text{ kWh / deň}$$

14 200 km je o niečo ďalej ako z Londýna do Kapského Mesta (10 000 km) alebo z Londýna do Los Angeles (9000 km), takže sa domnievam, že sme trochu nadhodnotili typickú vzdialenosť pre medzikontinentálny let; zároveň sme však nadhodnotili obsadenosť lietadla a spotreba energie na jedného pasažiera je vyššia, ak nie je lietadlo plné. Ak znížim spotrebu energie pre odhad na 10 000 km, čo je vzdialenosť do Kapského Mesta a zvýším ju odhadom pre obsadenosť lietadla na 80 %, dostaneme spotrebu 29 kWh za deň. Pre jednoduchšie zapamätanie zaokrúhlime toto číslo na **30 kWh za deň**.

Ujasnime si, čo to znamená. Ak letíme raz za rok, je to ako keby sme nepretržite „prikurovali“ elektrickým ohňom 1 kW – 24 hodín denne, každý deň, celý rok.

Tak ako v kapitole 3, kde sme vypočítali spotrebu energie autom, a ku ktorej je pridružená kapitola A s vysvetlením, načo sa táto energia spotrebuje, tak aj k tejto kapitole je pridružená technická kapitola C (str. 271), ktorá pojednáva o osude energie spotrebovanej na lietanie. V nej sa dozvieme odpovede na otázky typu „Spotrebovali by lietadlá významne menej energie, ak by leteli pomalšie?“ Odpoveď je **nie**: na rozdiel od áut, ktoré *môžu* jazdiť tým účinnejšie, čím idú pomalšie, lietadlá už lietajú takmer s maximálnou možnou účinnosťou. Lietadlá musia nevyhnutne využívať energiu pre dva hlavné dôvody: potrebujú tlačiť vzduch dole, aby zostali vo vzduchu a zároveň potrebujú energiu na prekonanie odporu vzduchu. Žiadny nový dizajn lietadla významne nezvýši jeho účinnosť. Zlepšenie o 10 %? To je možné. O polovicu? Potom zjem kefu.



Obrázok 5.1. Jeden medzinárodný let spotrebuje približne 30 kWh za deň.



Obrázok 5.2. Bombardér Q400 NextGen. www.q400.com.

Otázky

Nie sú turbovrtuľové lietadlá oveľa účinnejšie?

Nie. „S prehľadom zelený“ Bombardér Q400 NextGen je podľa slov výrobcu „technologicky najpokročilejšie turbovrtuľové lietadlo na svete.“ [www.q400.com], spotrebuje 3,81 litra na 100 osobo-km (o-km) (pri rýchlosti 667 km/h), čo predstavuje energetické náklady **38 kWh na 100 o-km**. Plne obsadený Boeing 747 má energetické náklady **42 kWh na 100 o-km**. Takže obe lietadlá sú dvojnásobne účinnejšie ako auto s jedným cestujúcim (uvažujem o priemernom európskom aute z kapitoly 3).

Je lietanie z pohľadu klimatickej zmeny obzvlášť škodlivé?

Áno, to je tvrdenie odborníkov, hoci určité neistoty pretrvávajú [3fbufz]. Pri lietaní sa okrem CO₂ uvoľňujú ďalšie skleníkové plyny, ako sú vodná para a ozón a nepriame skleníkové plyny ako oxidy dusíka [nepriame skleníkové plyny reagujú v atmosfére s voľnými radikálmi a predlžujú tak život hlavných skleníkových plynov, napr. CO₂ – pozn. prekl.]. Ak chcete vypočítať vašu uhlíkovú stopu v tonách CO₂ ekvivalentu, potom je potrebné vziať emisie CO₂ daného letu a vynásobiť ich dvoj- alebo trojnásobne. Diagramy v knihe nezahŕňajú tieto násobky, pretože sa zameriavame na *energetickú* bilanciú.

To najlepšie, čo môžeme urobiť s environmentalistami, je zastrelit' ich.

Michael O'Leary, generálny riaditeľ Ryanair [3asmgy]

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

35 *Boeing 747-400*. Údaje sú z [9ehws].

Dnešné lietadlá nezvyknú lietať celkom plné. Aerolínie sú hrdé, ak je priemerná obsadenosť ich lietadiel 80 %. Lietadlá Easyjet majú priemernú obsadenosť 85 % (Zdoj: thelondonpaper Tuesday 16. januára 2007.) Boeing 747 s 80 % obsadenosťou spotrebuje približne 53 kWh na 100 km na jedného pasažiera.

A čo lety na kratšie vzdialenosti? V roku 2007 Ryanair, „najzelenšia spoločnosť v Európe,“ prepravovala pasažierov pri cene **37 kWh na 100 o-km** [3exmgv]. To znamená, že lietanie v rámci Európy so spoločnosťou Ryanair je ako doprava autom s dvoma cestujúcimi. (Len pre predstavu, aká je náročnosť dopravy inými spoločnosťami: pred rokom 2000, kedy Ryanair investovala do zelených technológií, prepravovali nad **73 kWh na 100 o-km**) Vzdialenosť z Ríma do Paríža je 1430 km; Z Londýna do Malagy je 1735 km. Takže energetické náklady okružného výletu do Ríma s najzelenšou spoločnosťou sú 1050 kWh a výlet do Malagy znamená 1270 kWh. Takže ak sa raz za rok vydáte do Ríma aj do Malagy, vaša spotreba energie je 6,3 kWh/d s najzelenšou spoločnosťou a možno 12 kWh/d s menej zelenou spoločnosťou.

energia na vzdialenosť (kWh na 100 o-km)	
Auto (4 ľudia)	20
Lietadlá RyanAir v roku 2007	37
Bombardér Q400, plný	38
747, plný	42
747, 80 % plný	53
Lietadlá RyanAir v roku 2000	73
Auto (1 človek)	80

Tabuľka 5.3. Účinnosť prepravy cestujúcich vyjadrená v množstve energie potrebnej na 100 osobo-km.



Obrázok 5.4. RyanAir Boeing 737-800. Fotografia Adrian Pingstone.

Čo s častými užívateľmi lietadiel? Aby sa dala získať strieborná karta od medzinárodnej leteckej spoločnosti, potrebujete precestovať ročne približne 25 000 míľ za rok v ekonomickej triede. To je približne 60 kWh za deň, ak vychádzame z čísel použitých v tejto kapitole a obsadenosti lietadiel 80 %.

Niektoré dodatočné údaje z Medzivládneho panelu pre klimatickú zmenu [yrnmum]: Cesta plným lietadlom 747-400 na 10 000 km s menším počtom sedadiel (262) vás v priemere stojí **50 kWh na 100 o-km**. V prípade verzie s vyšším počtom sedadiel (568) a cestou 4000 km, to isté lietadlo spotrebuje **22 kWh/d na 100 o-km**. Krátky let s lietadlom Tupolev-154 na vzdialenosť 2235 km s obsadenosťou 70 % jeho 164 sedadiel spotrebuje **80 kWh na 100 o-km**.

- 35 *Žiadny nový dizajn lietadla významne nezvyší jeho účinnosť.* V skutočnosti je cieľom Poradného výboru pre výskum leteectva v Európe (Advisory Council for Aerospace Research in Europe, ACARE) znížiť množstvo spotrebovaného paliva na jedného pasažiera celkovo o 50 % do roku 2020 (v porovnaní s rokom 2000), s očakávaným zvýšením účinnosti motora o 15 - 20 %. V roku 2006 bola spoločnosť Rolls Royce na polceste k splneniu tohto cieľa [36w5gz]. Zdá sa, že Dennis Bushnell, vedúci výskumník Výskumného centra Langhley NASA, súhlasí s mojím predpokladom o vývoji leteckého priemyslu. Letecký priemysel dozrel. „Už sa nedá veľa získať, okrem veľmi pomalých zlepšení tu a tam a to za veľmi dlhé obdobie.“ (*New Scientist*, 24 február 2007, strana 33).

Radikálne „Tiché lietadlo“ s novým tvarom [silentaircraft.org/sax40], ak bude niekedy postavené, bude o 16 % účinnejšie ako lietadlo s konvenčným tvarom (Nickol, 2008).

Ak by sme dosiahli cieľ podľa predstáv ACARE, bude to skôr vďaka vyššej obsadenosti lietadiel a riadeniu leteckej dopravy.

Krátke lety: **6 kWh/d**



Obrázok 5.5. Dva výlety lietadlom na kratšiu vzdialenosť najzelenšou spoločnosťou: 6,3 kWh/d. Hodnosť častého letca dosiahnete pri hodnote: 60 kWh/d.

6 Slnko

Snažíme sa spočítať, aká je naša spotreba energie v porovnaní s možnosťami udržateľnej výroby. V posledných troch kapitolách sme zistili, že spotreba áut a lietadiel je vyššia ako možnosti veternej energie na pevnine v Británii. Pomôže nám slnečná energia?

Výkon slnečného žiarenia na poludnie pri bezoblačnom dni je 1000 W na štvorcový meter. To je 1000 W na m^2 plochy orientovanej na Slnko, nie plochy zeme. Aby sme získali jednotku energie na *plochu zeme* v Británii, musíme urobiť niekoľko **korekcií**. Potrebujeme kompenzovať uhol medzi Slnkom a zemou, ktorý znižuje intenzitu žiarenia o **60 %** oproti jeho hodnote na rovníku (obrázok 6.1). Strácame aj tým, že nie je neustále poludnie. Počas bezoblačného dňa v marci alebo septembri je pomer *priemernej* intenzity ku poludňajšej intenzite približne **32 %**. A nakoniec strácame energiu pre mraky. Na typickej lokalite v Británii svieti Slnko iba **34 %** dennej doby.

Kombinovaný účinok týchto troch faktorov a ďalšie komplikácie spojené so striedaním ročných období spôsobuje, že priemerné množstvo dopadajúcej slnečnej energie na južne orientovanú plochu v Británii je asi 110 W/m^2 a približne 100 W/m^2 v prípade žiarenia dopadajúceho na rovnú plochu.

Takže túto energiu môžeme užitočne premeniť 4 spôsobmi:

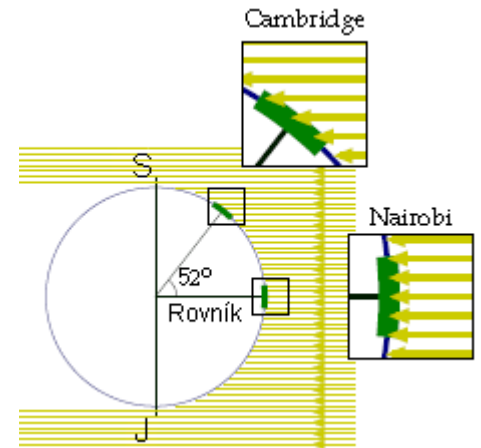
1. Slnečná termálna: za použitia slnečného žiarenia na priame vyhrievanie budov alebo vody.
2. Slnečná fotovoltaická: vyrábajúca elektrinu.
3. Slnečná biomasa: využíva stromy, baktérie, riasy, kukuricu, sóju alebo olejnaté semená na výrobu energetických palív, chemikálií alebo stavebných materiálov.
4. Jedlo: to isté ako slnečná biomasa, len využívame rastliny pre ľudí alebo iné zvieratá.

(V ďalšej kapitole sa tiež zoznámime s niekoľkými inými spôsobmi využitia slnečnej energie, ktoré sú vhodné na púšťach.)

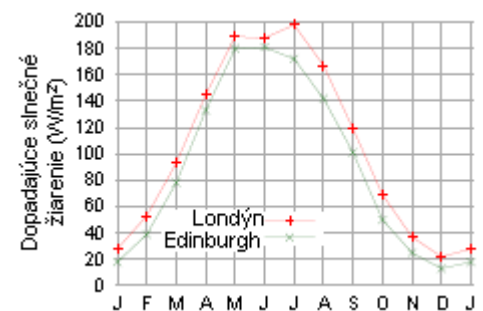
Podme odhadnúť, koľko asi energie môžeme získať jednotlivými spôsobmi slnečnej energie. Zanedbáme ekonomické náklady a energetické náklady spojené s výrobou a udržiavaním zariadení.

Slnečná tepelná energia

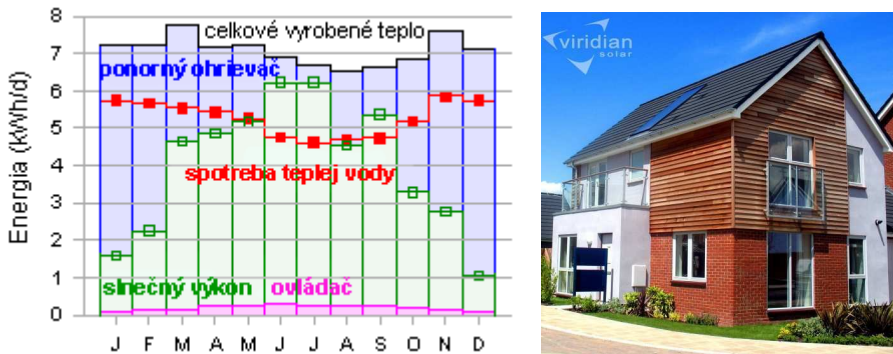
Najjednoduchšia slnečná technológia je kolektor na výrobu teplej vody. Predstavme si, že pokryjeme všetky steny s južnou orientáciou kolektormi na výrobu slnečnej tepelnej energie, čo predstavuje asi 10 m^2 panelov na



Obrázok 6.1. Slnečné žiarenie dopadajúce na zem na poludnie, na jar, alebo na jeseň. Hustota žiarenia na jednotku plochy v Cambridge (zem. šírka 52°) je približne 60 % hustoty na rovníku.



Obrázok 6.2. Priemerná intenzita dopadajúceho slnečného žiarenia v Londýne a Edinburghu ako funkcia času v priebehu roku. Priemerná intenzita na jednotku plochy je 100 W/m^2 .



osobu a predpokladajme 50 % účinnosť premeny svetla na horúcu vodu pri 110 W/m^2 (obrázok 6.3). Násobíme

$$50 \% \times 10\text{m}^2 \times 110 \text{ W/m}^2$$

a zistíme, že slnečná tepelná energia nám zabezpečí

13 kWh za deň na osobu.

V tomto prípade vyfarbím vnútro stĺpca v produkcii na bielo, aby bolo zrejmé, že ide o nízko kvalitnú energiu – horúca voda nie je taká hodnotná ako vysoko kvalitná elektrická energia, ktorú vyrábajú veterné turbíny. Teplo tiež nie je možné preniesť do elektrickej siete. Ak ho nepotrebujete, alebo ak ho je príliš veľa, musí sa vyplytvať. Mali by sme mať na pamäti, že väčšina z takto získaného tepla nebude v správnom čase na správnom mieste. Napríklad v mestách, kde žije veľa ľudí, je k dispozícii menej striech na jedného obyvateľa ako je priemer krajiny. Ďalej táto energia bude v priebehu roku k dispozícii nerovnomerne.

Slnčná fotovoltaická energia

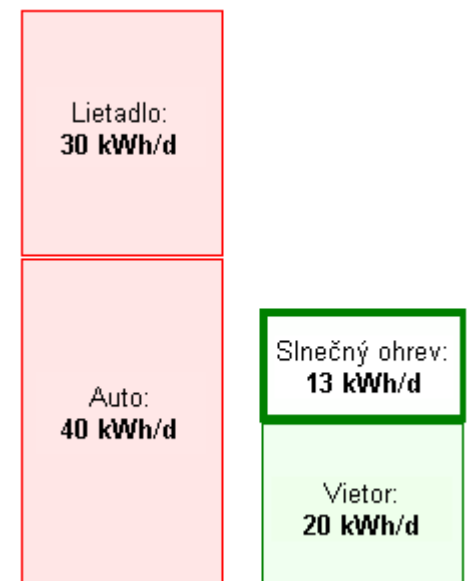
Fotovoltaické (FV) články premieňajú slnečné žiarenie na elektrinu. Typické FV články majú účinnosť približne 10 %; tie drahšie 20 %. (Zákony fyziky umožňujú maximálnu účinnosť článkov 60 % pri použití dokonalých koncentrujúcich zrkadiel alebo šošoviek a 45 % bez koncentrovania; masová výroba článkov s účinnosťou 30 % by bola významným pokrokom). Priemerný výkon, ktorý by nám dodal slnečný článok s účinnosťou 20 % na južne orientovaných svahoch v Británii, by bol

$$20 \% \times 110 \text{ W/m}^2 = 22 \text{ W/m}^2.$$

Obrázok 6.5 znázorňuje údaje, z ktorých tento odhad vychádza. Ak bude mať každý obyvateľ drahý kolektor (s 20 % účinnosťou) s plochou 10 m^2 na streche s južnou orientáciou, bude to znamenať

5 kWh za deň na osobu.

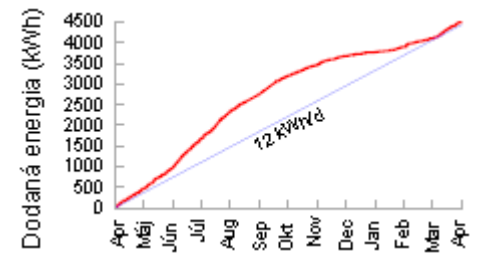
Obrázok 6.3. Slnečná energia, ktorú vyrobí 3 m^2 panelov na horúcu vodu (zelená), a dodatočné teplo potrebné (modrá) na prípravu horúcej vody v skúšobnom dome vo Virian Solar. (Fotografia ukazuje dom s tým istým modelom panelu na streche). Priemerný slnečný výkon z 3 m^2 bol $3,8 \text{ kWh/d}$. V pokuse je simulovaná spotreba horúcej vody v domácnosti priemerného Európana – 100 litrov horúcej (60°) vody denne. Rozdiel $1,5 - 2 \text{ kWh/d}$ medzi celkovým vyrobeným teplom (čierna čiara, hore) a spotrebovanou horúcou vodou (červená čiara) spôsobuje stratu tepla. Fialová čiara ukazuje elektrický výkon potrebný na chod solárneho systému. Priemerný výkon na jednotku plochy týchto solárnych kolektorov je 53 W/m^2 .



Obrázok 6.4. Slnečná tepelná energia: 10 m^2 plocha kolektorov zabezpečí (v priemere) denne približne 13 kWh tepelnej energie.

Pretože predpokladaná plocha je 10 m^2 južne orientovaných striech na osobu, určite neexistuje dostatok miesta na tieto články spolu so slnečnými tepelnými kolektormi z predošlej kapitoly. Takže si musíme vybrať, ktorý zo spôsobov získavania energie budeme využívať. Tento problém však preskočím a oba spôsoby započítam do stĺpcov udržateľnej výroby. Dnes platí, že inštalácia FV článkov je asi 4-násobne drahšia ako inštalácia tepelných kolektorov a v porovnaní s nimi dodávajú iba polovičné množstvo (aj keď vysoko kvalitnej) elektrickej energie. Takže moja rada rodine s úmyslom investovať do slnečnej energie je, aby najprv skúsili tepelné kolektory. Asi najlepším rozhodnutím v menej slnečných krajinách je inštalácia systému, ktorý poskytuje tepelnú aj elektrickú energiu. Tento prístup zaviedla firma Heliodynamics, ktorá znížila celkovú cenu svojho systému využívaním malých kvalitných arzenid gáliových (GaAs) FV jednotiek s množstvom pomaly sa pohybujúcich plochých zrkadiel; tie koncentrujú slnečné žiarenie na FV jednotky, ktoré dodávajú elektrickú energiu aj horúcu vodu zároveň; tá vzniká pretekaním vody za FV jednotkami.

Takže priebežný záver znie: ak dáte na svoju južne orientovanú časť strechy domu slnečné FV články, môže to pokryť značnú časť vašej dennej spotreby elektrickej energie; ale nezdá sa, že by strechy boli dostatočne veľké na to, aby znamenali skutočne veľký prínos k našej celkovej spotrebe energie. Aby sme s FV článkami dokázali získať viac, potrebujeme ich dostať aj dolu na zem. Solárni bojovníci na obrázku 6.6 ukazujú, ako.



Obrázok 6.5. Slnečná fotovoltaika: hodnoty z 25 m^2 plochy v Cambrigheshire v roku 2006. Maximálny výkon je 4 kW. Celoročný priemer je 12 kWh za deň. To je 20 W na meter štvorcový panelu.

Obrázok 6.6. Dvaja solárni bojovníci sa tešia zo svojho fotovoltaického systému, ktorý nabíja ich elektrické autá a dom. Súbor 120 panelov (každý 300 W a $2,2 \text{ m}^2$) má plochu 268 m^2 , maximálny výkon (po započítaní strát pri premene z jednosmerného na striedavý prúd (DC na AC)) je 30,5 kWh, a priemerný výkon – v Kalifornii, blízko Santa Cruz – je 5 kW (19 W/m^2). Fotografiu poskytol Kenneth Adelman. www.solarwarrior.com

Zatiaľ utópia: slnečné elektrárne

Ak sa dočkáme prelomu v solárnej technológii a jej cena klesne dostatočne nízko na to, aby sme mohli rozmiestniť panely po celom vidieku [nemalo by to byť na úkor poľnohospodárskej pôdy – pozn. prekl.], aké množstvo energie získame? Takže ak by sa nám podarilo pokryť 5 % Británie článkami s 10 % účinnosťou, získali by sme výkon

$$10 \% \times 100 \text{ W/m}^2 \times 200 \text{ m}^2 \text{ na osobu} \\ \approx 50 \text{ kW/m}^2/\text{deň/na osobu.}$$

Mimochodom, tu uvažujem iba o článkoch s účinnosťou 10 %, pretože sa domnievam, že sa budú vyrábať v takomto množstve, len ak budú veľmi lacné. A sú to práve články s nižšou účinnosťou, ktoré budú lacnejšie ako prvé. Hustota výkonu (výkon na jednotku plochy) takejto slnečnej elektrárne by bola

$$10 \% \times 100 \text{ W/m}^2 = 10 \text{ W/m}^2.$$

Táto hustota výkonu je dvojnásobná v porovnaní so slnečnou elektrárnou v Bavorsku (obrázok 6.7).

Mohla by táto záplava slnečných článkov existovať spolu s veternými turbínami z kapitoly 4? Áno, bez problémov: veterné turbíny tienia iba málo. Aký odvážny je tento plán? Kapacita slnečného výkonu potrebného na získanie 50 kWh/d na osobu v Británii je viac ako stonásobok všetkej FV elektrickej energie na svete. Takže mal by som zahrnúť FV elektrárne do udržateľnej výroby energie? Tu som nerozhodný. Na začiatku knihy som povedal, že chcem zistiť, čo hovoria fyzikálne zákony o limitoch obnoviteľnej energie, bez ohľadu na peniaze. Z tohto pohľadu by som nemal otáľať a okamžite zastavať okolie a FV elektrárne pridať do stĺpca produkcie. Na druhej strane chcem ľuďom pomôcť, aby zistili, čo by sme mali robiť *odteraz* až do roku 2050. A dnes je cena elektriny zo slnečných elektrární asi 4- násobne vyššia v porovnaní s trhovou cenou. Takže sa cítim trochu nezodpovedne, keď pridávam tento odhad do stĺpca trvalo udržateľnej výroby na obrázku 6.9 - pokryť 5 % územia Británie FV článkami sa z mnohých dôvodov javí byť za hranicami možností. Ak by sme naozaj vážne uvažovali o takomto kroku, bolo by pravdepodobne lepšie umiestniť ich na miesto s dvojnásobkom slnečného žiarenia a posielat' ho káblami. V kapitole 25 sa na túto možnosť pozrieme bližšie.

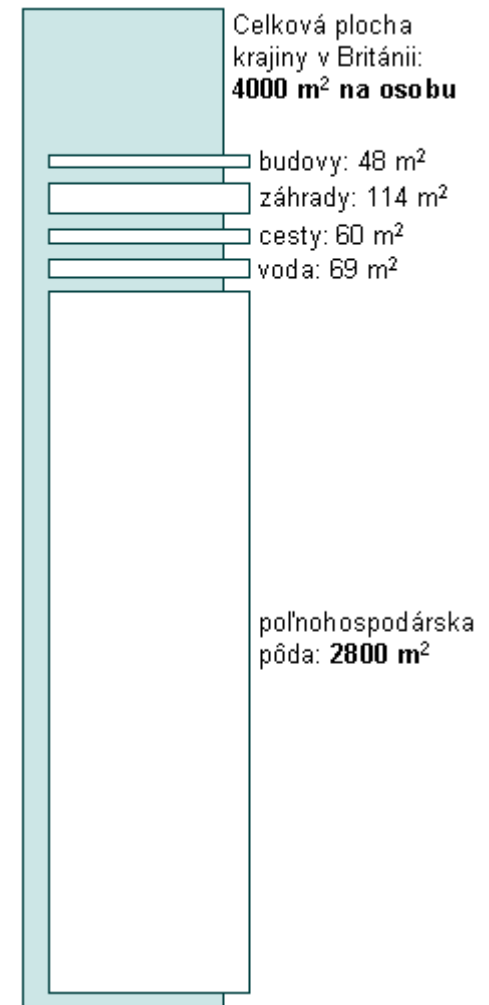
Mýty

Výroba slnečných článkov potrebuje viac energie, ako dokáže vyrobiť za svoj život.

Nesprávne. **Energetický výťažok** (pomer získanej energie k energii potrebnej na výrobu) strešného systému pripojeného k sieti v Severnej Európe so životnosťou 20 rokov je 4 (Richards a Watt, 2007); a viac ako 7 na slnečnejšom mieste, ako napríklad v Austrálii. (Energetický výťažok



Obrázok 6.7. Slnečná fotovoltaická elektráreň: 6,3 MW (maximum) Solarpark v Mühlhausene, v Bavorsku. Predpokladaný priemerný výkon na plochu je 5 W/m². Foto od SunPower.



Obrázok 6.8. Oblasť krajiny na osobu v Británii.

viac ako 1 znamená, že ide o užitočnú vec, energeticky rozumnú.) Veterné turbíny majú energetický výťažok v priebehu 20 rokov 80.

Nebudú fotovoltaické články s pokračujúcou technológiou stále viac a viac účinné?

Som si istý, že FV články budú stále lacnejšie; som si tiež istý, že ich výroba bude energeticky menej náročná, takže aj ich energetický výťažok sa zvýši. Avšak v tejto kapitole sme neboli obmedzovaní cenou panelov, ani energetickou náročnosťou ich výroby. Zaujímalo nás, aké teoretické množstvo elektrickej energie môžeme získať. FV články s účinnosťou 20 % sú už blízko teoretických možností (pozri poznámky na konci kapitoly). Bol by som prekvapený, ak by odhad možností slnečnej energie zaznamenal významný posun smerom nahor.

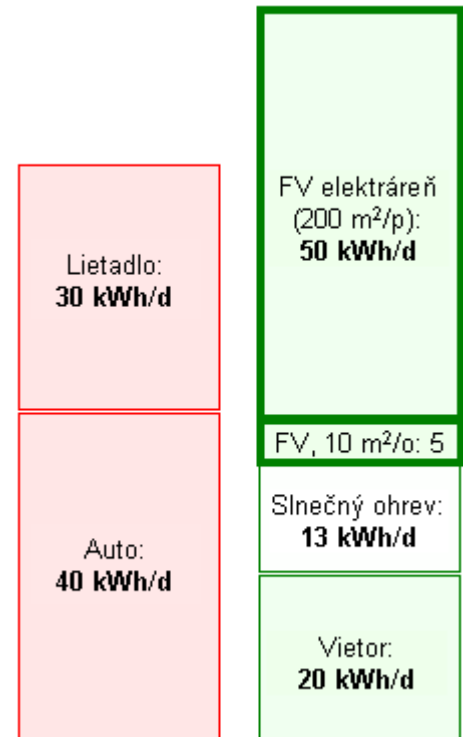
Zelená biomasa

Ako blesk z čistého neba sa zjaví poznanie, že vo svete energetiky uspejete pestovaním trávy na ranči! Stačí ju ešte zožať a premeniť na energiu. To všetko bude čoskoro realita.

George W. Bush, február 2006

Všetky dostupné bioenergetické riešenia znamenajú najprv pestovanie zelenej biomasy a potom jej spracovanie. Aké veľké množstvo energie môžeme takýmto spôsobom z biomasy získať? Existujú štyri hlavné spôsoby, ako získať energiu z biologických systémov:

1. Môžeme pestovať špeciálne zvolené rastliny a spaľovaním z nich vyrábať elektrickú alebo tepelnú energiu, alebo oboje. Budeme to nazývať „náhrada uhlia.“
2. Môžeme pestovať špeciálne zvolené rastliny (repku, cukrovú trstinu alebo povedzme kukuricu), premeniť ich na etanol alebo bionaftu a nakŕmiť nimi autá, vlaky, lietadlá alebo iné zariadenia. Alebo môžeme pestovať geneticky upravené baktérie, kyano-baktérie alebo riasy, ktoré vyrábajú priamo vodík, etanol alebo butanol, alebo dokonca elektrinu. O tomto spôsobe budeme hovoriť ako o „náhrade ropy.“
3. Môžeme zobrať vedľajšie produkty poľnohospodárstva a spáliť ich v elektrárnach. Tieto vedľajšie produkty siahajú od slamy (vedľajší produkt pri výrobe Weetabix-u [pšeničný pokrm na raňajky – pozn. prekl.]) až po exkrementy hydiny (vedľajší produkt pri výrobe McNuggets [hydínový fast-food – pozn. prekl.]). Takéto spaľovanie znovu nahradzuje uhlie, ale s použitím obyčajných rastlín, nie energetických plodín. Elektrárne, ktoré spaľujú takéto rastliny, nebudú



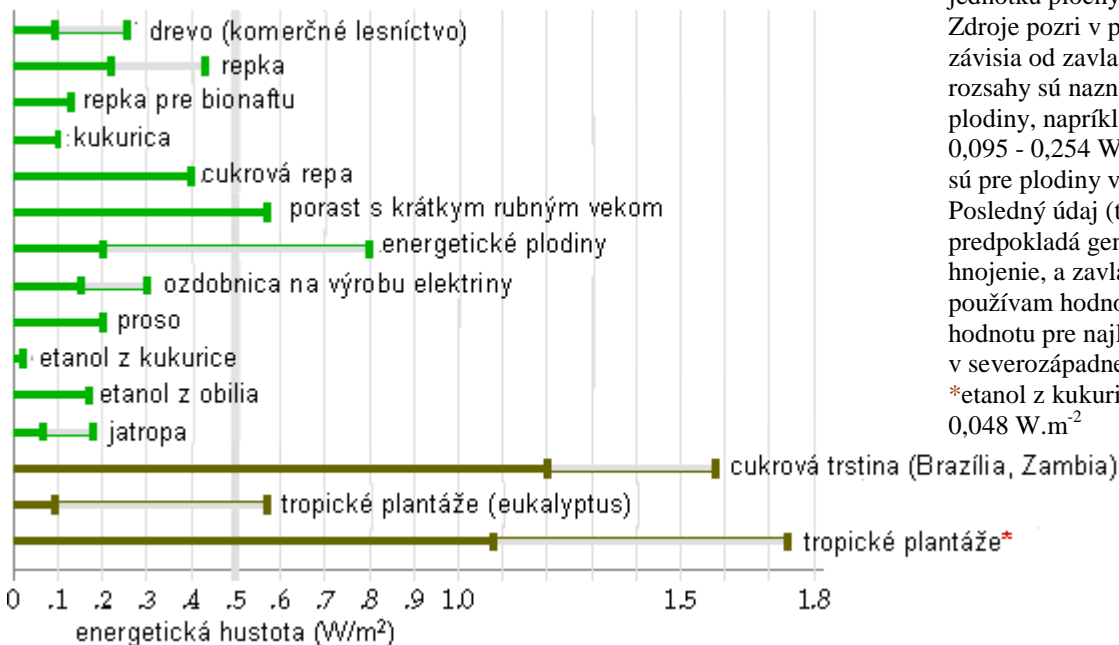
Obrázok 6.9. Slnečná fotovoltaika: 10 m² článkov na každom dome na južne orientovaných strechách s 20 % účinnosťou dokáže dodávať 5 kWh elektrickej energie za deň. Ak by sa pokrylo 5 % krajiny článkami s 10 % účinnosťou (200 m² článkov na osobu), mohli by dodať 50 kWh/deň/osobu.

schopné získavať toľko elektrickej energie na jednotku poľnohospodárskej pôdy ako optimalizované zariadenie na pestovanie biomasy, ale majú výhodu, že nemonopolizujú krajinu. Spaľovanie metánu zachyteného na skládkach odpadu je podobná stratégia získavania energie, ale je trvalo udržateľná iba dovtedy, kým máme udržateľný aj zdroj odpadu. (Väčšina metánu na skládkach pochádza z jedla; ľudia v Británii vyhodia každý deň asi 300 g jedla.) Spaľovanie odpadu z domácností je ďalší menej priamy spôsob získavania energie zo zelenej biomasy.

4. Môžeme pestovať rastliny a priamo nimi kŕmiť ľudí alebo zvieratá.

V prípade všetkých týchto procesov je energia najprv uskladnená vo forme chemickej molekuly, akou je napríklad cukor v zelenej rastline. Preto môžeme vypočítať energiu získateľnú z každého z hore uvedených spôsobov podľa toho, koľko energie sa dostane cez tento prvý krok. Všetky nasledujúce kroky, využívajúce traktory, zvieratá, chemické továrne, skládky odpadov alebo elektrárne energiu už len strácajú. A tak energia získaná v prvom kroku predstavuje hornú hranicu získateľnej energie z rastlinnej biomasy.

Takže najprv vypočítajme energiu predstavovanú týmto prvým krokom. (V kapitole D detailnejšie rozoberieme maximálny príspevok každého jednotlivého procesu.) Priemerný využiteľný výkon slnečného žiarenia v Británii je 100 W/m^2 . Najúčinnnejšie rastliny v Európe vytvárajú cukry zo slnečnej energie s účinnosťou približne 2 %, čo znamená, že rastliny nám môžu dodať 2 W/m^2 ; avšak ich účinnosť pri vyššej intenzite žiarenia klesá; najlepší výkon energetických plodín v Európe je skôr $0,5 \text{ W/m}^2$. Pokryme 75 % krajiny kvalitnou energetickou plodinou, čo



Obrázok 6.10. Tráva ozdobnica (*Miscanthus*) sa teší spoločnosti Dr. Emily Heaton, ktorá je vysoká 163 cm. V Británii dosahuje tento druh hustotu výkonu $0,75 \text{ W/m}^2$. Fotografiu poskytla Univerzita v Illinois.

Obrázok 6.11. Energetická produkcia na jednotku plochy pre rôzne druhy rastlín. Zdroje pozri v poznámkach. Tieto hustoty závisia od zavlažovania a hnojenia; rozsahy sú naznačené pre niektoré plodiny, napríklad drevo má rozsah od $0,095 - 0,254 \text{ W/m}^2$. Tri spodné hodnoty sú pre plodiny v tropických oblastiach. Posledný údaj (tropická plantáž*) predpokladá genetickú modifikáciu, hnojenie, a zavlažovanie. V texte používam hodnotu $0,5 \text{ W/m}^2$ ako výslednú hodnotu pre najlepšie energetické plodiny v severozápadnej Európe.

*etanol z kukurice má hodnotu $0,048 \text{ W.m}^2$

znamená 3000 m^2 na osobu. Je to rozloha rovná rozlohe venovanej poľnohospodárskej pôde. Takže maximálne množstvo dostupnej energie, pri zanedbaní všetkých dodatočných nákladov na pestovanie, zber a spracovanie biomasy je

$$0,5 \text{ W/m}^2 \times 3000 \text{ m}^2 \text{ na osobu} = 36 \text{ kWh/d na osobu.}$$

Hmm. To nie je príliš veľa, ak vezmeme do úvahy, z akých veľkorysých predpokladov vychádzame, aby sme získali čo najvyššie číslo. Ak by sme chceli získať biopalivá pre autá alebo lietadlá zo zelených rastlín, všetky ostatné kroky v reťazci od zberu až po natankovanie sú veľmi neefektívne. Myslím, že je optimistické predpokladať, že celkové straty budú okolo 33 %. Dokonca aj spaľovanie vysušeného dreva v kvalitnom kotli znamená straty tepla komínom až 20 %. Takže množstvo energie z biomasy nemôže byť vyššie ako **24 kWh/d na osobu**. A nesmieme zabúdať, že chceme časť rastlín využívať na výrobu jedla pre nás a pre naše zvieratá.

Dokázalo by genetické inžinierstvo vytvoriť rastliny, ktoré premieňajú energiu na chemické zlúčeniny účinnejšie? Je to možné, no nenašiel som ani jednu vedeckú štúdiu, ktorá by predpokladala, že rastliny v Európe by mohli získavať viac výkonu ako 1 W/m^2 .

Pridám do zeleného stĺpca 24 kWh za deň na osobu so zdôraznením, že je to nadhodnotený údaj – domnievam sa, že skutočná maximálna energia získateľná z biomasy bude nižšia pre straty pri výrobe a spracovaní biomasy.

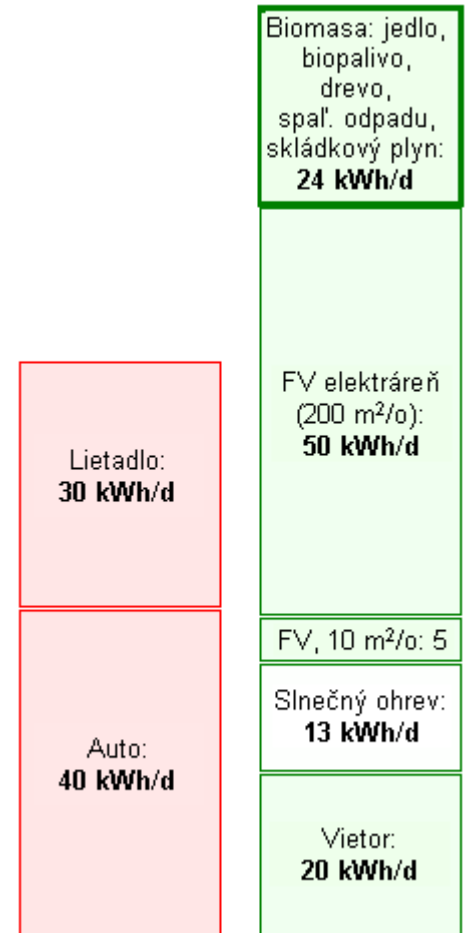
Myslím, že jeden záver je jasný: *biopalivá nedávajú zmysel* – prinajmenšom nie v krajinách ako je Británia a nie ako možnosť náhrady paliva pre všetku dopravu. Aj keď ponecháme bokom hlavné nevýhody biopalív (ich výroba konkuruje jedlu, ďalšie náklady potrebné na pestovanie a spracovanie často vynulujú ich energetický zisk - obrázok 6.13), biopalivá vyrobené z rastlín v európskej krajine ako je Británia dokážu zabezpečiť tak málo energie, že podľa môjho názoru má zmysel o nich hovoriť iba zriedka.

Poznámky a ďalšie čítanie

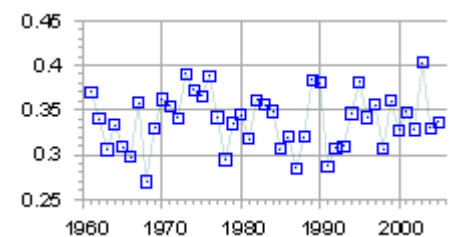
Strana číslo

38 *Kompenzovať uhol medzi Slnkom a zemou.* Zemepisná šírka Cambridge je $\theta = 52^\circ$; intenzitu slnečného žiarenia násobíme $\cos \theta \approx 0,6$. Presný korekčný faktor závisí na období roku a kolíše v rozsahu $\cos(\theta + 23) = 0,26$ a $\cos(\theta - 23) = 0,87$.

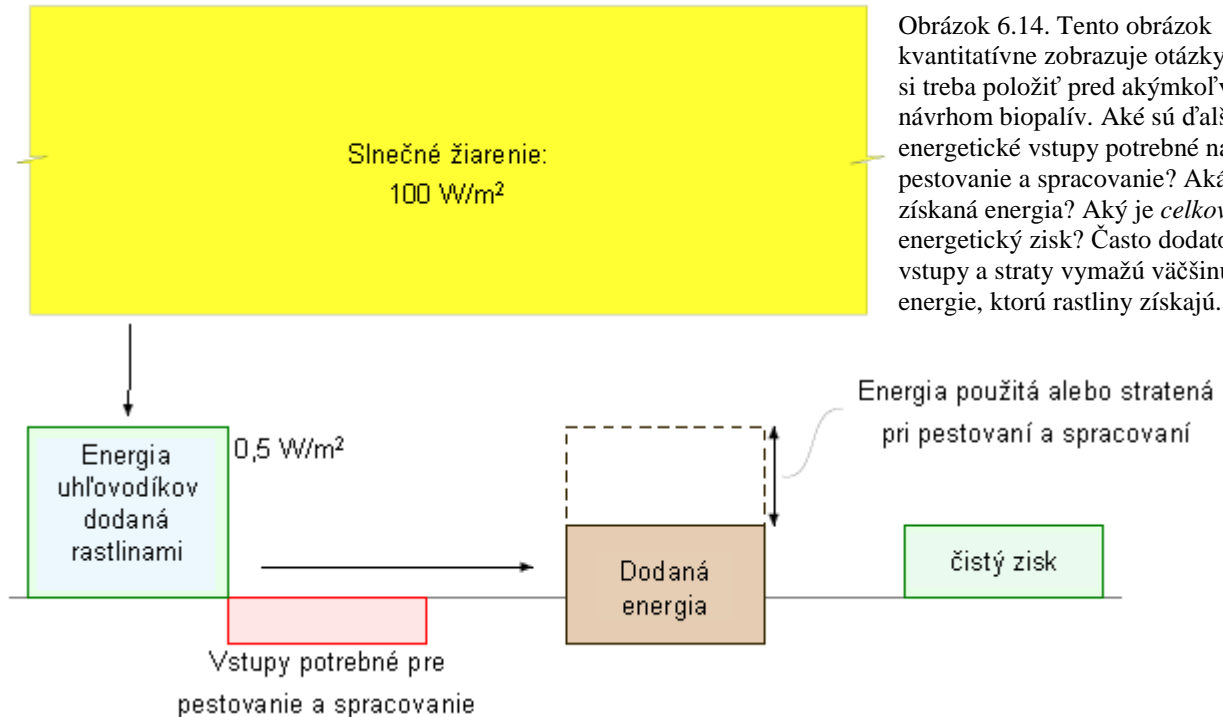
- *V typickej lokalite v Británii svieti slnko asi tretinu dňa.* Na vysočiny dopadne 1100 hod slnečného svetla za rok – slnečnosť 25 %. Na najvhodnejšie miesta v Škótsku dopadne 1400 hod za rok – 32 %. Cambridge: 1500 hod \pm 130 hod za rok – 34 %. Južné pobrežie Anglicka (najslničnejšia časť): 1700 hod za rok – 39 %. [2rqloc] Údaje pre Cambridge z [2szckw]. Pozri aj obrázok 6.16.



Obrázok 6.12. Slnečná biomasa, vrátane všetkých foriem biopalív, odpadu, spaľovania a jedla: 24 kWh/d na osobu.



Obrázok 6.13. Slnečnosť v Cambridge: počet hodín slnečného svitu za rok, vyjadrených ako zlomok celkového počtu hodín denného svetla.



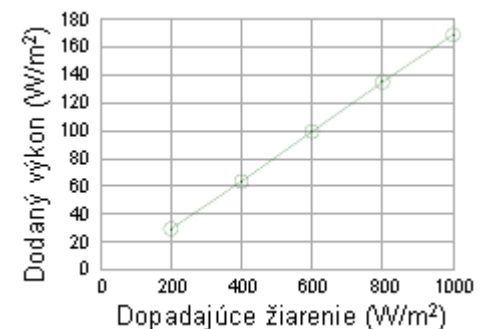
Obrázok 6.14. Tento obrázok kvantitatívne zobrazuje otázky, ktoré si treba položiť pred akýmkoľvek návrhom biopalív. Aké sú ďalšie energetické vstupy potrebné na pestovanie a spracovanie? Aká je získaná energia? Aký je celkový energetický zisk? Často dodatočné vstupy a straty vymažú väčšinu energie, ktorú rastliny získajú.

38 *Priemerné množstvo dopadajúcej slnečnej energie na južne orientovanú plochu v Británii je asi 110 W/m² a na plochú zem asi 100 W/m². Zdroj: NASA „Surface meteorology and Solar Energy“ <http://eosweb.larc.nasa.gov/>, [5hrxls]. Prekvapuje vás, že je taký malý rozdiel medzi naklonenou a horizontálnou strechou? Mňa áno. Rozdiel je naozaj iba 10 % [6z9epq].*

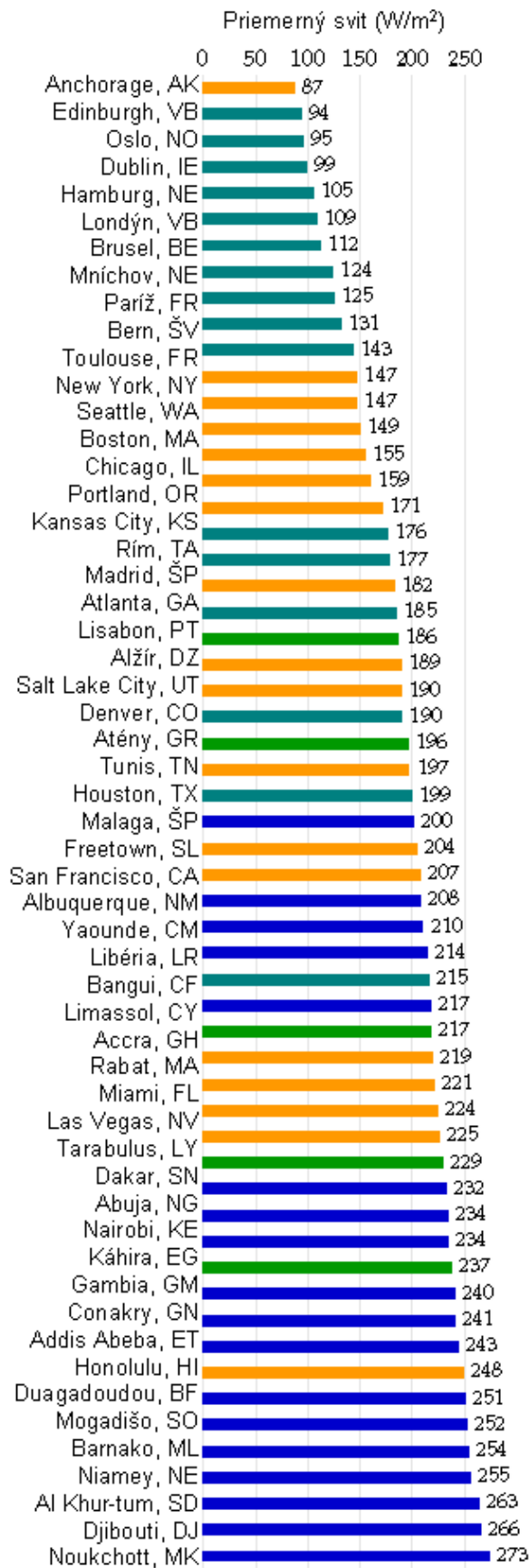
39 *...to by predstavovalo asi 10 m² panelov na osobu. Vypočítal som túto plochu tak, že som vzal do úvahy plochu zeme pokrytej budovami na osobu (48 m² v Británii – tabuľka I.6), vynásobil som ju ¼ pre výpočet južne orientovanej časti a pridal som 40 % ako korekciu na sklon plochy. To znamená 16 m² na osobu. Panely sa zväčša z praktických dôvodov vyrábajú štvorcové alebo obdĺžnikové, takže určitá časť strechy zostane nepokrytá; preto som zvolil 10 m².*

- *Priemerný výkon slnečných fotovoltaických článkov...*

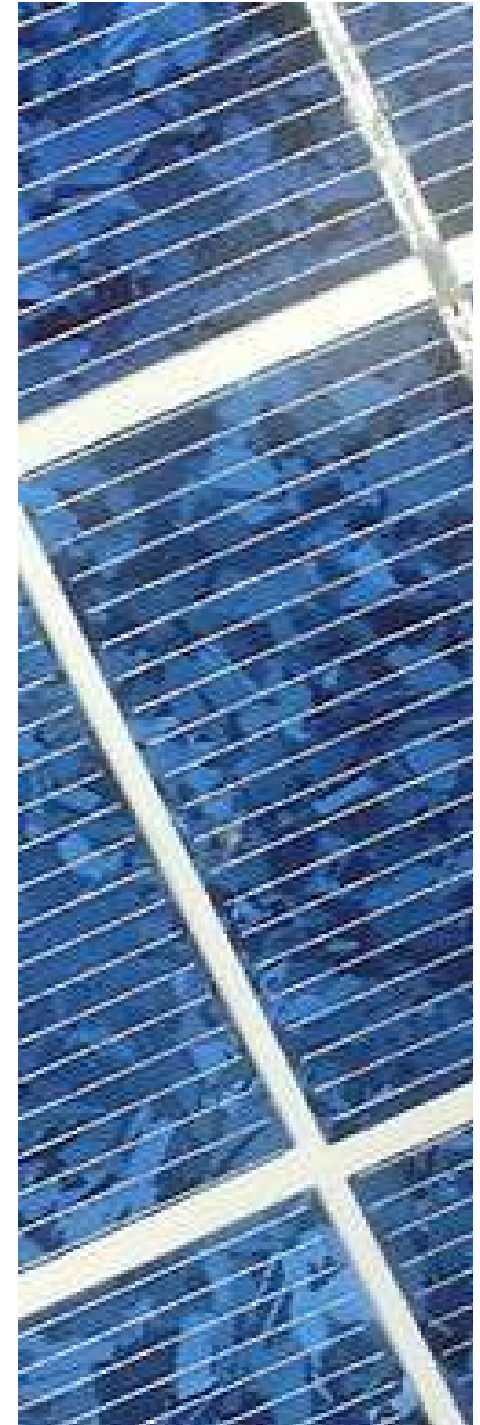
Koluje mýtus, že slnečné články vyrobia približne toľko energie pri zamračennej ako pri jasnej oblohe. To jednoducho nie je pravda. Pri zatiahnutej oblohe články premieňajú určitú časť energie, avšak oveľa menej: výroba elektriny sa znižuje asi 10-násobne. Obrázok 6.15 ukazuje, že energia článkov je takmer úmerná intenzite slnečného žiarenia. – aspoň pri teplote 25 °C. Aby bola celá záležitosť ešte komplikovanejšia, účinnosť panelov ovplyvňuje aj teplota – čím teplejšie panely, tým nižšia účinnosť (typický pokles je 0,38 % na 1 °C) – ale ak si pozriete údaje zo skutočných článkov, napríklad na www.solarwarrior.com, potvrdíte si hlavný záver: výkon pri oblačných podmienkach výrazne klesá. Túto skutočnosť sa snažia zahmlievať niektorí podporovatelia solárnej technológie, keď hovoria, že „články sú účinnejšie v zamračenom počasí“. Môže to byť pravda, ale účinnosť by sme nemali zamieňať s celkovým množstvom získanej energie

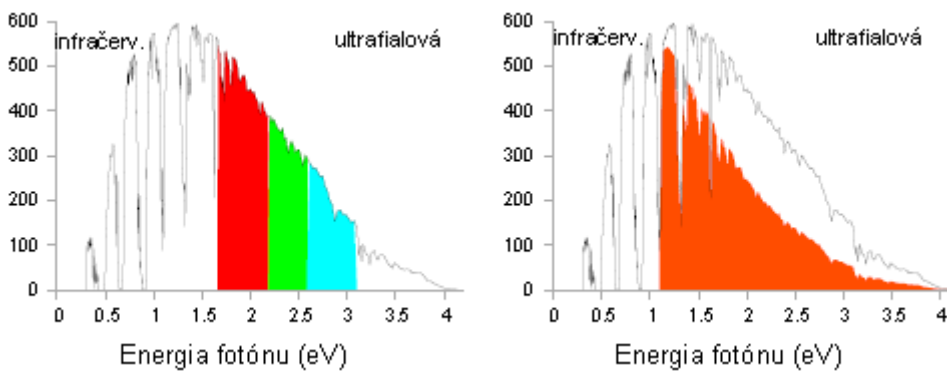


Obrázok 6.15. Výkon vyrobený modulom Sanyo HIP-210NKHE1, ako funkcia intenzity svetla (pri 25 °C, a pri predpokladanom napätí 40 V). Zdroj: www.sanyo-solar.eu.



Obrázok 6.16. Priemerný výkon slnečného žiarenia dopadajúceho na horizontálny povrch vo vybraných lokalitách v Európe, Severnej Amerike, a Afrike.





Obrázok 6.17. Časť vysvetlenia Shockley-Queisserovho 31 % limitu účinnosti jednoprechodových fotovoltaických článkov. Vľavo: spektrum poľudňajšieho slnečného žiarenia. Vertikálna os ukazuje hustotu výkonu vo W/m^2 na eV spektrálneho intervalu. Viditeľná časť spektra je znázornená farbami. Vpravo: energia zachytená fotovoltaickým systémom s jednou šírkou zakázaného pásma na 1,1 eV je znázornená oranžovou farbou. Fotóny s nižšou energiou ako má zakázané pásmo, sú nevyužitú. Časť energie fotónov nad energiou zakázaného pásma tiež zostáva nevyužitú; v tomto prípade je to polovica energie každého 2,2 eV fotónu.

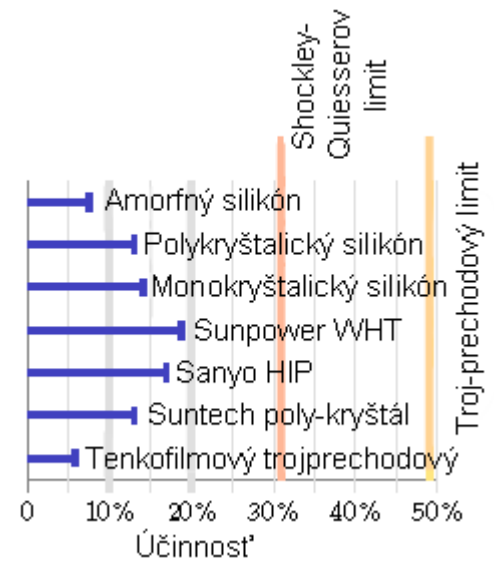
K ďalším stratám dochádza pre žiarenie nevyhnutne vznikajúce pri opätovnej rekombinácii vo fotovoltaickom materiáli.

39 *Typické slnečné články majú účinnosť asi 10 %; tie drahšie 20 %.* Pozri obrázok 6.18. Zdroje: Turkenburg (2000), Sunpower www.sunpowercorp.com, Sanyo <http://www.sanyo-solar.eu>, Suntech.

- *Články s účinnosťou vyššou ako 30 % by znamenali významný pokrok.* To je citát podľa Hopfielda a Golluba (1978), ktorí uvažovali o článkoch s technológiou koncentrovania zrkadlami alebo šošovkami. Teoretický limit pre štandardný „jednoprechodový“ slnečný článok bez koncentrovania, takzvaný Shockley-Queisserov limit hovorí, že je možné získať najviac 31 % energie slnečného žiarenia. (Shockley a Quieser, 1961). (Hlavný dôvod pre tento limit je, že štandardné solárne materiály majú vlastnosť, ktorá sa nazýva „šírka zakázaného pásma“ a tá určuje množstvo energie fotónu, ktoré daný materiál premení najefektívnejšie. Slnečné žiarenie obsahuje fotóny s mnohými úrovňami energie; fotóny s energiou nižšou ako má zakázané pásmo zostanú nevyužitú; fotóny s energiou vyššou akú má toto pásmo môžu byť zachytené, ale ich nadbytočná energia (energia vyššia akú má zakázané pásmo) sa stráca do okolia). Koncentračné technológie (šošovky alebo zrkadlá) znižujú náklady (na watt) fotovoltaických systémov a zvyšujú ich účinnosť. Shockleyho-Queisserov limit slnečných článkov s koncentračnou technológiou má účinnosť 41 %. Jediný spôsob, ako prelomiť tento limit, je rozdelenie svetla na jednotlivé vlnové dĺžky a pre každú z nich vytvoriť zakázané pásmo. Tieto sa nazývajú „viacprechodové“ fotovoltaické články. Nedávno vedci informovali o takýchto článkoch s účinnosťou 40 % [21t7t6], <http://www.spectrolab.com>. V júli 2007 vedci z Delawarskej univerzity informovali o článkoch s účinnosťou 42,8 % s 20-násobným zakoncentrovaním. [6hobq2], [21sx6t]. V auguste roku 2008 Národné laboratórium pre obnoviteľnú energiu (National Renewable Energy Laboratory, NREL) informovalo o účinnosti 40,8 % s 326-násobným skoncentrovaním [62ccou]. Je zvláštne, že oba tieto objavy sa prezentovali ako svetové rekordy. Aké viacprechodové články sú dostupné na trhu? Firma Uni-solar predáva tenkofilmové trojprechodové 58 W (max) články s plochou $1 m^2$. To znamená účinnosť iba 5,8 % pri plnej intenzite Slnka.

40 *Obrázok 6.5: Solárne FV údaje.* Údaje a fotografiu láskavo poskytol Jonathan Kimmitt.

- *Heliodynamics* - <http://www.hdsolar.com/>. Pozri obrázok 6.19. Podobný systém vyrába aj Arontis <http://www.arontis.se/>.



Obrázok 6.18. Účinnosť slnečných dnes dostupných fotovoltaických modulov. V texte predpokladám, že strešná fotovoltaika má účinnosť 20 %, a že fotovoltaika pokrývajúca krajinu má 10 % účinnosť. V mieste, kde je priemerná energetická hustota prichádzajúceho žiarenia $100 W/m^2$, panely s účinnosťou 20 % vyrobia $20 W/m^2$.

41 *Slničná fotovoltaická elektrárň v Mulhausene, Bavorsku.* Táto 25-hektárová elektrárň by podľa predpokladov mala prinášať 0,7 MW (17 000 kWh za deň).

Metro stanica Stillwell v New Yorku má strechu pokrytú integrovaným amorfným kremíkovým tenkofilmovým FV článkom, ktorý dodáva 4 W/m² (Fies a kol., 2007).

Slničná elektrárň v Nellise v Nevade dokončená v decembri roku 2007 na ploche 140 akrov by mala vyrábať 30 GWh za rok. To je 6 W/m² [5hzs5y].

Slničná elektrárň Serpa v Portugalsku, „najvýkonnejšia slnčná elektrárň,“ [39z5m5], [2uk8q8] má články otáčajúce sa za Slnkom na ploche 60 hektárov, teda 600 000 m² alebo 0,6 km², dodáva 20 GWh za rok, teda 2,3 MW v priemere. To je energetická hustota 3,8 W/m².

41 *Kapacita slnčnej energie potrebnej na získanie 50 kWh/d na osobu v Británii je viac ako 100-násobok všetkej FV energie na svete.* Zásobovanie 50 kWh/d na osobu v Británii by znamenalo 125 GW energie, čo znamená 1250 GW kapacity. Na konci roku 2007 bolo vo svete inštalovaných 10 GW (maximum) FV článkov; rýchlosť inštalovania nových kapacít je asi 2 GW za rok.

- *zakryť 5 % nášho územia slnčnými článkami sa z mnohých dôvodov javí nereálne.* Hlavný dôvod, prečo uvažujem o nemožnosti takeého postupu je, že Briti radšej využívajú okolitú krajinu na hospodárenie a rekreáciu ako na solárny priemysel. Ďalším dôvodom môže byť cena. Toto nie je kniha o ekonomike, ale tu je zopár údajov. Ak vychádzame z ceny solárnej elektrárne v Bavorsku, zásobovanie 50 kWh/d na osobu by stálo 91 000 euro na osobu; v prípade, že park funguje ešte 20 rokov bez dodatočných nákladov, cena energie by bola 0,25 euro za kWh. Ďalšie čítanie: David Carlson, BP solar [2ahecp].

43 *Ludia v Británii vyhodia každý deň asi 300 g jedla.* Zdroj: Ventour (2008).

- *Obrázok 6.10. Ozdobnica, ktorá sa pestuje v USA bez hnojív, má výťažok 24 t/ha/rok suchej biomasy.* Suchá ozdobnica má celkovú kalorickú hodnotu 17 MJ/kg, takže na podmienky Británie to znamená energetickú hustotu 0,75 W/m². Zdroje: Heaton a kol. (2004) a [6kq77]. Odhad tohto výťažku vychádza z priemeru nerušeného pestovania za 3 roky.

- *Najúčinnejšie rastliny v Európe vytvárajú cukry zo slnčnej energie s približne 2 % účinnosťou; najlepší výkon energetických plodín v Európe je asi 0,5 W/m².* Pri nižších intenzitách svetla majú najlepšie rastliny v Británii účinnosť 2,4 % na dobre hnojených poliach (Monteith, 1977), ale pri vyšších intenzitách táto účinnosť klesá. Podľa Turkenburga (2000) a Schiermeiera a kol. (2008) je účinnosť premeny slnčnej energie na biomasu menej ako 1 %.

Tu je niekoľko zdrojov, z ktorých vychádza môj výpočet 0,5 W/m² pre bioenergiu v Británii. Po prvé, Kráľovská komisia pre environmentálne znečistenie odhaduje, že potenciálna hustota získanej energie z energetických plodín v Británii je 0,2 W/m². (Kráľovská komisia pre environmentálne znečistenie, 2004). Po druhé, na strane 43 dokumentu Kráľovskej spoločnosti o biopalivách (Pracovná skupina Kráľovskej spoločnosti pre biopalivá, 2008), je ozdobnica na čele zoznamu, s hustotou chemického výkonu 0,8 W/m².



Obrázok 6.19. Kombinovaná slnčná fotovoltaická jednotka na získanie tepelnej a elektrickej energie od Heliodynamics. Plocha reflektora 32 m² (o niečo väčšia ako jedna strana dvojoschodového autobusu) dodáva do 10 kW tepelnej a 1,5 kW elektrickej energie. V slnčných krajinách dokáže toto zariadenie dodávať 60 kWh/d tepla a 9 kWh/d elektriny. To zodpovedá priemernému výkonu 80 W/m² tepla a 12 W/m² elektriny (to sú metre štvorcové zariadenia); tieto výkony sa vyrovnávajú tokom dodávaným štandardnými slnčnými kolektormi a fotovoltaickými článkami, ale dizajn zakoncentrovania od Heliodynamics dodáva energiu pri nižšej cene, pretože väčšina materiálu je obyčajné rovné sklo. Na porovnanie, celková spotreba energie priemerného Európana je 125 kWh/d.

V Správe o svetovej energii (World Energy Assessment), ktorú publikuje Rozvojový program Spojených národov (UNDP), Rogner (2000) píše: „Ak predpokladáme 45 % účinnosť premeny na elektrinu a výťažok 15 ton suchej biomasy na hektár za rok, potrebovali by sme 2 km² plantáží na jeden megawatt inštalovaného výkonu elektriny, fungujúceho 4000 hodín ročne.“ To je hustota výkonu **0,23 W(e)/m²**. (1W(e) znamená 1 watt elektrického výkonu.)

Spoločnosť Energia pre trvalo udržateľný rozvoj (2003) udáva, že porast s krátkym rubným vekom môže dodať 10 ton suchého dreva na hektár za rok, čo zodpovedá hustote výkonu **0,57 W/m²**. (Suché drevo ma kalorickú hodnotu 5 kWh na kilogram).

Podľa Archera a Barbera (2004) je okamžitá účinnosť zdravého listu pri optimálnych podmienkach až 5 %, ale dlhodobá účinnosť uskladňovania energie moderných plodín je 0,5 - 1 %; Archer a Barber (2004) predpokladajú, že s pomocou genetického inžinierstva je možné zvýšiť účinnosť uskladňovania energie, najmä pri *C4 rastlinách*, pri ktorých sa už v priebehu evolúcie vytvorila účinnejšia fotosyntéza. *C4* rastliny nájdeme prevažne v trópech a vyhovujú im vysoké teploty; nerastú pri teplotách pod 10 °C. Medzi *C4* rastliny patrí napríklad cukrová trstina, kukurica, cirok a rôzne druhy prosa. Zhu a kol. (2008) vypočítali teoretický limit pre účinnosť premeny slnečnej energie do biomasy na 4,6 % v prípade *C3* rastlín pri 30 °C a dnešnej koncentrácii 380 ppm CO₂ vo vzduchu a na 6 % pre *C4* rastliny. Podľa nich je najvyššia udávaná účinnosť pre *C3* 2,4 % a pre *C4* 3,7 %; a citujúc Buyera (1982), že priemerná účinnosť hlavných plodín v USA je 3 - 4-násobne nižšia ako tieto rekordné účinnosti (t.j. asi 1 %). Jednou z príčin, prečo rastliny nedosahujú teoretické limity je, že nedokážu dostatočne využívať všetko žiarenie bieleho slnečného svetla. Obe práce (Zhu a kol., 2008; Boyer, 1982) rozoberajú možnosti genetického inžinierstva pre vytvorenie efektívnejších rastlín.

1 *Obrázok 6.11.* Čísla v tomto obrázku sú prevzaté z nasledovných prác: Rogner (2000) (celkové energetické výťažky dreva, repky, cukrovej trstiny a tropických plantáží); Bayer Crop Science (2003) (repka na bionaftu); Francis a kol. (2005) a Asselbergs a kol. (2006) (Jatropa); Mabee a kol. (2006) (cukrová trstina, Brazília); Schmer a kol. (2008) (proso prútnaté, okrajová obilnina v USA); Shapouri a kol. (1995) (etanol z kukurice); Kráľovská komisia pre environmentálne znečistenie (2004); Pracovná skupina Kráľovskej spoločnosti pre biopalivá (2008); Energia pre trvalo udržateľný rozvoj Ltd (2003); Archer a Barber (2004); Boyer (1982); Monteith (1977).

44 *Dokonca aj spaľovanie vysušeného dreva v kvalitnom kotli znamená straty tepla komínom až 20 %.* Zdroje: Pracovná skupina kráľovskej spoločnosti pre biopalivá (2008); Kráľovská komisia pre environmentálne znečistenie (2004).

7 Ohrev a chladenie

Táto kapitola sa venuje otázke, koľko výkonu spotrebujeme na udržiavanie vhodnej teploty nášho okolia – doma a v práci – alebo na ohrievanie či chladenie jedla, nápojov, na pranie a umývanie riadu.

Ohrievanie vody v domácnosti

Či spotrebujeme najviac horúcej vody v dome na kúpanie, sprchovanie, umytie riadu alebo pranie šiat, to závisí od vášho životného štýlu. Vypočítajme najskôr energiu potrebnú na kúpanie.

Objem vody na kúpanie je $50 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 150 \text{ cm} \approx 110$ litrov. Povedzme, že teplota kúpeľa je $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (120 F) a voda pritekajúca do domu je $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Tepelná kapacita vody, ktorá určuje množstvo energie potrebnej na jej ohriatie o $1 \text{ }^\circ\text{C}$, je 4200 J na liter. Energia potrebná na zvýšenie teploty vody o $40 \text{ }^\circ\text{C}$ je

$$4200 \text{ J/liter/}^\circ\text{C} \times 110 \text{ litrov} \times 40 \text{ }^\circ\text{C} \approx 18 \text{ MJ} \approx 5 \text{ kWh.}$$

Takže na jeden kúpeľ spotrebujeme **5 kWh**. Na porovnanie, sprchovanie (25 litrov) spotrebuje asi **1 kWh**.

Kanvice a variče

Británia ako civilizovaná krajina, má zásobovanie domácností 230 voltami. Pod takýmto napätím nám v elektrickej kanvici s výkonom 3 kW zovrie niekoľko litrov vody za pár minút. Prečo 3 kW? Pretože to je najväčší výkon, ktorý dokáže vydať zástrčka bez prekročenia maximálneho povoleného prúdu 13 ampérov. V krajinách, kde je napätie 110 voltov, zovretie vody trvá dvojnásobne dlho.

Ak máme v domácnosti kanvicu zapnutú 20 minút denne, v priemere spotrebuje **1 kWh za deň**. (V nasledujúcich pár príkladoch budem uvažovať o spotrebe „na domácnosť“ a o dvoch ľuďoch v jednej domácnosti.)

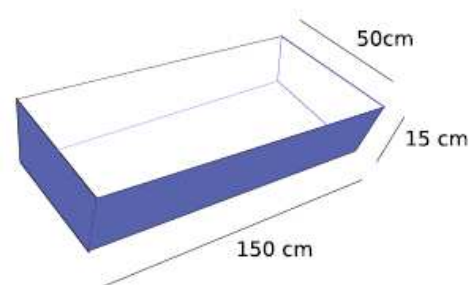
Jedna malá platnička na elektrickom variči má taký istý výkon ako hriankovač: 1 kW. Variče s vyšším výkonom dodávajú 2,3 kW. Ak používate varič s dvoma platničkami pri plnom výkone pol hodinu denne, zodpovedá to **1,6 kWh za deň**.

Mikrovlnná rúra má často svoj výkon viditeľne vyznačený: tá moja má 900 W, ale v skutočnosti spotrebuje asi 1,4 kW. Ak používate mikrovlnnú rúru 20 minút denne, zodpovedá to **0,5 kWh za deň**.

Priemerná elektrická rúra spotrebuje viac: približne 3kW, keď je naplno zapnutá. Ak ju používate hodinu denne, z čoho polhodinu na plný výkon, spotrebuje **1,5 kWh za deň**.



Obrázok 7.1. Zástavba nových domov.



Obrázok 7.2. Voda vo vani.

$$230 \text{ V} \times 13 \text{ A} = 3000 \text{ W}$$

Mikrovlnná rúra:
1400 W max.

Chladnička-
mraznička:
100 W max,
18 W priemer



Obrázok 7.3. Spotreba elektrickej energie zariadeniami na ohrev a chladenie.

Zariadenie	Výkon	Čas za deň	Energia za deň
Varenie			
-kanvica	3 kW	1/3 h	1 kWh/d
-mikrovlnná rúra	1,4 kW	1/3 h	0,5 kWh/d
-elektrický varič	3,3 kW	1/2 h	1,6 kWh/d
-elektrická rúra	3 kW	1/2 h	1,5 kWh/d
Čistenie			
-pračka	2,5 kW		2,5 kWh/d
-sušička	2,5 kW	0,8 h	2 kWh/d
-sušenie v sušiarňi			0,5 kWh/d
-sušenie na sušiaku			0 kWh/d
-umývačka Radu	2,5 kW		0,5 kWh/d
Chladenie			
-chladnička	0,02 kW	24 h	0,5 kWh/d
-mraznička	0,09 kW	24 h	2,3 kWh/d
-klimatizácia	0,6 kW	1 h	0,6 kWh/d

Tabuľka 7.4. Spotreba energie zariadeniami na ohrev a chladenie v domácnosti.

Sušenie šiat a riadov

Pračka, umývačka a sušička spotrebujú približne 2,5 kW, keď sú zapnuté.

Pračka spotrebuje na jedno vypratíe približne 80 litrov vody a 1 kWh elektrickej energie pri teplote 40 °C. Ak na sušenie šiat miesto sušičky používame sušiareň, stále potrebujeme teplo na odparenie vody – približne 1,5 kWh na vysušenie jednej dávky bielizne, namiesto 3 kWh.

Aby sme zosumariovali výpočet energie vzťahujúcej sa na teplú vodu, myslím, že určite môžeme použiť odhad **12 kWh za deň osobu**.

Horúci vzduch – doma a v práci

A teraz, spotrebuje sa viac energie na výrobu teplej vody a teplého jedla, alebo na ohrev vzduchu našich budov pomocou radiátorov?

Jeden zo spôsobov, ako vypočítať energiu spotrebovanú radiátorom na ohrev vzduchu za deň, je predstaviť si budovu vykurovanú namiesto toho elektrickým ohrievačom, ktorého výkon si vieme predstaviť lepšie. Výkon malého elektrického krbu alebo elektrického ohrievača vzduchu je 1 kW (24 kWh za deň). Počas zimy potrebujete jeden takýto ohrievač na osobu. V lete ani jeden. Takže budeme uvažovať, že moderný človek potrebuje 12 kWh za deň na ohrev vzduchu. Ale väčšina ľudí zohrieva viac miestností, ako práve potrebuje (povedzme kuchyňu, obývačku, chodbu a kúpeľňu). Takže pravdepodobný odhad spotreby na ohrev vzduchu je približne dvojnásobok, teda **24 kWh za deň na osobu**.

Doplňok k tejto kapitole, kapitola E, obsahuje detailnejší popis toho, čo sa deje s teplom v budovách. Tento model umožňuje vypočítať možné úspory pri znížení výkonu ohrievača, dvojitých oknách atď.

Ohrev vody:
12 kWh/d

Obrázok 7.5. Celková spotreba vody, doma aj v práci – vrátane kúpania, sprchovania, prania ošatenia, varičov, kanvíc, mikrovlnných rúr a umývania riadu – je približne 12 kWh za deň na osobu. Tomuto rámcu som priradil svetlejšiu farbu, ktorá naznačuje, že túto energiu môžeme získať nízko kvalitnou tepelnou energiou.



Obrázok 7.6. Veľký elektrický ohrievač: 2 kW.

Ohrev vonkajších priestorov a ďalší luxus

Ľudia čoraz viac vykurojú vonkajšie priestory átriovými ohrievačmi. Typický átriový ohrievač má výkon 15 kW. Ak používate jeden z takýchto ohrievačov niekoľko hodín každý večer, spotrebujete ďalších **30 kWh za deň**.

Ešte luxusnejší doplnok je elektrická deka. Elektrická deka na manželskú posteľ spotrebuje 140 W; ak ju zapnete na hodinu, spotrebuje **0,14 kWh**.

Ohrev vzduchu:
24 kWh/d

Obrázok 7.7. Horúci vzduch celkovo – doma aj v práci – znamená približne 24 kWh za deň na osobu.

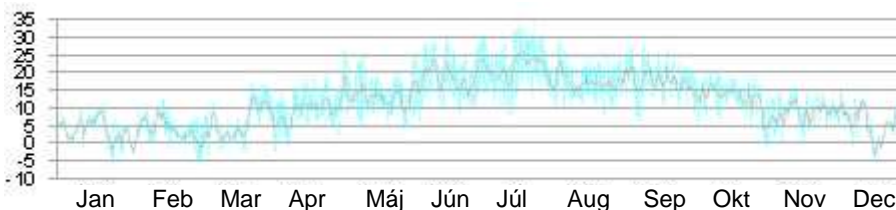
Chladienie

Chladnička a mraznička

Teplotu regulujeme nielen pri ohrievaní vody a vzduchu, ktoré sú okolo nás, ale aj pri chladiení v zariadeniach, ktoré máme vo svojich obydlích. Moja chladnička a mraznička, zobrazená na obrázku 7.3, spotrebuje v priemere 18 W, čo je približne 0,5 kWh/d.

Klimatizácia

V krajinách, kde teploty v lete stúpajú nad 30 °C, sa klimatizácia považuje za nevyhnutnosť a energia potrebná na dostatočné chladienie môže byť veľmi vysoká. Avšak táto kniha je o spotrebe energie v Británii, kde teploty zväčša nevyžadujú klimatizáciu (obrázok 7.8).



Obrázok 7.8. Teplota v stupňoch Celzia v Cambridge, denné (červená čiara) a polhodinové (modrá čiara) priemery v roku 2006.

Ekonomický spôsob klimatizácie predstavuje tepelné čerpadlo so zdrojom vzduchu. Elektrická klimatizácia pripevnená na okne určená pre jednu miestnosť spotrebuje 0,6 kW elektriny a (pomocou výmenníka tepla) dodáva 2,6 kW na chladienie. Pri výpočte energetickej spotreby v Británii na klimatizáciu predpokladám, že priemerný obyvateľ ju zapne na 12 hodín denne 30 dní v roku, pričom spotrebuje 7,2 kWh. Priemerná spotreba za rok predstavuje **0,6 kWh/d**.

Celkový výsledok spotrebovanej energie na chladienie – 1kWh/d na osobu – zahŕňa klimatizáciu a chladničku s mrazničkou. Firmy tiež chladia potraviny pri doprave z výroby do obchodu. V kapitole 15 sa budeme venovať tomu, aké sú energetické náklady v potravinovom reťazci.

Chladienie: **1 kWh/d**

Obrázok 7.9. Celkové náklady na chladienie – vrátane chladničky (chladnička/mraznička) a klimatizáciu v lete – 1 kWh/d.



Obrázok 7.10. Kumulatívna spotreba plynu v mojej domácnosti, v kWh v jednotlivých rokoch od 1993 do 2005. Číslo na konci línie z každého roku je priemerná rýchlosť spotreby energie, v kWh za deň. Ak chcete zistiť, čo sa stalo v roku 2007, čítajte ďalej.

Celkový ohrev a chladenie

Náš hrubý odhad celkovej spotrebovanej energie jednej osoby na varenie, ohrev a chladenie doma aj v práci je **37 kWh/d na osobu** (12 na ohrev vody, 24 na ohrev vzduchu, 1 na chladenie).

Dôkaz, že tento odhad je približne správny alebo o niečo nižší, pochádza z mojej vlastnej spotreby plynu, ktorá pri spriemerovaní za 12 rokov predstavuje 40 kWh za deň (obrázok 7.10). Zároveň si myslím, že v tom čase som bol pomerne skromný spotrebiteľ energie na ohrev, ale nedával som si pozor na aktuálnu spotrebu. V kapitole 21 sa dozvieme, koľko energie som ušetril, keď som si túto spotrebu začal všimáť.

Pretože ohrev je pomerne výrazná položka v našom stĺpci spotreby, porovnajme môj výpočet s národnými štatistikami. Na úrovni krajiny priemerná *domáca* spotreba energie na vykurovanie miestností, ohrev vody a varenie v roku 2000 bola 21 kWh/d na osobu a spotreba na vykurovanie, chladenie, zásobovanie a teplú vodu bola v *sektore služieb* 8,5 kWh/deň/osobu. Na výpočet vykurovania pracoviska si zoberme ako vzor spotrebu plynu na univerzite v Cambridge v rokoch 2006 - 2007: 16 kWh/d na jedného zamestnanca.

Ak zrátame tieto tri čísla, druhý odhad pre národnú spotrebu energie na ohrev je $21 + 8.5 + 16 \approx 45$ kWh/d na osobu, ak je univerzita v Cambridge priemerným pracoviskom. Dobré, to je pomerne blízko nášmu prvému odhadu 37 kWh/d.

Poznámky a ďalšie čítanie

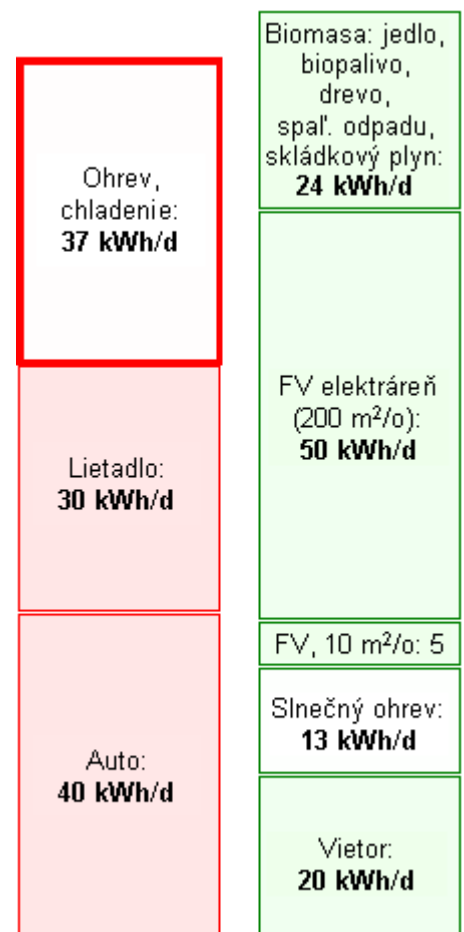
Strana číslo

50 Rúra spotrebuje 3 kW. Je zrejmé, že existuje celá škála výkonov. Mnohé rúry majú maximálny výkon 1,8 kW alebo 2,2 kW. Tie najvýkonnejšie spotrebujú až 6 kW. Napríklad elektrická rúra a varič Whirlpool AGB 487/WP 4 má 5,9 kW rúru a štyri 2,3 kW variče.

http://www.kcmltd.com/electric_oven_ranges.shtml

<http://www.1stforkitchens.co.uk/kitchenovens.html>

51 Sušiareň spotrebuje približne 1,5 kWh na vysušenie jednej dávky bielizne. Tento výpočet vychádza z váhy mojej vlastnej bielizne: váha suchej bielizne,



Obrázok 7.11. Ohrev a chladenie – približne 37 jednotiek za deň na osobu. Tento rámček nie je vyfarbený, čo naznačuje, že výkon možno získať pomocou nízko kvalitnej tepelnej energie.

4 kg, sa ešte zvýši o ďalších 2,2 kg po vypratí v práčke Bosch (dokonca aj po dobrom nemeckom odstredení). Latentné teplo vyparovania vody pri 15 °C je zhruba 2500 kJ/kg. Aby som vypočítal dennú spotrebu v tabuľke, predpokladal som, že priemerný človek perie bielizeň každé tri dni a že to odčerpáva cenné teplo z domu počas zimných mesiacov. (V lete znamená používanie sušiarne mierne klimatizovanie, pretože odparujúci sa vzduch ochladzuje vzduch v dome.)

53 *Na úrovni krajiny bola priemerná domáca spotreba v roku 2000 21 kWh/d na osobu; spotreba v sektore služieb bola 8,5 kWh/deň/osobu. Zdroj: Ministerstvo obchodu a priemyslu (2002a).*

- *zoberme si ako vzor spotrebu plynu na univerzite v Cambridge v rokoch 2006 - 2007: 16 kWh/d na jedného zamestnanca. Spotreba plynu a ropy na univerzite Cambridge (nezahŕňajúc College) bola 76 GWh v rokoch 2006 - 2007. Uvažoval som o počte zamestnancov 13 300 (8602 personál a 4667 postgraduálnych študentov). Aby som nezabudol, spotreba elektrickej energie bola 99,5 GWh. Zdroj: Univerzitná správa verejných služieb.*

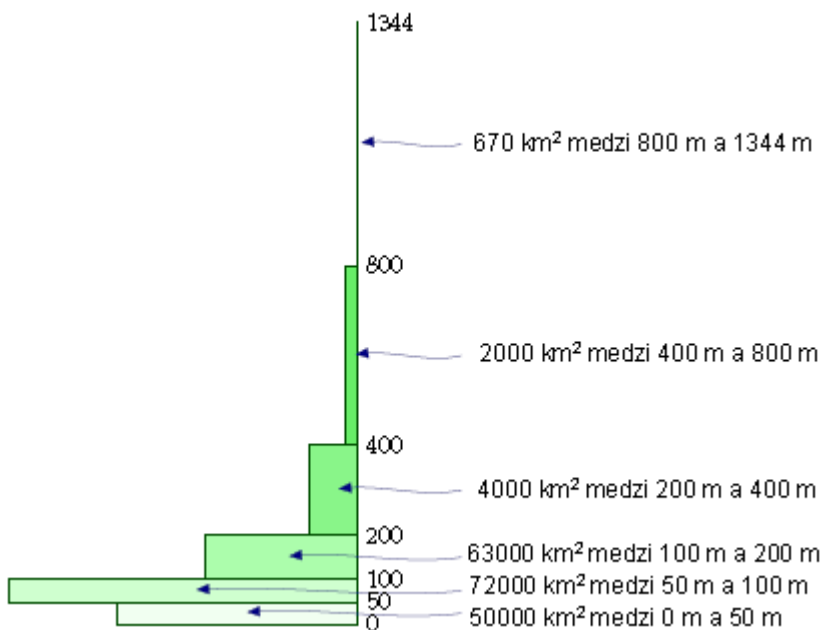
8 Voda

Na výrobu elektrickej energie z vody je potrebné prevýšenie a zrážky. Vypočítajme celkovú energiu všetkého dažďa pri jeho stekaní do oceánov.

Z praktických dôvodov pri tomto výpočte rozdelím Britániu na dve časti: nižšie, suchšie územia, ktoré budem nazývať nížiny; a vyššie, daždivejšie územia, ktoré budem nazývať vysočiny. Bedford a Kinlochewe mi poslúžia ako reprezentatívne oblasti.

Začnime s nížinami. Na výpočet gravitačnej energie dažďa z nížin, vynásobíme množstvo zrážok v Bedforde (584 mm za rok) hustotou vody (1000 kg/m^3), gravitačným zrýchlením (10 m/s^2) a typickou nadmorskou výškou nížiny (povedzme 100 m. n. m.). Výsledná hustota výkonu je $0,02 \text{ W/m}^2$. To je výkon na jednotku plochy zeme, na ktorú dopadá dážď.

Keď túto hodnotu vynásobíme plochou na jednu osobu (2700 m^2 , ak nížiny rozdelíme rovnomerne medzi všetkých 60 miliónov Britov), zistíme, že hrubý priemerný výkon je 1 kWh za deň na osobu. Toto je najvyššia horná hranica výkonu vody v prípade, že všetky rieky majú priehrady a každá kvapka je dokonale zužitkovaná. V skutočnosti však prehradíme iba rieky s veľkým spádom a povodím oveľa menším ako je celá krajina. Väčšina vody sa taktiež vyparí skôr, ako sa dostane do turbíny a žiadny hydroelektrický systém nedokáže využiť všetok potenciál vody. Dostávame sa tak k nevyhnutnému záveru o energii vody z nížin. Ľudia môžu s radosťou budovať rôzne malé vodné elektrárne, ale tie nikdy nedokážu zabezpečiť viac ako 1 kWh za deň na osobu.



Obrázok 8.1. Priehrada Nant-y-Moch, súčasť 55 MV hydroelektrického systému vo Walese. Fotografia: Dave Newbould, www.origins-photography.co.uk.



Obrázok 8.2. Nadmorské výšky krajiny v Británii. Obdĺžniky ukazujú plochu krajiny pre každú výšku.

Pozrime sa na vysočiny. Kinlochewe je daždivejšie miesto: dopadne sem 2278 mm zrážok za rok, štvornásobne viac ako v Bedforde. Je tu tiež výrazné výškové prevýšenie – veľké oblasti sú nad 300 m nad morom. Takže celkovo je možný asi 12-násobný nárast v energetickej hustote vo vyšších polohách. Hrubá hustota výkonu je asi $0,24 \text{ W/m}^2$. Ak by vysočiny zdieľali tento výkon so zvyškom Británie (pri rozlohe 1300 m^2 na osobu), horná hranica je približne 7 kWh za deň na osobu. Tak ako v prípade nížin, ide o hornú hranicu, ktorá nepočíta s vyparovaním a predpokladá dokonalé využitie každej kvapky.

Aký je teda praktický horný limit? Predpokladajme, že 20 % nášho výpočtu – teda 1,4 kWh za deň a zaokrúhlením započítame aj potenciál vody v nížinách: **1,5 kWh za deň**.

Skutočný výkon vodných elektrární v Británii je dnes 0,2 kWh/d na osobu, takže 1,5 kWh/d by vyžadovalo 7-násobný nárast vo výrobe elektrickej energie z vody.

Poznámky a ďalšie čítanie

55 *Zrážkové* štatistiky sú prebraté z Centra počasia BBC.

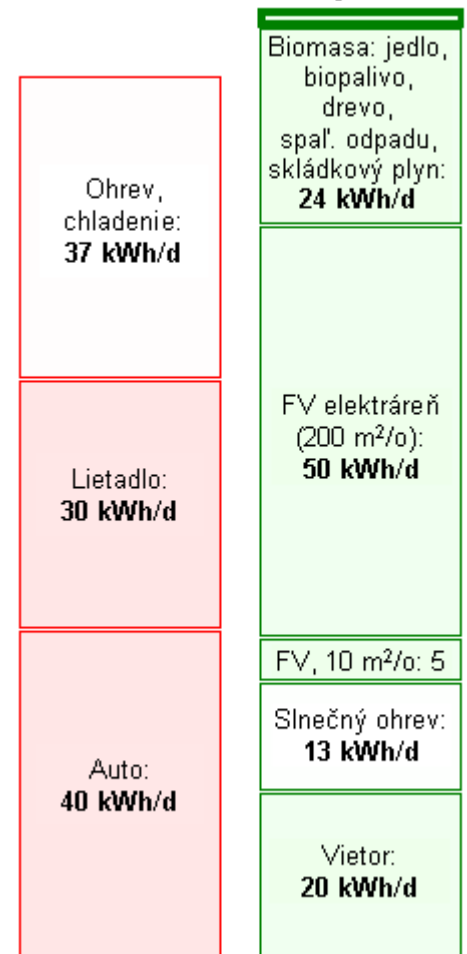
56 *Hrubá hustota výkonu [dažďa z vysočín] je asi 24 kWh/d.* Tento odhad môžeme porovnať so skutočnou hustotou výkonu priehrady Loch Sloy dokončenej v roku 1950 (Ross, 2008). Rozloha povodia Loch Sloy je približne 83 km^2 ; množstvo zrážok je približne 2900 mm za rok (o niečo vyššie ako 2278 mm/rok v prípade Kinlochewe); a výkon elektrárne v roku 2006 bol 142 GWh za rok, čo zodpovedá hustote výkonu povodia $0,2 \text{ W/m}^2$. Povrch priehrady Loch Sloy je približne $1,5 \text{ km}^2$, teda môžeme vypočítať aj hustotu výkonu na plochu priehrady: to je 11 W/m^2 . Takže svahy kopcov, akvadukty a tunely, prinášajúce vodu do Loch Sloy, koncentrujú zdroj výkonu až 55-násobne.

- *Skutočný výkon vodných elektrární v Británii je dnes 0,2 kWh/d na osobu.* Zdroj: MacLeay a kol. (2007). V roku 2006 energia z veľkých vodných nádrží predstavovala 3515 GWh (z elektrárne s kapacitou 1,37 GW); z malých vodných nádrží 212 GWh (0,01 kWh/d/o) (s kapacitou 153 MW).

V roku 1943, v čase najväčšieho rozmachu vodnej energie, Spolok inžinierov Severného Škótska pre elektrinu z vody odhadoval, že vysočiny v Škótsku môžu zabezpečiť až 6,3 TWh ročne v 102 zariadeniach – to by zodpovedalo 0,3 kWh/d na osobu v Británii (Ross, 2008).

Glendoe, prvý projekt veľkej vodnej elektrárne v Británii od roku 1957, bude mať kapacitu 100 MW a očakáva sa, že zabezpečí 180 GWh ročne. Povodie priehrady Glendoe je 75 km^2 , takže hustota výkonu povodia je $0,27 \text{ W/m}^2$. V médiách je Glendoe prezentovaná ako „dostatočne veľká na zásobovanie každého domu v meste s veľkosťou Glasgowa.“ Stavím sa, že ľudia budú mať dojem, že Glendoe poskytne dostatok elektriny „na zásobovanie Glasgowa.“ To je však ďaleko od skutočnosti. Ak zoberieme 180 GWh ročne a rozdelíme ich medzi 616 000 obyvateľov Glasgowa, dostaneme 0,8 kWh na osobu. To je asi 5 % priemernej spotreby elektriny zo 17 kWh/d/o. 20 násobné zveličenie vzniklo ako dôsledok zamerania sa na *maximálny* výkon namiesto *priemerného*, ktorý je 5-krát menší; a zameraním sa na „domy“ namiesto celkovej spotreby elektriny Glasgowa (s329).

Vodná energia: **1,5 kWh/d**



Obrázok 8.3. Energia vody.



Obrázok 8.4. 60 kW vodné koleso.

9 Svetlo

Svetlo doma a v práci

Najjasnejšie žiarovky v dome spotrebujú 250 W, nočné lampy pri posteli 40 W. V prípade klasických žiaroviek sa väčšina energie premení na teplo namiesto svetla. Fluorescenčná žiarivka vyrobí rovnaké množstvo svetla a spotrebujú štvornásobne menej elektrickej energie ako žiarovka.

Koľko elektrickej energie spotrebuje priemerne majetný človek na svietenie? Môj hrubý odhad, vychádzajúci z tabuľky 9.2 je, že typický dom s dvoma obyvateľmi a mixom klasických a úsporných svetiel spotrebuje 5,5 kWh denne, alebo 2,7 kWh za deň na osobu. Predpokladám, že každý obyvateľ má osvetlené pracovisko, kde zdieľa osvetlenie so svojimi kolegami; ak predpokladám, že pracovisko spotrebuje 1,3 kWh/d na osobu, dostaneme **4 kWh za deň na osobu**.

Verejné a dopravné osvetlenie

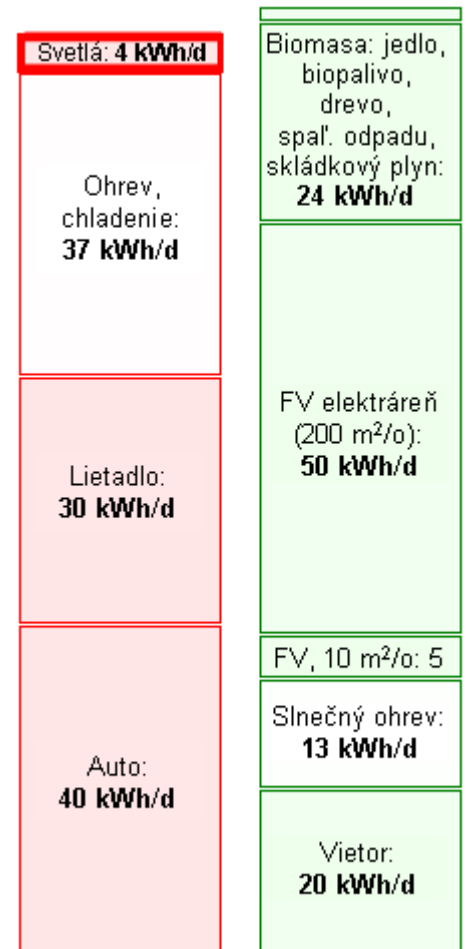
Potrebujeme pre presný výpočet zahrnúť aj verejné osvetlenie, alebo je rozhodujúce svetlo doma a v práci? V skutočnosti pouličné svetlá spotrebujú približne 0,1 kWh/d na osobu, dopravné svetlá iba 0,005 kWh/d na osobu, čo je zanedbateľné v porovnaní s naším vlastným osvetlením doma a v práci. A čo iné spôsoby verejného osvetlenia – napríklad osvetlené značky alebo dopravné majáčky? Je ich menej ako pouličných svetiel a tie sme už zhodnotili ako zanedbateľné, takže náš pôvodný odhad 4 kWh/d na osobu nemusíme meniť.

Svetlá automobilov

V niektorých krajinách vodiči musia pri jazde autom vždy svietiť [vrátane Slovenska – pozn. prekl.]. Ako sa takéto nariadenie prejaví v dodatočnej spotrebe auta? Predpokladajme, že auto svieti žiarovkami s príkonom 100 W. Elektrina pre tieto svetlá pochádza z motora s 25 % účinnosťou poháňajúceho generátor s 55 % účinnosťou, takže požadovaný výkon je **730 W**. Na porovnanie, typické auto idúce priemernou rýchlosťou 50 km/h so spotrebou jedného litra na 12 km má priemernú spotrebu **42 000 W**. Takže zapnuté svetlá počas jazdy znamenajú 2 % energie navyše.

Zariadenie	Výkon	Čas za deň	Energia za deň na dom
10 klasických žiaroviek	1 kW	5 h	5 kWh
10 úsporných žiaroviek	0,1 kW	5 h	0,5 kWh

Vodná energia: **1,5 kWh/d**



Obrázok 9.1. Osvetlenie – 4 kWh za deň na osobu.

Tabuľka 9.2. Spotreba elektriny osvetlením domu. Pravdepodobné celkové množstvo je 5,5 kWh na dom za deň, a podobne v práci; možno 4 kWh za deň na osobu.

A čo elektrické autá budúcnosti? Spotreba výkonu typického elektrického auta je približne 5000 W. Takže prídavok 100 W znamená nárast spotreby o 2 %. Táto spotreba by klesla, ak by všetky autá svietili svetlami LED [diódy emitujúce svetlo – pozn. prekl.], ale ak sa tejto problematike budeme venovať ešte chvíľu, skončíme s diagnózou „every-little-help-izmu“ [„každá maličkosť pomáha“ – pozn. prekl.].

Ekonomika úsporných žiaroviek

Snažím sa vyhýbať debatám o ekonomike, v prípade žiaroviek urobím výnimku. Úsporná 20 W žiarovka Osram uvádza tú istú intenzitu svetla ako 100 W klasická žiarovka. Navyše je jej životnosť až 15 000 hodín (alebo 12 rokov pri svietení 3 hodiny denne). Naopak, klasická žiarovka má životnosť približne 1000 hodín. Takže za obdobie 12 rokov máte na výber tieto možnosti (obrázok 9.3): buď kúpite 15 klasických žiaroviek a 1500 kWh elektriny (čo stojí približne 150 £); alebo kúpite jednu úspornú žiarovku a 300 kWh elektriny (čo stojí približne 30 £).

Mal by som čakať, kým doslúži žiarovka, než ju vymením za úspornú?

Zdá sa, že ide o plytvanie, však? Nieкто vynaložil zdroje na výrobu žiarovky; nemali by sme započítať túto pôvodnú investíciu a používať žiarovku až dokonca? Ale ekonomická odpoveď je jasná: *ak budete naďalej svietiť starou žiarovkou, budete vymieňať dobré peniaze za zlé*. Ak nájdete pre úspornú žiarovku uspokojivú náhradu, vymeňte starú žiarovku hneď.

Je vhodné použitie ortuť v kompaktných fluorescenčných žiarovkách? Sú LED žiarovky lepšie ako fluorescenčné?

Podľa výskumníkov budú LED žiarovky ešte úspornejšie ako sú fluorescenčné svetlá. Skontroloval som čísla podľa mojich posledných nákupov: 11 W kompaktná fluorescenčná žiarovka Phillips Genie (obrázok 9.4) má svietivosť 600 lumenov, čo je účinnosť **55 lumenov na watt**; pri klasických žiarovkách je to **10 lumenov na watt**; 1,3 W lampa Omicron s 20 bielymi LED-kami má svietivosť 46 lumenov, čo predstavuje účinnosť **35 lumenov na watt**. Takže táto LED žiarovka je takmer rovnako účinná ako fluorescenčná žiarovka. Priemyselná výroba LED technológie má však ešte možnosti zlepšenia. Životnosť LED žiaroviek je až 50 000 hodín [novšie udávajú až 100 000 hodín – pozn. prekl.], osemnásobne viac ako v prípade fluorescenčných žiaroviek. Pri písaní týchto riadkov vidím, že www.cree.com predávajú LED žiarovky s energiou **100 lumenov na watt**. V budúcnosti sa predpokladá, že biele LED-ky budú mať účinnosť až 150 lumenov na watt [ynjzej]. Očakávam, že v priebehu nasledujúcich pár rokov a to z pohľadu energetickej účinnosti, ako aj z pohľadu zníženia znečistenia ortuťou, bude znieť odporúčanie jednoznačne v prospech LED žiaroviek.



Obrázok 9.3. Celkové kumulatívne náklady používania tradičnej 100 W žiarovky pri 3 hodinách svietenia, v porovnaní s okamžitým nahradením žiarivkou Osram Dulux Longlife (na obrázku). Predpoklady: cena elektriny 10 pencí za kWh; výmena tradičnej žiarovky stojí vždy 45 pencí; úsporná žiarivka stojí 9 £. (Viem, že ich možno kúpiť aj lacnejšie, ale graf ukazuje, že aj pri tejto cene sú oveľa ekonomickejšie.)



Obrázok 9.4. Philips 11 W vedľa Omicron 1,3 W LED žiarovky.

Mýty

„Nemá význam prejsť na svetlá šetriace energiu. „Vyplytvaná“ energia, ktorú vydávajú, ohrieva môj dom, takže nie je vyplytvaná.“

Tomuto mýtu sa venuje kapitola 11, strana 71.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

- 57 *V skutočnosti pouličné svetlá spotrebujú približne 0,1 kWh/d na osobu...* Na desať obyvateľov pripadá asi 1 sodíková pouličná lampa, každá so spotrebou 100 W, zapnutá 10 hodín denne. To je 0,1 kWh za deň na osobu.
- *...a dopravné svetlá iba 0,005 kWh/d na osobu.* Británia má 420 000 dopravných a peších signalizačných svetiel, čo spotrebuje 100 miliónov kWh elektrickej energie za rok. Pri rozdelení 100 miliónov kWh za rok medzi 60 miliónov obyvateľov je to 0,005 kWh/d na osobu.
 - *Je menej osvetlených značiek ako pouličných svetiel.* [www.highwayelectrical.org.uk] V Británii je 7,7 milióna svetelných jednotiek (pouličných svietidiel, osvetlených značiek a dopravných majáčikov. Z nich asi 7 miliónov pripadá na pouličné svetlá a 1 milión na osvetlenie cestných značiek. Máme 210 000 dopravných signálov. Podľa DUKES, 2005, je celkový výkon verejného osvetlenia 2095 GWh/rok, čo zodpovedá 0,1 kWh/d na osobu.
 - *generátor s 55 % účinnosťou* – zdroj: en.wikipedia.org/wiki/Alternator. Generátory v elektrárnach sú oveľa účinnejšie pri premene mechanickej práce na elektrinu.

Typ žiarovky/ žiarivky	účinnosť (lumeny/W)
Žiarovková	10
Halogénová	16-24
Biela LED	35
Kompaktná fluorescenčná	55
Veľká fluorescenčná	94
Sodíková pouličná	150

Tabuľka 9.5. Účinnosť svietenia komerčne dostupných svetiel. V budúcnosti by mali biele LED-ky zabezpečiť 150 lumenov na jeden watt.

10 Vietor z morí

Morská veterná elektrárň London Array bude znamenať kľúčový príspevok k naplneniu cieľov obnoviteľnej energie Británie.

James Smith, predseda Shell UK

Elektrická energia je príliš dôležitá na to, aby slúžila veternému priemyslu ako program na vytváranie pracovných miest.

David J. White

Nad morom vanú silnejšie a stabilnejšie vetry ako nad pevninou, takže morské veterné elektrárne dodávajú viac energie na jednotku plochy ako pevninské veterné elektrárne. Veterná elektrárň Kentish Flats v ústí rieky Temža, približne 8,5 km od miest Whistable a Herne Bay, ktorý je v prevádzke od konca roku 2005, mal podľa predpokladov vyrábať 3,2 W/m² výkonu. V roku 2006 dosiahol priemerný vyrobený výkon 2,6 W/m².

Budem predpokladať, že hustota výkonu 3 W/m² (teda o 50 % viac ako náš výpočet pre vietor nad pevninou) je vhodný odhad pre morské veterné elektrárne v okolí Británie.

Teraz potrebujeme odhad plochy mora, ktorú je teoreticky možné pokryť veternými turbínami. Zvykne sa rozlišovať medzi turbínami v *plytkých* a *hlbokých* moriach, tak ako ukazuje obrázok 10.2. Všeobecne sa udáva, že turbíny v *plytkých* moriach (s hĺbkou do 25 - 30 metrov), hoci sú dvojnásobne drahšie ako turbíny na pevnine, sú ekonomicky návratné, ak uvažujeme o miernej finančnej dotácii; a turbíny v *hlbokých* oceánoch v súčasnosti nie sú ekonomicky návratné. V roku 2008 existoval iba jeden experimentálny prototyp takejto veternej elektrárne, ktorá všetku vyrobenú elektrickú energiu posielala k neďalekej ropnej veži s názvom Beatrice.

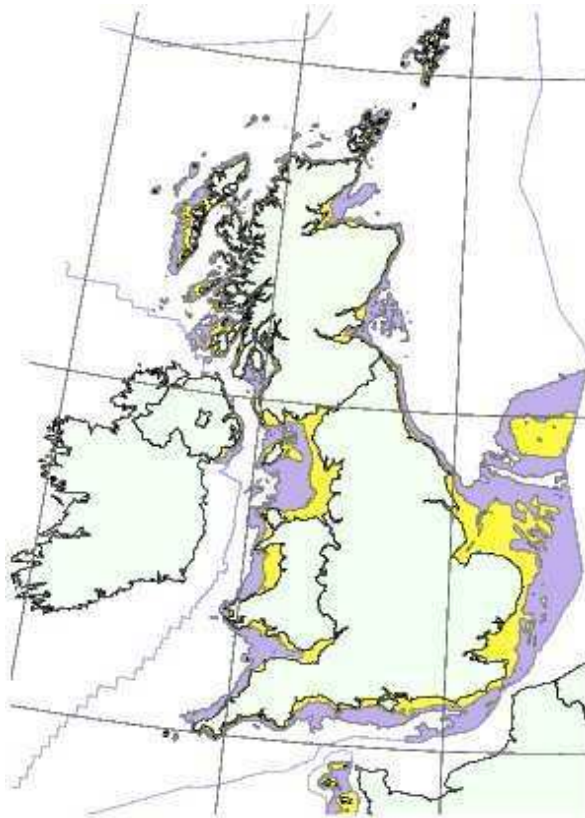
Plytké moria

V rámci britských teritoriálnych vôd pokrývajú plytké moria približne 40 000 km² – väčšina z toho je pri pobreží Anglicka a Walesu. Ide o plochu dvojnásobne väčšiu ako má Wales.

Priemerný možný výkon z turbín v plytkých oceánoch na celej ich ploche by bol 120 GW, alebo 48 kWh/d na osobu. Avšak ťažko sa možno domnievať, že by takáto zástavba neprekážala lodnej doprave. Som si istý, že veľká časť z tejto plochy by bola pre veterné elektrárne nepoužiteľná; navrhujem, aby sme uvažovali o jednej tretine z tohto priestoru (ale prosím, pozrite aj poznámky na konci tejto knihy pre pesimistickejší pohľad!). Takže maximálny možný výkon z veterných turbín v plytkých moriach je 16 kWh za deň na osobu.



Obrázok 10.1. Kentish Flats – morská veterná elektrárň v plytkom mori. Každý rotor má priemer 90 m so stredom vo výške 70 m. Každá „3MW“ turbína má hmotnosť 500 ton, pričom polovica z nej je v základoch. Fotografie © Elsam (elsam.com). Použité s povolením.



Obrázok 10.2. Britské teritoriálne vody s hĺbkou menej ako 25 m (žltá) a hĺbkou medzi 25 m a 50 m (fialová). Údaje sú z DTI Atlasu obnoviteľných morských zdrojov. © Crown copyright.



Skôr, ako sa dostaneme ďalej, rád by som zdôraznil veľkú plochu – až dve tretiny Walesu – ktorú by sme potrebovali na výrobu 16 kWh/d na osobu. Ak by sme zobrali celé pobrežie Británie (dĺžka 3000 km) a do šírky 4 km rozostavali turbíny, pokryli by sme nimi plochu 13 000 km². To je plocha, ktorú musíme zastavať, ak chceme dodať 16 kWh/d na osobu. Ešte inak, uvažujme o počte turbín. 16 kWh/d na osobu nám zabezpečí 44 000 troj megawattových turbín, čo znamená 15 turbín na kilometer pobrežia, ak by boli rovnomerne rozostavané okolo 3000 km pobrežia.

Stavba morských veterných turbín je náročná pre korozívny vplyv morskej vody. Veterná elektrárň Horns Reef v Dánsku má 80 turbín. Všetky je nutné rozobrať a vymeniť už po 18 mesiacoch vystavenia morskému vzduchu. Turbíny v Kentish Flats čelia podobným problémom s prevodovkami, tretina z nich potrebovala náhradu v priebehu 18 mesiacov.

Hlboké moria

Rozloha morí s hĺbkou medzi 25 - 50 m je približne 80 000 km² – teda rozloha Škótska. Pri predpoklade hustoty výkonu 3 W/m² by hlbokomorské veterné elektrárne mohli vyrábať ďalších 240 GW, alebo 96 kWh/d na osobu, ak by sme turbínami vyplnili celú túto oblasť. Musíme myslieť na koridory pre lode. Znovu predpokladám, že na turbíny môžeme využiť jednu tretinu tejto rozlohy; v tom prípade ide o oblasť o 30 % väčšiu ako Wales a väčšina sa nachádza od pobrežia vo vzdialenosti väčšej ako 50 km. Výsledok: ak by sme zastavali turbínami plochu širokú 9 km

okolo celého pobrežia, získali by sme **32 kWh za deň na osobu**. Obrovské množstvo energie, áno; ale stále nie dosť na to, aby sa to rovnalo našej obrovskej spotrebe. A to sme ešte nespomínali problém nestálosti vetra. Vrátime sa k tomu v kapitole 26.

Zahrniem potenciál hlbokomorských veterných elektrární do stĺpca produkcie, majúc na pamäti, ako som už spomenul, že experti na veternú energiu ju zatiaľ nepovažujú za ekonomicky zmysluplnú.

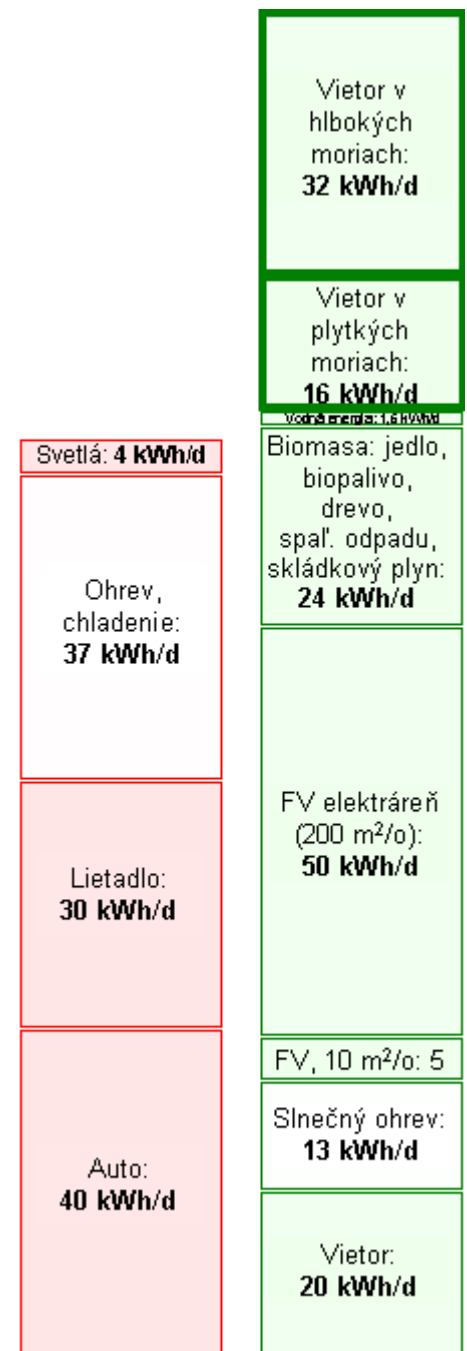
Niektoré porovnania a náklady

Takže ako to priebežne vyzerá v súťaži spotreby a výroby? Ak pridáme oboje, teda vietor z plytkých aj hlbokých morí do stĺpca výroby, zelený stĺpec vedie. Niečo by som však v tejto súvislosti rád pripomenul a to rozpor: aké *jednoduché* je zvýšiť stĺpec na strane spotreby a aké *ťažké* je pridávať na strane výroby. Pri písaní tohto odstavca mi je pomerne chladno, takže zvyšujem výkon svojho termostatu. Nemám problém zvýšiť spotrebu energie o 30 kWh denne. Ale získanie ďalších 30 kWh denne na osobu z obnoviteľných zdrojov vyžaduje priemyselné využitie životného prostredia v takom rozsahu, že je ťažko možné si to predstaviť.

Aby sme dodali 48 kWh za deň z hlbokomorských veterných parkov každému obyvateľovi Británie, potrebovali by sme **60 miliónov ton betónu a ocele** – jednu tonu na obyvateľa. Ročná svetová produkcia ocele je asi 1200 miliónov ton, teda 0,2 tony na obyvateľa. V priebehu druhej svetovej vojny americké lodenice postavili 2751 lodí Liberty, každá z nich potrebovala 7000 ton ocele – to je dokopy 19 miliónov ton ocele, alebo 0,1 tony na Američana. Takže postaviť 60 miliónov ton veterných turbín nie je nedosiahnuteľné; ale nemyslite si, že je to jednoduché. Postavenie toľkých veterných turbín vyžaduje toľko námahy ako postavenie lodí Liberty.

Na porovnanie, aby sme získali 48 kWh za deň z jadrovej energie na osobu v Británii, potrebovali by sme **8 miliónov ton ocele a 140 miliónov ton betónu**. Môžeme tiež porovnať 60 miliónov ton hlbokomorských turbín, ktoré sa snažíme si predstaviť, s existujúcou infraštruktúrou na fosílné palivá, ktorá už v Severnom mori existuje (obrázok 10.4). V roku 1997, 200 inštalácií a 7000 km potrubí v britských vodách Severného mora obsahovalo **8 miliónov ton ocele a betónu**. Novovytvorený plynovod Langed medzi Nórskom a Britániou, ktorý bude viesť plyn s kapacitou 25 GW (10 kWh/deň/osobu), spotreboval ďalší **1 milión ton ocele a 1 milión ton betónu** (obrázok 10.5).

Britská vláda oznámila 10. decembra 2007, že povolí vybudovanie veterných morských turbín s 33 GW kapacitou (čo by znamenalo v priemere 10 GW pre Britániu, alebo 4,4 kWh/d na osobu), plán, ktorý niektorí zasvätení veterného priemyslu nazývajú „vzdušným zámkom“. Predpokladajme zaokrúhlené číslo 4 kWh za deň na osobu. To predstavuje jednu štvrtinu môjho odhadu pre turbíny v plytkých moriach 16 kWh na osobu za deň. Aby sme získali tento priemerný výkon, potrebujeme približne 10 000 „3 MW“ veterných turbín, takých ako je tá zobrazená na



Obrázok 10.3. Vietor z morí.

obrázku 10.1. (ich kapacita je „3 MW“, ale v priemere dodávajú 1 MW. „3 MW“ dávam do úvodzoviek, aby bolo zrejmé, že ide o kapacitu, teda maximálny inštalovaný výkon.)

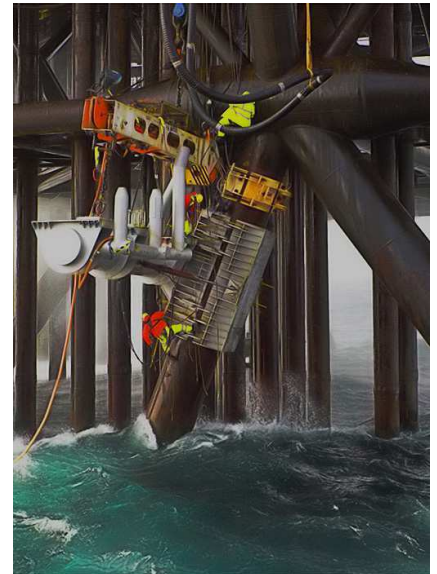
Koľko by stálo vybudovanie týchto „33 GW“ výkonu? No, „90 MW“ elektrárň Kentish Flats stála 105 miliónov libier, takže „33 GW“ by stálo približne 33 miliárd libier. Jeden spôsob, ako priblížiť cenu 33 miliárd libier z vetra so ziskom 4 kWh/d na osobu, je rozdeliť ju na každého obyvateľa Británie; to znamená 550 libier na osobu. To je, aby som nezabudol, oveľa lepší obchod ako stavba mikroturbín. Inštalácia mikroturbíny na strechu dnes stojí 1500 libier a, aj pri predpoklade veľmi optimistickej priemernej rýchlosti vetra 6 m/s, získame iba 1,6 kWh/d. V skutočnosti v typickom mestskom prostredí Británie takéto mikroturbíny dodávajú 0,2 kWh/d.

Ďalším problémom brániacim inštalácii veterných turbín je potreba špeciálnych lodí. Na zdvihnutie 10 000 veterných turbín („33 GW“) v priebehu 10 rokov by sme potrebovali zhruba 50 zdvižných nákladných lodí. Každá z nich stojí približne 60 miliónov libier, takže by bola potrebná dodatočná investícia 3 miliardy libier. To nie je prekážka v porovnaní s už spomínanými 33 miliardami libier, určite ale ide o detail, ktorý vyžaduje nejaké plánovanie dopredu.

Platia vtáky privysokú daň?

Zabíjajú turbíny „obrovské počty vtákov“? Veterným elektrárnám sa nedávno dostalo nepríjemnej publicity z Nórska, kde veterné turbíny na ostrovoch Smola, blízko severozápadného pobrežia, zabili 9 orliakov morských (*Haliaeetus albicilla* – pozn. prekl.) v priebehu 10 mesiacov. Zdieľam obavy organizácie BirdLife International o blaho vzácnych vtákov. Ale domnievam sa, že vždy je dôležité pozrieť sa na čísla. Odhaduje sa, že veterné turbíny vyrábajúce 9 % elektriny ročne zabijú v Dánsku 30 000 vtákov. Horor! Zakážte veterné turbíny! Avšak vieme tiež, že *doprava* každoročne zabije v Dánsku *jeden milión* vtákov, teda 30-násobne väčší horor! 30-násobne väčší tlak na zakázanie automobilov! A len v samotnej Británii zabijú *mačky* 55 miliónov vtákov (obrázok 10.6). [Toto porovnanie nie je celkom správne, pretože turbíny ohrozujú najmä vzácne druhy dravcov či netopierov, mačky pre tieto druhy hrozbou určite nie sú – pozn. prekl.].

Ak by som sa riadil iba emóciami, tak by som rád žil v krajine bez áut, bez veterných turbín, s množstvom mačiek a vtákov (a mačky by lovili vtáky a orliaky morské z Nórska by zasa lovili tieto mačky, aby udržali rovnováhu). V čo však naozaj dúfam je, že rozhodnutia o autách a turbínach sa uskutočňujú po pozorných a racionálnych úvahách, nie iba na základe emócií. Možno veterné turbíny potrebujeme!

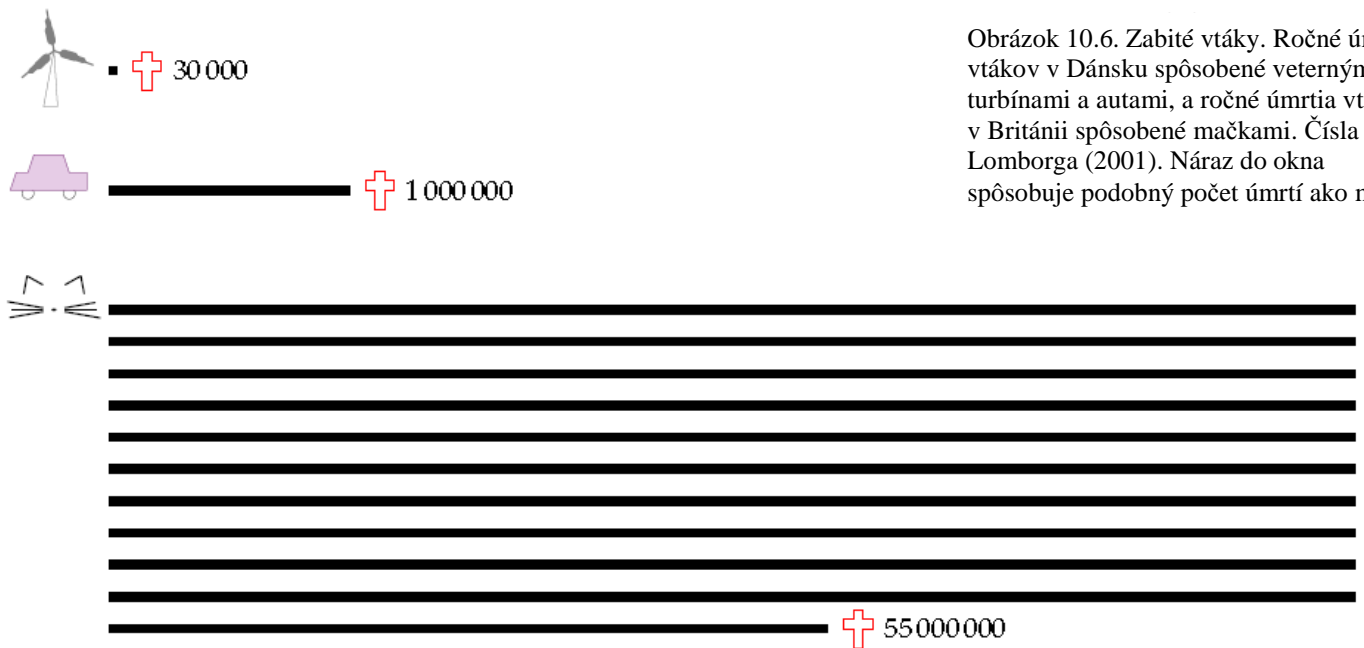


Obrázok 10.4. Plošina Magnus v severnom britskom sektore obsahuje 71 000 ton ocele. V roku 2000 táto plošina vyťažila 3,8 milióna ton ropy a plynu – výkon 5 GW. Stála 1,1 miliardy libier.

Fotografie Terry Cavner



Obrázok 10.5. Rúry pre Langeled. Od Bredero-Shaw [brederoshaw.com].



Obrázok 10.6. Zabité vtáky. Ročné úmrtia vtákov v Dánsku spôsobené veternými turbínami a autami, a ročné úmrtia vtákov v Británii spôsobené mačkami. Čísla podľa Lomborga (2001). Náraz do okna spôsobuje podobný počet úmrtí ako mačky.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

60 *Veterná elektrárň Kentish Flats v ústí rieky Temža....*

Pozri www.kentishflats.co.uk. Jej 30 veterných turbín V90 Vestas má celkový maximálny výkon 90 MW a predpokladaný priemerný výkon 32 MW (s predpokladanou využitelnosťou 36 %). Priemerná rýchlosť vetra vo výške rotačnej osi je 8,7 m/s. Turbíny stoja v 5 m hlbkej vode, vo vzdialenosti 700 metrov od seba, na ploche 10 km². Hustota výkonu tejto elektrárne tak bola odhadovaná na 3,2 W/m². V skutočnosti je priemerný výkon 26 MW, takže priemerná využitelnosť v roku 2006 bola 29 % [wbd8o]. To zodpovedá priemernej energetickej hustote 2,6 W/m². Veterná elektrárň North Hoyle pri Prestatyn v severnom Walese mala v roku 2006 vyššiu 36 % využitelnosť. Jej tridsať 2 MW turbín sa rozprestiera na území 8,4 km². Priemerná hustota výkonu teda bola 2,6 W/m².

- *zatiaľ čo turbíny v plytkých moriach sú dvojnásobne drahšie ako turbíny na pevnine, sú ekonomicky zmysluplné, ak uvažujeme o miernej finančnej dotácii.* Zdroj: Dánska spoločnosť pre vietor windpower.org
- *avšak turbíny v hlbokých oceánoch v súčasnosti nie sú ekonomicky zmysluplné.* Zdroj: dokument Britskej spoločnosti pre veternú energiu, september 2005, www.bwea.com. Napriek tomu projekt hlbokomorských veterných turbín v roku 2007 vztýčil dve turbíny blízko ropného poľa Beatrice, 22 km od východného pobrežia Škótska (obrázok 10.8). Každá turbína má „kapacitu“ 5 MW a stojí v 45 m hlbkej vode. Výška rotačnej osi: 107 metrov; priemer 126 m. Všetku vyrobenú elektrinu využijú ropné plošiny. Nie je to úžasné? 10 MW projekt stál 30 miliónov libier – túto cenu troch 3

Región	hĺbka 5 až 30 metrov		hĺbka 30 až 50 metrov	
	plocha (km ²)	potenciálny zdroj (kWh/d/o)	plocha (km ²)	potenciálny zdroj (kWh/d/o)
Severo-západ	3 300		6 2 000	4
Greater Wash	7 400		14 950	2
Ústie Temže	2 100		4 850	2
Ostatné	14 000		28 45 000	87
SPOLU	27 000		52 49 000	94

Tabuľka 10.7. Potenciál výroby veternej energie v oceánoch na strategických územiach, ak by tieto územia boli *úplne pokryté* veternými turbínami. Podľa Ministerstva obchodu a priemyslu (2002b).

libier za watt (pri plnom výkone) môžeme porovnať s Kentish Flats, 1,2 libier za watt (105 miliónov libier za 90 MW). <http://www.beatricewind.co.uk/>

60 *Plocha dostupná pre turbíny na mori.*

Ministerstvo pre obchod a priemysel (DTI) v dokumente z roku 2002 „Budúcnosť morských turbín“ prináša detailný popis oblastí, vhodných pre veterné turbíny na moriach. Tabuľka 10.7 ukazuje odhadované zdroje na ploche 76 000 km² plytkých a hlbokých morí. Ich odhadovaný príspevok v prípade, že tieto oblasti sú turbínami zastavané *úplne*, je 146 kWh/d na osobu (52 kWh/d/o pochádza z plytkých a 94 kWh/d/o z hlbokých morí.) Ale potenciálny odhad ministerstva pre veterné turbíny v moriach je iba **4,6 kWh za deň na osobu**. Mohlo by byť zaujímavé opísať, ako prišli z pôvodných 146 kWh/d na osobu k 4,6 kWh/d na osobu. Prečo je ich konečný výpočet o toľko nižší ako náš? Po prvé, uvažujú o týchto limitoch: oblasť musí ležať do vzdialenosti 30 km od pobrežia a byť hlboká menej ako 40 m; morské dno nesmie mať väčší sklon ako 5 stupňov; lodné cesty, vojenské zóny, potrubia, rybárske oblasti a chránené územia sú vylúčené. Po druhé, predpokladali, že bude možné využiť iba 5 % potenciálnych miest (v dôsledku zloženia morského dna a projektových obmedzení); znížili kapacitu o 50 % pre všetky lokality menej ako 16 km od pobrežia, aby ich prijala pre verejnosť; ďalej znížili kapacitu lokalít s rýchlosťou vetra nad 9 m/s o 95 %, aby započítali vplyv „vývojových bariér v dôsledku nepriaznivých podmienok;“ a v lokalitách s priemernou rýchlosťou vetra 8 – 9 m/s znížili ich kapacitu o 5 %.

61 *...ak by sme zobrali celé pobrežie Británie (dĺžka: 3000 km) a do šírky 4 km rozostavali turbíny...* Pedant poznamená, že „pobrežie Británie nemá presne definovanú dĺžku, pretože pobrežie je fraktál.“ Áno, áno, je to fraktál. Ale, drahý pedant, prosím, zober si mapu a rozprestri pás turbín do šírky 4 km okolo pevniny Británie a uvidíš, že tvoj pás je naozaj dlhý 3000 km.

- *Horns Reef* (Horns Rev). Ťažkosti s touto „160 MW“ dánskou veternou elektrárnou pri Jutlande [www.hornsev.dk] opisuje Halkema (2006). Keď funguje, jeho využiteľnosť je 0,43 a priemerný výkon na jednotku plochy je 2,6 W/m².

62 *Lode Liberty* -

<http://www.liberty-ship.com/html/yards/introduction.html>

62 *infraštruktúra pre fosílna palivá v Severnom mori obsahovala 8 miliónov ton ocele a betónu* – Rice a Owen (1999).

- *Britská vláda oznámila 10. decembra 2007, že povolí vybudovanie morských turbín s 33 GW kapacitou...* [25e59w].

- ...“vzdušný zámok“. Zdroj: Guardian [2t2vjq].

63 *Kolko by stálo vybudovanie týchto „33 GW“ výkonu?* Podľa DTI z novembra roku 2002 elektrina z turbín v oceánoch stála približne 50 libier za MWh (5 pencí za kWh) (DTI, 2002b, strana 21). Ekonomické faktory sa však menia a cena vetra sa zjavne zdvihla: Firma Shell stiahla svoj záväzok postaviť elektrárňu London Array. Je to preto, lebo turbíny v moriach sú také drahé, že vláda musí zvýšiť počet ROC (certifikátov záväzkov obnoviteľnej energie) na jednotku morskej veternej energie. ROC je jednotka dotácie pre určitý typ výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov. Štandardná hodnota ROC je 45 libier, s 1 ROC na MWh, takže s predajnou cenou približne 40 £/MWh dostanú obnoviteľné generátory 85 libier za MWh. Takže jeden ROC na MWh nie je dostatočne veľká dotácia na pokrytie nákladov 92 libier na jeden MWh. V tom istom dokumente sú odhady pre ostatné zdroje obnoviteľnej energie (stredné odhady v roku 2010) nasledujúce. Vietor na pobreží: 65 – 89 £/MWh; spolu spaľovanie biomasy: 53 £/MWh; veľké vodné elektrárne: 63 £/MWh; skládkový plyn: 38 £/MWh; solárna FV: 571 £/MWh; energia vln: 196 £/MWh; prílivová energia: 177 £/MWh.

„Dale Vince, generálny riaditeľ spoločnosti Ecotricity poskytujúcej zelenú energiu, zapojenej v projekte stavby veterných turbín na pevnine, povedal, že podporuje plány [turbín v moriach] vlády, ale iba ak nekonkurujú turbínam na pevnine. „Je nebezpečné prehliadať fantastické zdroje, ktoré máme v tejto krajine... Podľa našich odhadov by stálo okolo 40 miliárd libier postavenie 33 GW veternej energie z oceánov, ktoré presadzuje Hutton. My môžeme urobiť to isté na pevnine za 20 miliárd libier.“ [57984r]

- *V typickom mestskom prostredí Británie takéto mikroturbíny dodávajú 0,2 kWh/d.* Zdroj: Tretia medziročná správa, <http://www.warwickwindtrials.org.uk/2.html>. Najlepšie výsledky podľa štúdie Warwick Wind Trials je Windsave WS1000 (1 kW turbína) v Daventry, upevnená vo výške 15 m nad zemou, dodávajúca v priemere 0,6 kWh/d. Avšak niektoré mikroturbíny dodávajú iba 0,05 kWh za deň – Zdroj: Donnachadh McCarthy: „Môj rok bez uhlíka“, *The Independent*, December 2007 [6oc3ja]. Veterná turbína WS1000, ktorú v Británii možno kúpiť v obchodoch B&Q, vyhrala cenu Ecobollock [niečo ako „Ekohlupák“ – pozn. prekl.] od Marka Brinkleyho, autora knihy *Housebilder's bible*: “No tak, je čas priznať, že priemysel vyrábajúci veterné turbíny na strechy domov je úplné fiasko. Peniaze sa s dobrým úmyslom investovali do nápadu, ktorý nefunguje. Toto je skoro ako neúspech Sinclair C5 z 90-tych rokov.” [elektrický tricikel, ktorý mal v UK finančný neúspech – pozn. prekl.] [5soql2]. Met Office [Meteorologická služba Británie – pozn. prekl.] a Carbon Trust publikovali v júli 2008 správu [6g2jm5], ktorá odhaduje, že ak by sa nainštalovali mikroturbíny na všetky domy, kde je to v Británii ekonomické, dokopy by vyrábali zhruba 0,7 kWh/d/o. Podľa nich sú veterné turbíny pripevnené na strechách domov v mestách zväčša ešte horšie ako neúčinné: „V podmienkach mnohých miest nemusia turbíny na strechách vrátiť množstvo emisií CO₂ spojených s ich výrobou, inštaláciou a existenciou.“



Obrázok 10.8. Stavba Beatrice, ukážka veternej elektrárne v hlbokých moriach. Fotografie poskytla Talisman Energy (UK) Limited.



Obrázok 10.9. Kentish Flats. Fotografie © Elsam (elsam.com). Použité s povolením.

63 Každá zdvižná nákladná loď stojí 60 miliónov libier. Zdroj: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/magazine/7206780.stm>. Odhadol som, že by sme ich potrebovali zhruba 50 za predpokladu, že by bolo k dispozícii 60 vhodných pracovných dní každý rok a že zdvihnutie jednej turbíny by trvalo 3 dni.

Ďalšie zdroje: Britská databáza veternej energie [www.bwea.com/ukwed/].

11 Elektrické spotrebiče

Nabíjačky mobilných telefónov predstavujú jedno z najväčších nebezpečenstiev spoločnosti. Správy BBC nás o tomto probléme informovali od roku 2005:

„Všetky jadrové elektrárne budú za pár rokov odstavené. Ako dokážeme v Británii svietiť aj naďalej? ...**vytiahnite svoj nabíjačku mobilného telefónu, keď ho nenabíjate.**“

Nanešťastie ani o rok neskôr sa Británia nepoučila a BBC musela konštatovať:

„**Súť až v plytvaní energie vyhráva Británia.**“

Ako na to prišli? Podľa BBC je to preto, že:

„65 % britských spotrebiteľov necháva nabíjačky v zástrčkách.“

Podľa spôsobu, akým spravodajcovia hovoria o týchto planéty ničiacich čiernych krabičkách, je jasné, že toto zlo sa vyrovná samotnému Darth Vaderovi [záporná postava Hviezdnych vojen – pozn. prekl.] Ale aké zlo presne?

V tejto kapitole zistíme, aká je pravda o nabíjačkách. Pozrieme sa tiež na ich príbuzných v dlhom zástupe iných spotrebičov: počítače, telefóny, televízory. Digitálne veže. Modemy. V tejto kapitole vypočítame energiu potrebnú na ich chod, ale nie energiu potrebnú na výrobu týchto hračiek – tomu sa budeme detailnejšie venovať v kapitole „Výrobky.“

Pravda o nabíjačkách

Keď necháte moderné nabíjačky v sieti bez nabíjania telefónu, spotrebúvajú asi 0,5 wattu. V našich jednotkách to znamená spotrebu výkonu **0,01 kWh za deň**. Pre niekoho, kto má priemernú spotrebu viac ako 100 kWh denne, by rada BBC, *vždy vypnite svoje nabíjačky*, pomohla znížiť spotrebu o jednu stotinu percenta (ak by to teda urobili).

„*Každá maličkosť pomáha!*“

Ja si to nemyslím. Zúrivé vypínanie nabíjačiek je podobné ako zachraňovať Titanik čajovou lyžičkou. Vypnite ich, ale uvedomte si, prosím, aké je to bezvýznamné gesto. Ešte inak:

Všetku energiu, ušetrenú vypnutím nabíjačky na jeden deň, spotrebuje vaše auto počas jazdy za *jednu sekundu*.



Vader

Nabíjačka

Obrázok 11.1. Ničtelia planéty. Nájdi rozdiel.



Obrázok 11.2. Týchto päť nabíjačiek – tri na mobilné telefóny, jedna na vreckový PC, a jedna na laptop – znamenalo menej ako jeden watt na mojom merači spotreby.

Energia, ktorú ušetríte vypnutím nabíjačky na *jeden rok* sa rovná energii jedného horúceho kúpeľa.

Treba pripustiť, že staršie nabíjačky spotrebujú viac ako 0,5 wattu – ak sú na dotyk teplé, pravdepodobne spotrebujú 1 alebo dokonca aj 3 wattu (obrázok 11.3). 3-wattové nabíjačky spotrebujú 0,07 kWh za deň. Myslím, že je dobrý nápad takúto nabíjačku vypnúť – ušetrí vám to 3 libry za rok. Ale neklamte samých seba, že ste tým ušetrili „svoj podiel“. 3 W je iba malý podiel celkovej energetickej spotreby.

Dobre, dosť bolo záchrany Titaniku lyžičkou. Poďme zistiť, kde sa energia spotrebúva naozaj.

Skutočné spotrebiče

Tabuľka 11.4 ukazuje spotrebu výkonu vo wattoch jednotlivých domácich spotrebičov. V prvom stĺpci je spotreba výkonu v zapnutom stave – napríklad ak naše rádio vydáva zvuk. Druhý stĺpec ukazuje spotrebu, keď je spotrebič zapnutý, ale nerobí nič. Obzvlášť ma šokovalo, keď som zistil, že laserová tlačiareň, ktorá, aj keď netlačí, spotrebúva až 17 W – to je rovnaké množstvo ako priemerná mraznička! Tretí stĺpec udáva spotrebu, keď je spotrebič v stave spánku alebo v pohotovostnom „stand-by“ režime. Štvrtý stĺpec ukazuje spotrebu, keď je zariadenie celkom vypnuté, ale stále v zástrčke. Všetku spotrebu udávam vo wattoch – pri prevode na nami používanú jednotku predstavuje 40 W asi 1 kWh/d. Mimochodom, veľmi jednoduchá pomôcka je, že jeden watt denne stojí približne jednu libru za rok (pri predpoklade ceny elektrickej energie 10 pencí za kWh).

Najväčšími žrútkami energie sú počítače, ich monitory a televízory, ktorých spotreba v zapnutom stave sa šplhá až k stovkám wattov. Zábavná elektronika, ako DVD prehrávače alebo stereá počítače dobiehajú a často spotrebujú okolo 10 W. DVD prehrávač môže v obchode stáť iba okolo 20 libier, ak ho však necháte stále zapnutý, stojí vás to ďalších asi 10 libier ročne. Niektoré stereá a počítačové doplnky spotrebúvajú niekoľko wattov aj keď sú vypnuté (vdďaka transformátorom). Aby ste sa ubezpečili, že spotrebič je naozaj vypnutý, treba šnúru vytiahnuť zo zástrčky.

Pohon skrytých zariadení informačného veku

Podľa Jonathana Koomeya (2007) počítačové servery a ich dodatkové zariadenia (klimatizácie, záložné zdroje a podobne) spotrebovali v USA **0,4 kWh za deň na osobu** – o niečo viac ako 1 % celkovej spotreby elektriny v USA. To je údaj z roku 2005, čo je mimochodom dvojnásobne viac ako spotreba v roku 2000, pretože počet serverov narástol z 5,6 milióna na 10 miliónov.



Obrázok 11.3. Tento neefektívny bezdrôtový telefón a jeho nabíjačka spotrebuje 3 W, keď sa nechá v zástrčke. To je **0,07 kWh/d**. Ak je cena elektriny 10 pencí za kWh, potom 3W znamenajú 3 libry za rok.

Spotrebič	Spotreba výkonu (W)		
	zap. a v činnosti	zap. a v standby nečinnosti	vyp.
Počítač a periférne zariadenia:			
počítačová debna	80	55	2
katódový monitor	110		3 0
LCD display	34		2 1
projektor	150		5
laserová tlačiareň	500	17	
Bezdrôtový a káblový modem	9		0,5
laptop	16	9	
prenosný CD prehrávač	2		
rádio-budík	1,1	1	
rádiobudík II	1,9	1,4	
digitálne rádio	9,1		3
kazetový prehrávač	3	1,2	1,2
stereo zosilňovač	6		6
stereo zosilňovač II	13		0
domáce video – zvuk	7	7	4
DVD prehrávač	7	6	
DVD prehrávač II	12	10	5
TV	100		10
videorekordér	13		1
digitálna TV zostava	6		5
hodiny na mikr. rúre	2		
Xbox	160		2.4
Sony Playstation 3	190		2
Nintendo Wii	18		2
záznamník		2	
záznamník II		3	
bezdrôtový telefón		1,7	
nabíjačka mobilu	5	0,5	
vysávač	1600		

Tabuľka 11.4. Spotreba výkonu rozličných prístrojov vo wattoch. 40 W je 1 kWh/d.



Laptop: 16 W Počítač: 80 W



LCD: CRT: 31 W 108 W Tlačiareň: 17 W zap., nečinná



Projektor: 150 W Digitálne rádio: 8 W

Ostatné zariadenia

Vysávač, ktorý používame niekoľko hodín týždenne, spotrebuje približne **0,2 kWh/d**. Kosačka trávy spotrebuje asi **0,6 kWh/d**. Mohli by sme pokračovať, ale domnievam sa, že počítače a zábavná elektronika sú najväčšími spotrebičmi energie vo väčšine domácností.

Záver tejto kapitoly znie: bude dôležité, koľko spotrebičov máte doma a v práci, ale zapnuté spotrebiče v priemernej domácnosti alebo kancelárii dokážu ľahko spotrebovať **5 kW/d**.

Mýty

„Nemá význam vypínať svetlá, televízory alebo nabíjačky v zime. „Vplytvaná“ energia sa mení na teplo, takže nejde o plytvanie.“

Tento mýtus je *pravdivý* v niektorých prípadoch počas zimy, ale vo väčšine prípadov je *nesprávny*. Ak vykurojete váš dom elektrinou pomocou elektrických kozubov alebo teplovzdušných ventilátorov, je to podobné ako vykurovať dom zariadeniami, ktoré spotrebúvajú elektrinu. Ak sa však nachádzate v tejto situácii, mali by ste zmeniť spôsob vykurovania vášho domu. Elektrina je vysoko kvalitná energia a teplo je málo kvalitná energia. *Je plytvaním premieňať elektrinu na teplo*. Aby som bol presný, plytvaním je vyrobiť z elektriny také isté množstvo tepla. Ohrievače na princípe čerpadiel vzduch-vzduch alebo zem-vzduch vyrábajú 3 – 4-krát viac tepla, ako je ich spotrebovaná elektrina. Pracujú ako otočené mrazničky, odčerpávajúce teplo z okolia vášho domu do jeho vnútra (pozri kapitolu 21).

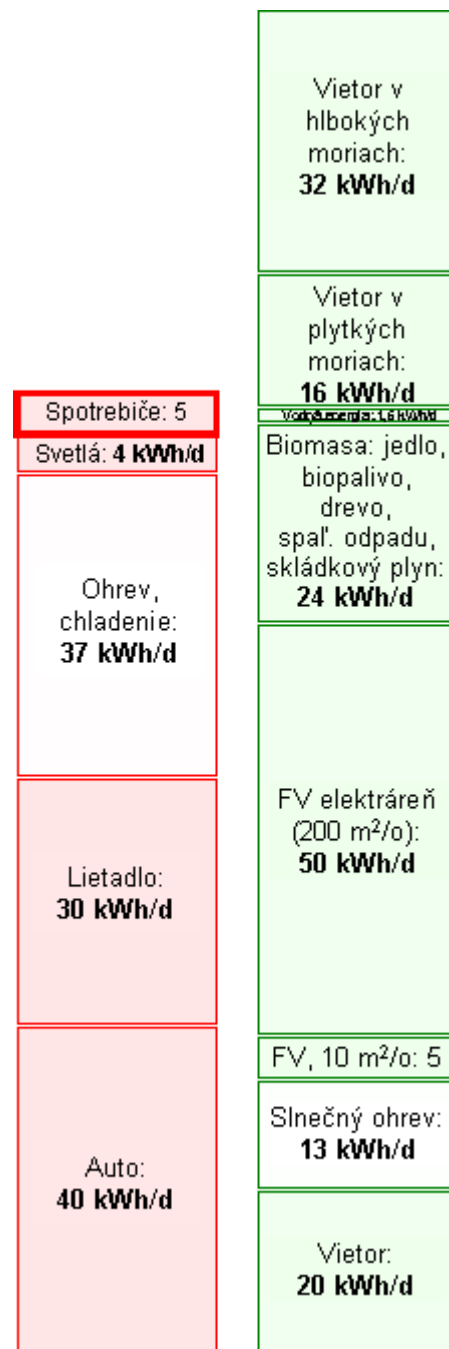
Ostatní, ktorí svoje domy vykurojú fosílnymi palivami alebo biopalivami, urobia dobre, ak nebudú používať elektrické spotrebiče na vykurovanie domov – a to aspoň do chvíle, kým nárast spotreby elektriny zabezpečuje ďalšie spaľovanie fosílnych palív. Lepšie je toto palivo spáliť priamo doma. Pointa je v tom, že ak používate elektrinu z klasickej uhoľnej elektrárne, až polovica energie uhlia sa, bohužiaľ, spotrebuje na chladenie veží. Z energie, ktorá sa premení na elektrinu, sa asi 8 % stratí pri prenose. Ak spálite fosílnu palivo priamo doma, tak sa viac energie využije na vykurovanie vzduchu vo vašom dome.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

68 V správach BBC nás varovali... vypnite nabíjačky zo siete.

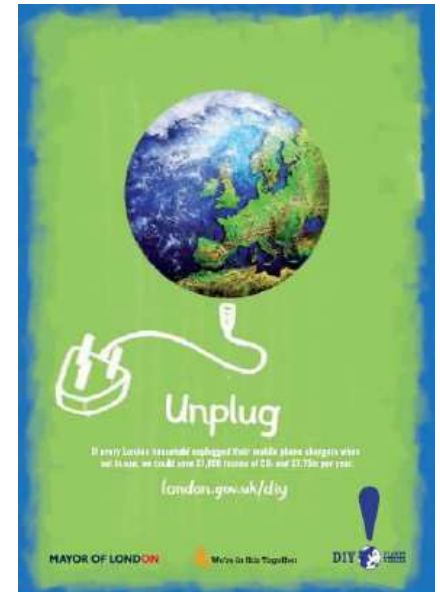
Článok zo správ BBC z roku 2005 hovoril: „jadrové elektrárne budú o niekoľko rokov vypnuté. Ako zabezpečíme dostatok svetla pre Britániu? Tu sú tri možnosti, ako môžete ušetriť energiu: vypnite videorekordér, keď ho nepoužívate; nenechávajte televízory v stave „stand-by“; a vypnite nabíjačku za siete, keď ju nepoužívate.“



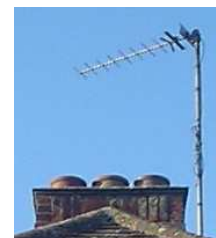
Obrázok 11.5. Počítače a ostatné elektrické spotrebiče.

68 *Keď necháte moderné nabíjačky v sieti bez nabíjania telefónu, spotrebúvajú asi 0,5 wattu.* Merač spotreby energie od Maplina na obrázku 11.2 nie je dostatočne citlivý, aby zmeral takúto spotrebu. Veľmi ďakujem Svenovi Weierovi a Richardovi McMahonovi z Fakulty inžinierstva univerzity v Cambridge, ktorí zmerali štandardnú nabíjačku Nokia pomocou presného kalorimetra; a zistili, že keď nie je pripojený mobil, spotrebuje 0,472 W. Uskutočnili však aj ďalšie zaujímavé meranie: ak je nabíjačka pripojená k plne nabitému telefónu, spotrebuje 0,845 W; a keď nabíjačka plní úlohu, ktorá jej náleží, čiže nabíja čiastočne vybitý mobil Nokia, spotrebuje 4,146 W vo forme tepla. Pedanti sa niekedy pýtajú: „A čo jalový výkon nabíjačky?“ Ide o technický detail, ktorý nie je hodný nášho času. Napriek tomu som zmeral jalový výkon nabíjačky (s podradným meračom) a zistil som, že sa približne rovná 2 VA. Ak vieme, že priemerná strata energie v elektrickej sieti je 8 %, očakávam, že strata energie spojená s jalovým výkonom je najviac 0,16 W. Pri telefonovaní spotrebuje mobil 1 W.

Ďalšie čítanie: Kuehr (2003).



Obrázok 11.6. Reklama v rámci kampane „DIY opravuje planétu“. Text s nápisom „**Vypni**. Ak by každá domácnosť v Londýne vypla svoje nabíjačky telefónov, keď ich nepoužíva, mohli by sme ušetriť 31 000 ton CO₂ a 7,75 mil. £ za rok.“ London.gov.uk/diy/.



12 Vlny

Ak má energia morských vln predstavovať nádej pre nejakú krajinu, musí predstavovať nádej aj pre Britániu a Írsko, lebo z jednej strany ich obmýva Atlantický oceán, z druhej Severné more.

Najprv si ujasnime, ako vznikajú vlny: *vdaka Slnku vzniká vietor a vdaka vetru vznikajú vlny.*

Väčšina energie, ktorá sa dostane na povrch Zeme, zohreje oceány. Takto ohriate vody zohrievajú vzduch nad sebou a uvoľňujú vodné pary. Teplý vzduch stúpa nahor, vo vyšších vrstvách sa ochladí, nakoniec sa zráža a vytvorí mraky a dážď. Na okraji atmosféry sa vzduch ešte viac ochladí mrazom vesmíru. Ochladený vzduch zasa klesá nižšie. Táto slnečná pumpa dáva do pohybu obrovské vzdušné masy, ktoré neustále cirkulujú. Takáto cirkulácia, ktorá z nášho pohľadu prebieha na povrchu, spôsobuje vietor. Vietor je vlastne slnečná energia druhého rádu. Vietor nad oceánom vytvára vlny, ide teda o slnečnú energiu tretieho rádu. (Vlny, ktoré prichádzajú na pláž, nemajú nič spoločné s prílivom.)

Na otvorenom mori vznikajú vlny vždy, keď je rýchlosť vetra vyššia ako 0,5 m/s. Hrebene vln sa pohybujú približne rovnakou rýchlosťou ako vietor nad nimi a v tom istom smere. *Vlnová dĺžka* (vzdialenosť medzi hrebeňmi) a *perióda* (časový odstup medzi hrebeňmi) vln závisí od rýchlosti vetra. Čím dlhšie fúka vietor a čím väčšia je vodná plocha, tým je väčšia *výška* vln. Pretože prevládajúce vetry nad Atlantikom vanú od západu na východ, vlny odtiaľ prichádzajúce sú často veľmi veľké. (Vlny na východnom pobreží Britských ostrovov sú zvyčajne oveľa menšie, takže môj odhad potenciálnej energie z vln bude zameraný na Atlantický oceán.)

Vlny majú dlhú pamäť a cestujú ešte dlho potom, ako prestane fúkať vietor, až kým nenarazia na nejakú prekážku. V moriach, kde fúka vietor z rôznych smerov, vznikajú vlny s rôznymi smermi a navzájom sa prekrývajú.

Ak putujúce vlny narazia na objekt, ktorý pohltí ich energiu – napríklad zástup ostrovov s piesočnatými plážami – potom je hladina za touto prekážkou pokojnejšia. Tieto prekážky vytvárajú tieň, a tak pre vlny, ktoré sa dokážu cez ne dostať, zostáva menej energie. Takže zatiaľ čo slnečné svetlo dodáva energiu na *plochu*, vlny dodávajú energiu na *dĺžku* pobrežia. V tomto prípade sa vlk nenaje tak, aby ovca zostala celá. Nie je možné naplno zachytiť energiu vlny dva kilometre od pobrežia a zároveň aj jeden kilometer od pobrežia. Lepšie povedané, môžete sa o to pokúsiť, ale vzdialenejšie zariadenie bude pohlcovať energiu, ktorá sa tak nedostane k bližšiemu a už sa nestihne doplniť. Vzdialenosť, ktorú potrebuje vietor na vytvorenie vlny, je totiž niekoľko tisíc kilometrov.

K výpočtu maximálneho výkonu, ktorý možno získať z vln, sa dopracujeme tak, že zistíme výkon prichádzajúci na jednotkovú vzdialenosť pobrežia a vynásobíme ho celkovou dĺžkou pobrežia.



Obrázok 12.1. Kolektor energie vln Pelamis je morský had vyrobený zo štyroch častí. Nosom je nasmerovaný na prichádzajúce vlny. Vlny hada naťahujú, a tomuto pohybu odporujú hydraulické generátory. Maximálna energia z jedného hada je 750 kW; v najlepšej lokalite v Atlantiku by jeden had mohol dodať v priemere 300 kW. Fotografia od výrobcu vlnovej energie Pelamis www.pelamiswave.com.

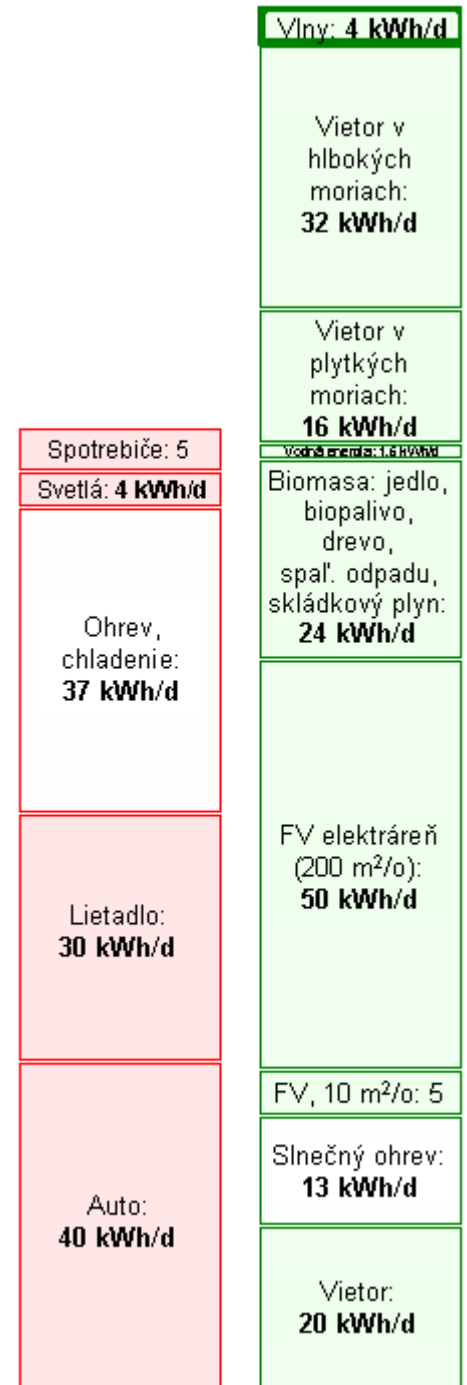
Nebudeme sa zaoberať myšlienkou, akým mechanizmom by sme mohli tento výkon zbierať, prejdeme rovno na celkové získateľné množstvo výkonu.

Energetický výkon vln Atlantiku bol zmeraný: je to približne 40 kW na meter pobrežia. To sa zdá byť dosť! Ak by každý vlastnil jeden meter pobrežia a získal všetkých 40 kW, bolo by to dostatočné množstvo energie aj na súčasné pomery. Avšak *naša populácia je príliš veľká*. Žiaľ, nemáme k dispozícii dostatok atlantického pobrežia, aby na každého vyšiel jeden meter.

Ako ukazuje mapa na strane 73, na Britániu pripadá 1000 kilometrov (milión metrov) atlantického pobrežia, čo znamená 1/60 m na osobu. Takže celkové množstvo energie na jednu osobu je 16 kWh za deň. Ak by sme získali všetku túto energiu, hladina pobrežia Atlantiku by bola pokojná ako na rybníku. Praktické zariadenia však nebudú schopné získať všetku energiu a časť z nej sa nevyhnutne stratí pri premene mechanickej energie na elektrinu. Predpokladajme, že tie najlepšie zariadenia budú mať 50-percentnú účinnosť pri premene energie vln a že ich budeme schopní postaviť pozdĺž 500 km pobrežia Atlantiku. To by znamenalo, že dokážeme získať 25 % z tohto teoretického limitu. To je **4 kWh za deň na osobu**. Ako obvykle, zámerne vychádzam z dosť extrémnych predpokladov pre zvýšenie výroby v zelenom stĺpci – očakávam, že predpoklad, že dokážeme využiť *polovicu pobrežia Atlantiku* zariadeniami využívajúcimi energiu vln sa mnohým čitateľom bude zdať nereálny.

Ako sa zhodujú tieto odhadované čísla s možnosťami súčasnej technológie? V čase písania tejto knihy existovali iba tri zariadenia fungujúce v hlbokých vodách: tri kolektory Pelamis (obrázok 12.1) postavené v Škótsku, a ktoré ležia na pobreží pri Portugalsku. Výsledky o ich výkone neboli zverejnené, ale výrobcovia Pelamisu („skonštruovaného tak, že primárnym cieľom je jeho prežitie, účinnosť výroby energie je až na druhom mieste“) opisujú 2 kilometre dlhú vlnovú elektrárňu, ktorá sa skladá zo 40 morských hadov a získava 6 kW na jeden meter. Ak by sme použili túto hodnotu v predchádzajúcich výpočtoch, množstvo získaného výkonu na 500 kilometrov by kleslo na **1,2 kWh za deň na osobu**. Zatiaľ čo výkon vln môže byť využiteľný v odľahlých komunitách, nedomnievam sa, že by mohol zohrávať významnú úlohu pri hľadaní obnoviteľných zdrojov pre Britániu.

Koľko váži Pelamis a koľko ocele je potreba na ich výstavbu? Jeden had s maximálnym výkonom 750 kW váži 700 ton, vrátane 350 ton balastu. Takže váha ocele je 350 ton. Pomer váhy k výkonu je teda približne 500 kilogramov na kW (maximálneho výkonu). Môžeme to porovnať so spotrebou ocele v prípade turbín v moriach: turbína s maximálnym výkonom 3 MW váži 500 ton, vrátane jej základov. To predstavuje pomer váhy k výkonu 170 kilogramov na kW, o dve tretiny menej ako v prípade Pelamisu. Toto je však prvý prototyp; je možné, že s ďalšími investíciami a vývojom technológie sa tento pomer zníži.



Obrázok 12.1. Vlny.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

73 *na mori vznikajú vlny vždy, keď je rýchlosť vetra vyššia ako 0,5 m/s. Hrebene vln sa pohybujú približne rovnakou rýchlosťou ako vietor nad nimi.* Najjednoduchšia teória vzniku vln (Faber, 1995, str. 337) predpokladá, že (v prípade malých vln) sa vlny pohybujú v porovnaní s vetrom polovičnou rýchlosťou. Na základe pozorovaní však vieme, že čím dlhšie vietor fúka, tým je väčšia dĺžka aj rýchlosť najväčších vln. Typická rýchlosť plne vyvinutej vlny je takmer presne rovnaká ako rýchlosť vetra 20 metrov nad povrchom oceánu (Mollison, 1986).

- *Vlny na východnom pobreží Britských ostrovov sú zvyčajne oveľa menšie.* Zatiaľ čo výkon vln pri meste Lewis (v Atlantiku) je 42 kW/m, výkony na východnom pobreží sú: Peterhead: 4 kW/m, Scarborough: 8 kW/m; Cromer: 5 kW/m. Zdroj: Sinden (2005). Podľa Sindena: „Oblasť Severného mora je na výkon vln veľmi chudobná.“

74 *Výkon vln v Atlantiku je približne 40 kW na meter pobrežia.*

(V kapitole F nájdete výpočet tohto výkonu pri použití niekoľkých známych faktov o vlnách.) Toto číslo má pevný základ v literatúre o výkone vln Atlantiku (Mollison a kol., 1976; Mollison 1986, 1991). Napríklad podľa Mollisona (1986): „Rozsiahla oblasť severovýchodného Atlantiku, od Islandu až po severné Portugalsko má celkové množstvo výkonu 40 - 50 MW/km, z čoho 20 – 30 MW/km je potenciálne možné ekonomicky využiť.“ V ktoromkoľvek bode otvoreného oceánu možno rozlíšiť tri druhy výkonu vyjadreného na plochu: celkový výkon, ktorý prejde cez daný bod vo všetkých smeroch (v priemere 63 kW/m na súostroví Scilly a 67 kW/m pri meste Uist); celkový výkon získaný prerušením prúdenia vody v optimálnom smere (47 kW/m a 45 kW/m); výkon na jednotku pobrežia, ktorý berie do úvahy nesúlad medzi optimálnou orientáciou zberného zariadenia a pobrežia (napríklad v prípade Portugalska je optimálna severná orientácia, skutočná orientácia pobrežia je však západná).

- *Praktické zariadenia však nebudú schopné získať všetku energiu a časť z nej sa nevyhnutne stratí pri premene mechanickej energie na elektrinu.* Prvé takéto zariadenie, Limpet on Islay v Británii, napojené na elektrickú sieť, slúži ako veľmi dobrý príklad. Pri jeho návrhu sa predpokladalo, že účinnosť premeny energie bude 48 % s priemerným energetickým výkonom 200 kW. Avšak straty v zachytňom systéme, zotrvačníkoch a elektronických častiach znamenali skutočný výkon iba 21 kW – teda iba 10 % z predpokladaného výkonu (Wavegen, 2002).



Fotografia Terry Cavner.



13 Jedlo a poľnohospodárstvo

Moderné poľnohospodárstvo je využívanie pôdy k premene ropy na jedlo.

Albert Bartlett

Už sme rozoberali v kapitole 6, koľko trvalo udržateľnej energie by sme mohli z biomasy *vyrobiť*; v tejto kapitole sa zameriame na to, koľko energie nám biomasa *poskytuje* v podobe každodennej potravy.

Priemerne aktívna osoba vážiaca 65 kg skonzumuje denne jedlo s obsahom chemickej energie približne 2600 „Kalórií“. „Kalória“ v prípade jedla znamená v skutočnosti 1000 chemických kalórií (1 kcal). 2600 „Kalórií“ denne je približne 3kWh za deň. Väčšina tejto energie unikne z tela vo forme tepla, takže každý z nás vlastne funguje aj ako „ohrievač“ s výkonom o niečo väčším ako 100 W, čo je žiarovka so stredným výkonom. Umiestnite 10 ľudí do malej studenej miestnosti a môžete vypnúť 1 kW ohrievač vzduchu.

Koľko energie vlastne spotrebujeme, aby sme získali svojich 3 kWh za deň? Ak rozšírime svoje obzory a zahrnieme nevyhnutné náklady na výrobu jedla, potom možno zistíme, že energetická stopa je oveľa vyššia. Záleží na tom, či sme vegáni, vegetariáni, alebo milovníci mäsa.

Vegán má najnižšiu možnú stopu: **3 kWh energie denne** z rastlín, ktoré konzumuje.

Energetické náklady mlieka

Milujem mlieko. Ak vypijem pintu [pol litra – pozn. prekl.] mlieka denne, koľko energie to vyžaduje? Dobrá dojnica vyprodukuje za deň 16 litrov mlieka. Takže môj pol liter mlieka denne vyžaduje 1/32 kravy. Ale počkať – syr mám rád tiež. Konzumácia 50 g syra denne znamená vyrobiť ďalších 450 g mlieka. Dobré: moje mlieko a syr vyžaduje 1/16 kravy. Koľko výkonu potrebujem na chov kravy? No, ak krava s hmotnosťou 450 kg vyžaduje podobné množstvo energie na kilogram hmotnosti ako človek (ktorého 65 kg spotrebuje 3 kWh), potom krava musí spotrebovať 21 kWh/d. Nepáči sa vám takýto prepočet z človeka na kravu? Skontrolujme teda čísla: podľa www.dairyaustralia.com.au chov kravy s hmotnosťou 450 kg spotrebuje 85 MJ/d, čo predstavuje 24 kWh/d. Výborne, náš odhad nebol príliš vzdialený od skutočnosti! Takže môj podiel 1/16 kravy znamená energiu približne **1,5 kWh za deň**. Tento výpočet zanedbáva energiu spojenú so starostlivosťou o kravu, s výrobou či dopravou mlieka a syra. Niektoré z týchto nákladov budeme rozoberať pri doprave a supermarketoch v 15. kapitole.



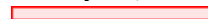
Obrázok 13.1. Šalát Niçoise.

Minimum: **3 kWh/d**



Obrázok 13.2. Minimálne množstvo energie požadované na jednu osobu.

Mlieko a syr: **1,5 kWh/d**



Obrázok 13.3. Mlieko a syr.

Vajíčka

Nosnica (sliepka znášajúca vajíčka) skonzumuje približne 110 g krmiva pre sliepky denne. Ak predpokladáme, že jeho energetický využiteľný obsah je 3,3 kWh na kilogram, sliepka spotrebuje 0,4 kWh denne. Nosnica ročne znesie asi 290 vajíčok. Konzumácia dvoch vajíčok denne teda znamená spotrebu výkonu **1 kWh za deň**. Každé jednotlivé vajíčko obsahuje 80 kcal, čo je približne 0,1 kWh. Takže energetického hľadiska sa vajíčka vyrábajú s účinnosťou 20 %.

Vajíčka: **1 kWh/d**

Obrázok 13.4. Dve vajíčka denne.

Energetické náklady mäsa

Povedzme, že milovník mäsitej stravy skonzumuje denne pol libry 227 g (pol libry) mäsa. (To je priemerná konzumácia mäsa v Amerike.) Na výpočet energetickej náročnosti chovu zvierat potrebujeme vedieť, ako dlho zvieratá žijú a spotrebúvajú energiu. Kuracie, bravčové, alebo hovädzie?

Dáte si kuracie, pane? Každé kurča, ktoré zjete, žilo asi 50 dní. Takže pravidelná konzumácia 227 g kuracieho mäsa denne vyžaduje približne 11,3 kg (25 libier) živých kurčiat, pripravovaných na konzumáciu. A týchto 11,3 kg kurčiat potrebuje energiu.

Bravčové pre dámu? Prasatá žijú dlhšie – možno 400 dní od narodenia až po tanier – takže pravidelná konzumácia asi 227 g bravčového denne vyžaduje asi 90 kg (225 libier) živých prasiat pripravovaných na konzumáciu.

Hovädzie? Produkcia hovädzieho mäsa je najdlhšia. Trvá asi 1000 dní, kým je z kravy plátok mäsa. Pravidelná konzumácia 227 g denne vyžaduje asi 230 kg kravy v živej váhe, pripravovanej na konzumáciu.

Aby sme všetky tieto údaje zhrnuli do jedného čísla, predpokladajme, že zjete 227 g (pol libry) mäsa denne, s rovnakým zastúpením kuracieho, bravčového a hovädzieho. Takýto stravovací návyk znamená neustále udržiavanie 3,6 kg živých kurčiat, 33 kg živých prasiat a 73 kg živých kráv. To je celkovo 110 kg, alebo 170 kg živej váhy zvierat (pretože asi 2/3 zvierat sa využije ako mäso). A ak týchto 170 kg zvierat má podobné energetické nároky ako človek (ktorého 65 kg spáli 3 kWh/d), potom je množstvo výkonu potrebné na zabezpečenie tohto množstva

$$170 \text{ kg} \times \frac{3 \text{ kWh} / \text{d}}{65 \text{ kg}} \cong 8 \text{ kWh/d.}$$

Znovu som predpokladal že fyziológia zvierat je podobná ako u človeka; presnejší výpočet výkonu potrebného na výrobu kuracieho mäsa je uvedený v poznámkach na konci kapitoly. Bez ohľadu na to mi išlo len o približný výpočet a ten je nasledovný. Výkon potrebný na výrobu jedla pre typického konzumenta zeleniny, mliečnych výrobkov, vajec a mäsa je $1,5 + 1,5 + 1 + 8 = 12 \text{ kWh za deň}$. (Denná kalorická hodnota takejto

Mäsožravec: **8 kWh/d**

Obrázok 13.5. Konzumácia mäsa vyžaduje extra energiu, pretože musíme nakŕmiť množstvo zvierat, zoradených pre naše žalúdky.

stravy je 1,5 kWh zo zeleniny; 0,7 kWh z mlieka; 0,2 kWh z vaječ a 0,5 kWh z mäsa – spolu 2,9 kWh za deň.)

Toto číslo nezahŕňa energetické náklady spojené s pestovaním, hnojením, spracovaním, mrazením a transportom jedla. Niektoré z týchto nákladov vypočítame nižšie, niektoré v kapitole 15.

Dá sa na základe týchto výpočtov obhájiť vegetariánstvo ako energeticky výhodná strava? To závisí od toho, kde zvieratá chováme. Vezmime si napríklad strmé kopce a hory Walesu. Mohli by sme krajinu využívať inak ako na pasenie dobytkaj? Buď tieto skalnaté pasienky použijeme na chov oviec, alebo zostanú nevyužitú pre potreby ľudí. Môžete o týchto prírodných zelených svahoch uvažovať ako o biopalivových plantážach bez potreby údržby a o ovciach ako o automatických samoreplikujúcich sa strojach na zber biopalív. Energetické straty procesu sú významné, ale pravdepodobne neexistuje lepší spôsob, ako získať slnečnú energiu z takýchto oblastí. (Nie som si istý, či je tento argument v prospech chovu oviec vo Walese naozaj vhodný: pri zlom počasi sa ovce presunú do nižších oblastí, kde im ako potrava slúži sója a iná potrava dopestovaná za príspevku energeticky náročných hnojív; aké sú teda skutočné energetické náklady? Nevie.) Podobné argumenty možno použiť v prospech konzumácie mäsa v oblastiach ako je buš v Afrike, alebo trávnaté oblasti v Austrálii; v prospech pitia mlieka v Indii, kde sa milióny kráv krmia odpadom z pestovania ryže a kukurice.

Na druhej strane tam, kde sú zvieratá zavreté v kliečkach a krmia sa obilím vhodným pre ľudí, je nepochybne energeticky vhodnejšie nechovať zvieratá pre mäso, ale konzumovať obilie priamo.

Hnojivá a iné energetické náklady v poľnohospodárstve

Energia zabudovaná [alebo viazaná – pozn. prekl.] v európskych hnojivách je približne **2 kWh za deň na osobu**. Podľa správy DEFRA z Warwick university spotrebovalo poľnohospodárstvo v Británii v roku 2005 **0,9 kWh za deň na osobu** na vozový park, prístroje, vyhrievanie (hlavne skleníkov), osvetlenie, vetranie a mrazenie.

Energetické náklady pre Murka, Dunča a Pejka

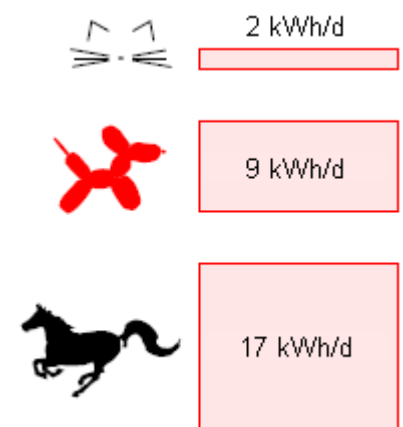
Naši zvierací spoločníci! Staráte sa o mačku, psa, alebo koňa?

V Británii je okolo 8 miliónov mačiek. Predpokladajme, že sa staráte o jednu z nich. Aké sú energetické náklady Murka? Ak skonzumuje 50 g mäsa denne (kuracie, hovädzie alebo bravčové), potom je podľa našich výpočtov výkon potrebný na zabezpečenie tejto potravy **2 kWh za deň**. Vegetariánska mačka by vyžadovala menej.

Podobne ak váš Dunčo skonzumuje 200 g mäsa denne a sacharidy zodpovedajú energii 1 kWh za deň, potom je celkový výkon potrebný na zabezpečenie tejto potravy približne **9 kWh za deň**.



Obrázok 13.6. Ako krmivo spásie energetické plodiny.



Obrázok 13.7. Výkon potrebný pre potravu našich zvieracích spoločníkov.

Váš Pejko váži približne 400 kg a spotrebuje **17 kWh za deň**.

Mýty

Počul som, že energetická stopa jedla je taká veľká, že lepšie je „jazdiť autom ako chodiť.“

Či je to pravda, závisí od vašej stravy. Určite je možné nájsť jedlo, ktorého fosílna energetická stopa je väčšia ako energia dodaná človeku. Napríklad jedno balenie zemiakových lupienkov má zabudovanú energetickú hodnotu 1,4 kWh fosílny energie na kWh skonzumovanej chemickej energie. Zabudovaná energia v mäse je ešte vyššia. Podľa štúdie z Exeterskej univerzity má jedna kWh typickej stravy v sebe 6 kWh zabudovanej energie. Aby sme zistili, či spotrebujeme viac energie na chôdzu alebo jazdu autom, potrebujeme poznať ich účinnosť. Typické auto v kapitole 3 spotrebuje 80 kWh na 100 km. Pri chôdzi spotrebujeme na rovnakú vzdialenosť 3,6 kWh, teda 22-krát menej. Takže ak sa stravujete jedlom, ktorého zabudovaná energia je viac ako 22 kWh na kWh, potom áno, energetické náklady na prepravu z miesta A na miesto B autom na fosílny palivá sú menšie ako chôdza po vlastných. Ak ale konzumujete typickú stravu (6 kWh na kWh), potom je výrok „lepšie jazdiť autom ako chodiť“ mýtus. Chôdza spotrebuje asi o štvrtinu menej energie ako auto.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

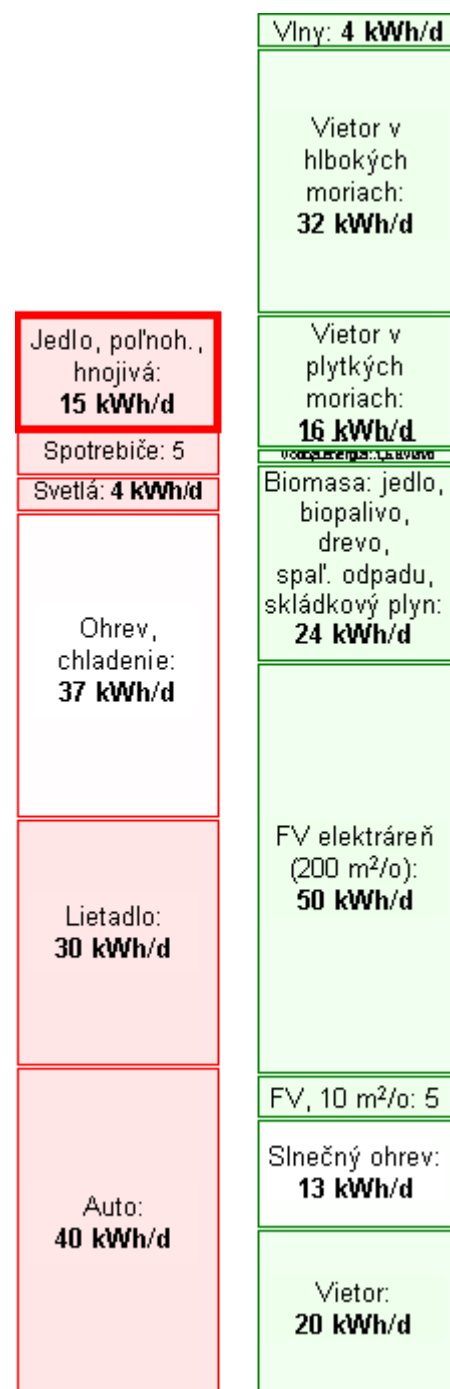
76 *Typická dojná krava vyprodukuje za deň 16 litrov mlieka.* V Británii je 2,3 milióna dojníc, každá z nich vyprodukuje 5900 litrov mlieka za rok. V obchodoch sa predáva polovica všetkého vyprodukovaného mlieka. www.ukagriculture.com, www.vegsoc.org/info/cattle.html

77 *Trvá asi 1000 dní, kým je z kravy plátok mäsa.* 33 mesiacov od narodenia až po bitúnok: 9 mesiacov tehotenstva a 24 mesiacov kŕmenia. www.shabdenparkfarm.com/farming/cattle.htm.

- *Sliepky.* Dospelá sliepka (vo veku 20 týždňov) má hmotnosť 1,5 až 1,6 kg. Jej krmivo obsahuje 2859 kcal na kg, čo je 3,3 kWh na kg a spotreba jej krmiva sa zvyšuje z 340 g týždenne vo veku 6 týždňov na 500 g vo veku 20 týždňov. Keď začne znášať vajčka, spotreba krmiva sa zvýši na 110 g denne.

Energetický obsah kuracieho mäsa je 3,7 kWh na kilogram. Sliepka s typickou hmotnosťou 2 kg spotrebuje 400 - 450 kcal energie denne (t. j. 0,5 kWh/d). Sliepka s hmotnosťou 2,95 kg skonzumuje celkovo 5,32 kg krmiva [5h69fm]. Takže celkové množstvo zabudovanej energie v kuracom mäse je približne 6,7 kWh na kg zvierat'a, alebo 10 kWh na kg zjedeného mäsa.

Ak by som použil toto číslo namiesto môjho hrubého odhadu, energetická spotreba pripadajúca na kuracie maso by bola o niečo vyššia. Ak však všetkému skonzumovanému mäsu dominuje hovädzie, nie je taký problém, že som o málo podhodnotil energetickú spotrebu sliepok. Zdroje: Subcommittee on Poultry Nutrition, National Research Council (1994),



Obrázok 13.8. Jedlo a poľnohospodárstvo.

www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309048923, MacDonald (2008) a
www.statistics.gov.uk/statbase/datasets2.asp.

- 77 *Predpokladajme, že zjete 227 g (pol libry) mäsa denne, s rovnakým zastúpením kuracieho, bravčového a hovädzieho.* To je blízko priemernej konzumácii mäsa v Amerike, ktorá je 251 g za deň – z toho 108 g kuracie, 81 g hovädzie a 62 g bravčové mäso (MacDonald, 2008)
- 78 *Energia zabudovaná [viazaná – pozn. prekl.] v európskych hnojivách je približne 2 kWh za deň na osobu.* V rokoch 1998 -99 bola spotreba hnojív v západnej Európe 1,6 Mt ročne: 10 Mt nitrátov, 3,5 Mt fosfátov a 4,1 uhlíčitánu draselného. Tieto hnojivá majú zodpovedajúcu stopu 21,7; 4,9; 3,8 kWh na kg. Rozdelenie tejto energie medzi 375 miliónov ľudí, to znamená 1,8 kWh na osobu za deň. Zdroje: Gellings a Parmenter (2004), Medzinárodná asociácia výrobcov hnojív (International Fertilizer Industry Association) [IFA – pozn. prekl.] [5pwojp].
- *Poľnohospodárstvo v Británii v roku 2005 spotrebovalo 0,9 kWh za deň na osobu.* Zdroj: Warwick HRI [Horticulture Research International – Záhradnícky medzinárodný výskum – pozn. prekl.] (2007).
- 79 *Balenie zemiakových lupienkov má zabudovanú energetickú hodnotu 1,4 kWh fosilnej energie na kWh skonsumovanej chemickej energie.* Túto energiu som vypočítal na základe uhlíkovej stopy jedného balenia: 75 g CO₂ pre štandardné 35 g balenie [5bj8k3]. Z tejto stopy pripadá 44 % na pestovanie, 30 % na spracovanie, 15 % na balenie, 11 % na dopravu a spracovanie odpadu. Chemická energia dodaná zákazníkovi je 770 kJ. Takže toto jedlo má uhlíkovú stopu 350 g na kWh. Ak predpokladáme, že väčšina uhlíkovej stopy pochádza z fosílnych palív, t. j. 250 g na kWh, energetická stopa lupienkov je 1,4 kWh fosilného paliva na kWh skonsumovanej chemickej energie.
- *kWh typickej stravy má v sebe 6 kWh zabudovanej energie.* Coley (2001) odhaduje zabudovanú energiu typickej stravy na 5,75 násobok dodanej energie. Chôdza má priemernú uhlíkovú stopu 42 g/km; bicyklovanie 30 g/km. Na porovnanie, jazda priemerným autom emituje 183 g/km.
 - *Pri chôdzi spotrebujeme na rovnakú vzdialenosť 3,6 kWh.* Chodec spotrebuje celkovo 6,6 kWh na 100 km [3s576h]; odpočítaním hodnoty spotreby energie v pokoji od spotreby energie pri chôdzi získame energetickú stopu chôdze (Coley, 2001).

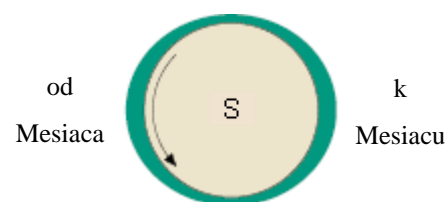
Ďalšie čítanie: Weber a Matthews (2008).

14 Prílív a odliv

Mesiace a Zem tancujú okolo Slnka piruetu. Spoločne obehnú Slnko raz za rok, a zároveň sa každých 28 dní otočia voči sebe navzájom. Mesiace sa otočí okolo Zeme raz za 28 dní, takže je k svojmu tanečnému partnerovi otočený stále tou istou stranou. Primadona Zem však Mesiacu jeho kompliment neopláca; otočí sa raz za rok. Tento tanec funguje vďaka gravitačným silám: každý kúsok Zeme, Mesiaca a Slnka sa navzájom priťahuje ku každému kúsku Zeme, Mesiaca a Slnka. Súčet týchto síl *takmer* postačuje na pokračovanie nebeského tanca. Medzi gravitačnými silami a silami potrebnými na zachovanie tanca však dochádza k veľmi malým nerovnováham. A tieto nerovnováhy spôsobujú vznik prílivov a odlivov [tj. slapových javov – pozn. prekl.].

Nerovnováhy súvisiace so vzájomnou rotáciou Mesiaca a Zeme sú asi trojnásobne silnejšie ako nerovnováhy súvisiace s pomalším pohybom Zeme okolo Slnka, takže veľkosť slapových javov sa mení s fázou Mesiaca podľa toho ako Mesiace a Slnko vchádzajú do, respektíve vychádzajú zo spoločného pôsobenia. Pri splne a nove Mesiaca (teda keď je Mesiace a Slnko v jednej línii) sa nerovnováhy zvyrazňujú a následné väčšie slapy sa nazývajú *skokové slapy*. (Skokové slapy [z angl. spring tides – pozn. prekl.] sa vyskytujú pravidelne každé dva týždne.) Keď na oblohe vidíme polmesiace, nerovnováhy sa čiastočne rušia a slapy sú menšie; nazývame ich *hluché slapy*. Skokové slapy sú asi dvojnásobne silnejšie ako hluché slapy: skokové prílivy dosahujú dvojnásobnú výšku morskej hladiny oproti hluchým prílivom, skokové odlivy sú dvojnásobne nižšie oproti hluchým odlivom a pobrežné prúdy sú dvojnásobne väčšie pri skokových, ako pri hluchých slapoch.

Prečo sú dva prílivy a dva odlivy každý deň? Ak by Zem bola dokonalá, hladká biliardová guľa pokrytá oceánmi, slapové efekty by deformovali vodu mierne smerom k Mesiacu a od neho, čím by dodali vode tvar rugbyovej lopty (obrázok 14.1). Obyvatelia žijúci na rovníku takejto Zeme podobnej biliardovej guli, točiacej sa jedenkrát denne vo vodnom obale, ktorý by mal tvar rugbyovej lopty, by si všimli, že hladina vody stúpa a klesá dvakrát denne: raz, keď sa ocitnú na jednom špici rugbyovej lopty a druhýkrát, keď prejdú jej druhým špicom. Takéto názorné vysvetlenie nezodpovedá presne skutočnosti. Zem totiž nie je hladká a nie je rovnomerne pokrytá vodou (ako ste si možno všimli). Dva hrboly vody nemôžu obiehať okolo celej Zeme raz za deň, pretože im stoja v ceste kontinenty. Skutočný priebeh slapov je teda zložitejší. V prípade veľkého objemu vody, akým je napríklad Atlantický oceán, vznikajú slapové hrebene a údolia, ale keďže nie sú schopné uháňať okolo Zeme, urobia niečo iné: uháňajú okolo okraja oceánu. V severnom Atlantiku sú dva hrebene a dve údolia, všetky obiehajúce Atlantik proti smeru hodinových ručičiek jedenkrát za deň. Tu v Británii tieto hrebene a údolia



Obrázok 14.1. Oceán pokrývajúci „biliardovú“ Zem. Pozeráme sa na severný pól, a Mesiace je vzdialený 60 cm napravo. Zem sa otočí raz za deň vnútri obalu z vody v tvare rugbyovej lopty. Oceány sa rozprestierajú smerom k a od Mesiaca, pretože jeho gravitačné sily nezodpovedajú presne dostredivým silám potrebným na udržanie krúženia Zeme a Mesiaca okolo svojich stredov. Osoba stojaca na rovníku (rotujúcom v smere šípky) bude svedkom dvoch prílivov a dvoch odlivov za deň.

nevidíme priamo, pretože nás od skutočného Atlantiku delí niekoľko stoviek kilometrov širokého podmorského zvrásnenia, nazývaného kontinentálny šelf. Vždy, keď jeden z hrebeňov obieha Atlantik a narazí na kontinentálny šelf, presmeruje sa pozdĺž neho smerom nahor. Podobne je to aj s údolím. Časový odstup medzi údoliami a hrebeňmi je 6 hodín. Presnejšie je to 6 a štvrt hodiny, pretože čas medzi východmi Mesiaca je 25, nie 24 hodín.

Rýchlosť obehu hrebeňov a údolí sa líši v závislosti od hĺbky šelfu. Čím plytší je šelf, tým je pohyb hrebeňov a údolí pomalší, a tým sú zároveň výraznejšie. V otvorených oceánoch sú prílivy a odlivy vysoké iba 1 až 2 stopy [30 až 60 centimetrov – pozn. prekl.]. Keď však dorazia k európskym zátokám, ich rozsah je až štyri metre. Coriolisova sila (odstredivá sila spojená s rotáciou Zeme, ktorá pôsobí iba na objekty v pohybe) na severnej pologuli spôsobuje, že prílivy a odlivy majú tendenciu vinúť sa pozdĺž pobreží smerom doprava. Napríklad slapy na britskom pobreží kanálu La Manche sú výraznejšie ako na francúzskom pobreží. Podobne, hrebene a údolia vstupujúce do Severného mora okolo Orknejí obmývajú britskú stranu, smerujúc dole k ústiú Temže a pri Holandsku sa otočia doľava, aby svojou návštevou poctili Dánsko.

Energia prílivov a odlivov sa niekedy nazýva mesačná energia, pretože je to hlavne Mesiac, ktorý spôsobuje takýto pohyb vody. Avšak väčšina energie prílivov a odlivov v skutočnosti pochádza z rotačnej energie otáčajúcej sa Zeme. Rotácia našej Zeme sa tak postupom času spomaľuje.

Takže ako môžeme využiť energiu prílivu a odlivu, ako koľko jej tak získame?

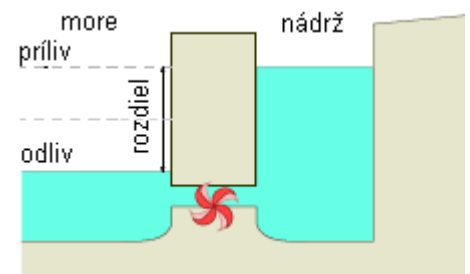
Hrubé odhady energie prílivu a odlivu

Keď rozmýšľate o slapovej energii, mohli by ste si predstaviť umelý bazén pri oceáne s vodným kolesom, ktoré sa pri naplňaní a vyprázdňovaní bazénu otáča (obrázky 14.2 a 14.3). Kapitola G ukazuje, ako sa dá vypočítať množstvo energie z takýchto zariadení. Ak predpokladáme rozdiel hladín 4 m, čo je typický rozsah pri mnohých ústiach európskych riek, tak maximálna energia umelej nádrže, ktorá sa pri prílive rýchlo naplní a rýchlo vyprázdni pri odlive, vyrábajúc výkon pri oboch procesoch, je 3 W/m^2 . Je to rovnaká energia na jednotku plochy ako v prípade veterných turbín na mori. A už vieme, aké veľké musia byť veterné elektrárne, aby predstavovali významný príspevok vo výrobe energie. *Musia byť veľmi rozsiahle.* A podobne, aby boli naše nádrže schopné vyrábať energiu porovnateľnú s celkovou spotrebou Británie, potrebovali by sme, aby ich celková rozloha zodpovedala rozlohe Británie.

Úžasné je, že Británia už je vybavená prirodzenou nádržou s požadovanými rozmermi. Táto nádrž sa nazýva Severné more (obrázok 14.5). Skrátka ak postavíme generátory na vhodné miesta, môžeme získať významné množstvo elektrickej energie. Generátory môžu vyzerat



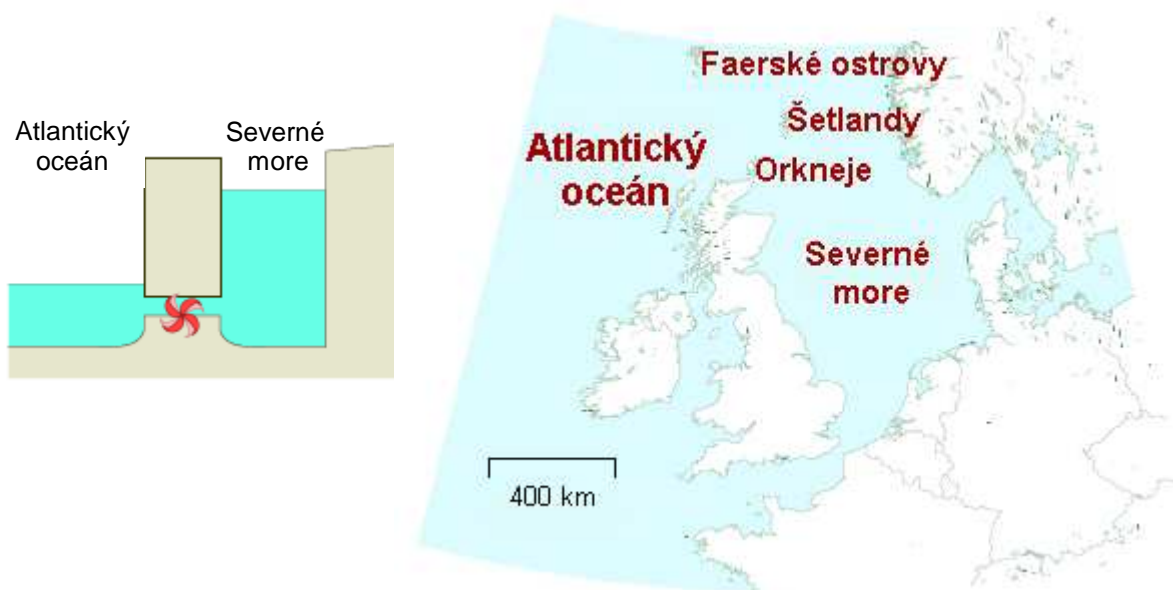
Obrázok 14.2. Prílivový bazén a mlyn. Fotky zverejnené s povolením Teda



Obrázok 14.3. Umelá prílivová nádrž. Počas prílivu sa naplnila a teraz je odliv. Voda pretečie cez generátor elektriny, ktorý premení potenciálnu energiu vody na elektrinu.

rozsah prílivu	hustota výkonu
2 m	1 W/m^2
4 m	3 W/m^2
6 m	7 W/m^2
8 m	13 W/m^2

Obrázok 14.4. Hustota výkonu (výkon na jednotku plochy) prílivových nádrží pri predpoklade výroby pri prílive, aj pri odlive.



ako podmorské veterné mlyny. Pretože hustota vody je asi 1000-násobne vyššia ako hustota vzduchu, výkon toku vody je 1000-krát väčší ako výkon vetra pri tej istej rýchlosti. O chvíľku sa vrátíme k prílivovým elektrárnám, ale ešte predtým sa pozrime na to, koľko energie prílivu a odlivu obmýva Britániu každý deň.

Hrubý výkon prílivu a odlivu

Slapové javy okolo Británie vytvárajú skutočné prílivové vlny – na rozdiel od tsunami, ktoré sa tiež nazývajú „prílivové vlny“, nemajú však s prílivom nič spoločné. Sledujme príliv, ako k nám prichádza od Atlantiku. Príliv prichádza postupne neskôr pre oblasti Anglického kanálu smerom od súostrovia Scilly na sever k Portsmouthu až k Doveru. Hrebeň prílivovej vlny postupuje kanálom rýchlosťou asi 70 km/h. (Hrebeň vlny sa pohybuje oveľa rýchlejšie ako samotná voda, tak ako sa obyčajné vlny pohybujú rýchlejšie ako voda.) Podobne sa príliv pohybuje v smere hodinových ručičiek okolo Škótska, smerom dole od Severného mora od mesta Wick do Berwicku a do mesta Hull rýchlosťou približne 100 km/h. Tieto dva prílivy sa spájajú v ústí Temže. Zhodou okolností škótsky hrebeň prichádza približne o 12 hodín neskôr, ako hrebeň prichádzajúci cez Dover, takže prichádzajú takmer synchronne s ďalším prílivom cez Dover a tak do Londýna prichádzajú dva prílivy denne.

Výkon, ktorý môžeme získať z prílivov, nemôže byť nikdy väčší ako celkový výkon prílivových vln z Atlantiku. Celková energia prechádzajúca cez dve línie zobrazené na obrázku 14.6 bola určená v priemere na 100 kWh za deň na osobu. Ak si predstavíme získanie 10 % tejto prichádzajúcej energie a ak má proces premeny účinnosť 50 %, priemerný dodaný výkon by bol **5 kWh/d na osobu**.

Ide iba o predbežný odhad, bez definovania technických detailov. Teraz sa pokúsme vypočítať množstvo energie, ktoré by sme mohli získať

Obrázok 14.5. Britské ostrovy majú výhodnú polohu: Severné more vytvára prírodnú prílivovú nádrž, z a do ktorej sa vo veľkých množstvách prelieva voda dvakrát denne.



Obrázok 14.6. Priemerné množstvo prichádzajúcej energie mesačných prílivových vln križujúcich znázornené dve čiary bolo zamerané na 250 GW. Toto hrubé množstvo, po rozdelení medzi 60 miliónov ľudí, je 100 kWh za deň na osobu.

troma základnými spôsobmi: prílivovými elektrárnami, priehradami a pobrežnými prílivovými lagúnami.

Prílivové prietokové elektrárne

Jeden zo spôsobov, ako získať slapovú energiu, je postavenie prílivovej elektrárne v štýle veternej elektrárne. Prvý taký veterný mlyn pod vodou, respektíve „prílivový prietokový“ generátor pripojený k rozvodnej sieti bola „300 kW“ turbína, inštalovaná v roku 2003 blízko nórskeho mesta Hammerfest. Presné množstvo skutočne vyrobenej elektrickej energie zatiaľ nebolo publikované a doteraz nik nepostavil inú prílivovú elektráreň s viac ako jednou turbínou, takže aby sme zistili koľko výkonu môžu vyrábať, budeme sa musieť spoliehať iba na fyziku a výpočty. Tabuľka 14.7 ukazuje výkon prílivovej elektrárne pre vybrané slapové prúdy, pri predpoklade, že zákony pre postavenie prílivovej elektrárne sú podobné ako pre veternej elektrárne, a že účinnosť bude rovnaká ako v prípade najlepších veterných turbín.

Ak vieme, že bežné sú slapové prúdy s rýchlosťou 2 až 3 uzly, existuje mnoho miest na Britských ostrovoch, kde možno získať plošný výkon až 6 W/m^2 , alebo viac. Táto hustota výkonu je porovnateľná s výkonom veterných ($2 - 3 \text{ W/m}^2$) a FV slnečných ($5 - 10 \text{ W/m}^2$) elektrární.

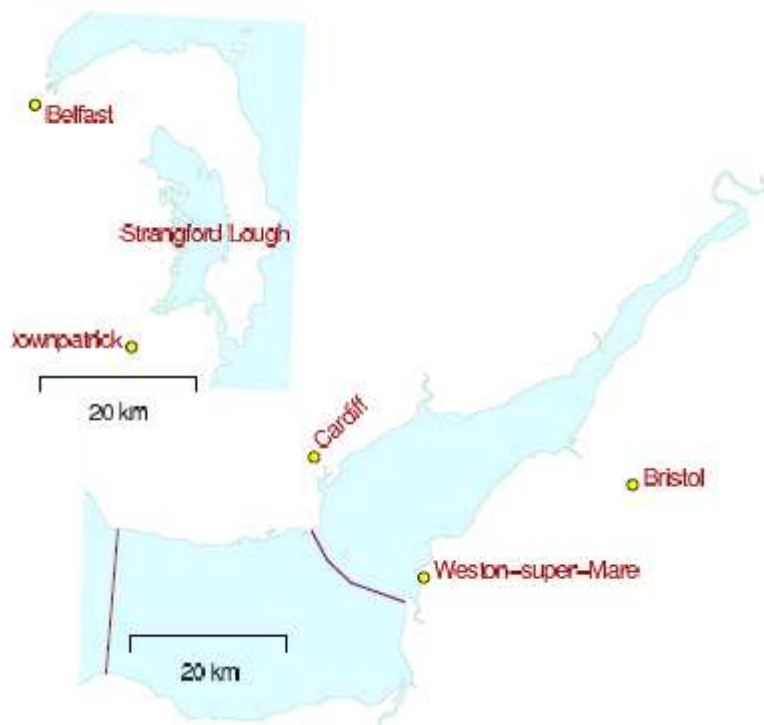
Energia prílivu a odlivu nie je na zahodenie! Koľko jej tak môžeme získať na najvhodnejších miestach okolo Británie, ak zanedbáme existujúce ekonomické problémy? Kapitola G sumarizuje rýchlosti prúdov v Británii na týchto miestach a podľa výpočtov by bolo možné získať **9 kWh/d na osobu**.

Priehrady

Prílivové priehrady sú overenou technológiou. Slávna priehrada v La Rance vo Francúzsku, kde je rozdiel prílivu a odlivu v priemere až 8 metrov, vyrobila od roku 1966 v priemere 60 MW elektrickej energie. Rozsah prílivu a odlivu v ústí rieky Severn je takisto neobvykle veľký. Pri meste Cardiff je to 11,3 metra pri skokových prílivoch a 5,8 m pri hluchých prílivoch [druhý najväčší na svete – pozn. prekl.]. Ak by sme umiestnili priehradu naprieč ústím (od Weston-super-Mare do Cardiffu), znamenalo by to 500 km^2 veľkú nádrž (obrázok 14.8). Všimnite si, o koľko väčšia je táto nádrž v porovnaní s ústím pri La Rance. Koľko výkonu by mohla vyrobiť táto nádrž, ak by do nej vtekala a vytekala voda pri ideálnych podmienkach, vyrábajúc výkon pri oboch procesoch? Na základe teoretických výpočtov podľa tabuľky 14.4, ak je rozdiel hladín 11,3 metra, priemerný vyrobený výkon priehradou (pri 30 W/m^2) by bol najviac 14,5 GW, alebo **5,8 kWh/d na osobu**. Keď je rozsah 5,8 metra, priemerný výkon priehrady (pri 8 W/m^2) by bol najviac 3,9 GW, alebo **1,6 kWh/d na osobu**. Tieto čísla predpokladajú, že voda vtečie dovnútra

rýchlosť (m/s)	hustota (uzly)	výkonu (W/m ²)
1	0,5	1
2	1	8
4	2	60
6	3	200
8	4	500
10	5	1000

Tabuľka 14.7. Hustoty výkonov (vo wattoch na štvorcový meter morského dna) prílivových elektrární ako funkcia rýchlosti toku. (1 uzol = námorná míľa za hodinu = 0,514 m/s.)



jednorazovo pri vrchole prílivu a pri odlive jednorazovo vytečie. V skutočnosti by sa však vtekanie a vytekanie uskutočňovalo niekoľko hodín, čo by viedlo k určitému zníženiu získaného výkonu.

Súčasný návrh priehrady by vyrábala výkon iba v jednom smere prúdenia vody. Takže to znižuje výkon o ďalších 50 %. Podľa správ inžinierov navrhovanej priehrady Severn, ktorá by vyrábala výkon iba pri vytekaní vody, by bolo priemerné množstvo výkonu **0,8 kWh/d na osobu**. Priehrada by zároveň poskytla ochranu pred záplavami a zabránila ročným stratám až 120 miliónov libier.

Prílívové lagúny

Prílívové lagúny je možné vybudovať postavením stien v mori; možno ich potom využiť ako umelé zátoky. Aby sme mohli vybudovať lagúny, potrebujeme plytkú vodu a veľký rozsah prílivu a odlivu. Platia tu aj ekonomické zákony: veľké lagúny vyrábajú elektrinu lacnejšie ako menšie. Hlavné lokality veľkých lagún v Británii sú zátoka Wash na východnom pobreží a vody blízko Blackpoolu na západnom pobreží (obrázok 14.9). Menšie lagúny je možné postaviť v severnom Walese, Lincolnshire, južnom Walese a východnom Sussexe.

Pri postavení dvoch lagún na jednom mieste je možné použiť jeden trik na zvýšenie získanej energie a tiež dodávať energiu kedykoľvek bez ohľadu na stav prílivu a odlivu. Jedna lagúna je vo „vysokej“ polohe, druhá v „nízkej“. Pri odlive je možné časť energie vyrábanej pri vyprázdňovaní vysokej lagúny použiť na *vypumpovanie* vody z nízkej lagúny a znížiť tak jej vodnú hladinu oproti moru. Energia

Obrázok 14.8. Návrhy priehrad Severn (vľavo dole) a Strangford Lough, Severné Írsko (vľavo hore), zobrazené na tej istej mierke ako priehrada pri La Rance (vpravo dole).

Mapa ukazuje dve navrhované lokality pre priehradu Severn. Priehrada vo Weston-super-Mare by v priemere vyrábala 2 GW (0,8 kWh/d/ na osobu). Vonkajšia alternatíva by dodávala dvojnásobné množstvo.

V Severnom Írsku je významný zdroj prílivovej energie v Strangford Lough s plochou 150 km²; rozsah prílivu v Írskom mori je 4,5 m pri skokových a 1,5 m pri hluchých slapoch – bohužiaľ, nie tak veľá ako v prípade priehrady v La Rance alebo Severn.

Hrubý výkon prírodných nadrží v Severnom Írsku v Strangford Lough je zhruba 150 MW, ktorý po rozdelení medzi 1,7 milióna obyvateľov Severného Írska predstavuje 2 kWh/d na osobu. Strangford Lough je miesto, kde bol prvý krát pripojený prílivový prietokový generátor k rozvodnej sieti v Británii.

potrebná na vypumpovanie vody z nízkej lagúny sa vráti aj s úrokmi pri prílive, keď energia vzniká pri vtekaní vody do nízkej lagúny. Podobne možno dodatočnú vodu pumpovať do vysokej lagúny pri prílive s použitím energie vyrábanej nízkou lagúnou. V ktorejkoľvek fáze prílivu a odlivu môže energiu vyrábať vždy jedna alebo druhá lagúna. Takáto dvojica prílivových lagún by mohla fungovať ako prečerpávacie zariadenie, uskladňujúce nadbytok energie z elektrickej siete.

Priemerná hustota výkonu prílivových lagún v britských vodách by mohla dosahovať hodnoty $4,5 \text{ W/m}^2$, takže ak by sme ich vyrobili 800 km^2 (obrázok 14.9), vyrobený výkon by bol $1,5 \text{ kWh/d na osobu}$.



Obrázok 14.9. Dve prílivové lagúny, každá s rozlohou 400 m^2 , jedna pri meste Blackpool, a jedna v zátok Wash. Pre porovnanie je zobrazené ústie Severn.

Krásy prílivu a odlivu

Ak všetko spočítame, tak priehrady, lagúny a prílivové prietokové elektrárne by mohli dodávať okolo $11 \text{ kWh/d na osobu}$ (obrázok 14.10).

Doteraz sa výkon prílivu a odlivu v Británii priemyselne nevyužíval, je preto ťažké predpokladať, akým ekonomickým a technickým problémom by čelilo postavenie a udržiavanie prílivových turbín: hrdzaveniu, hromadeniu nánosov bahna alebo naplaveninám? Existuje však sedem dôvodov na optimizmus ohľadom prílivovej energie v Británii: 1. Výkon prílivu a odlivu je dokonale predpovedateľný; na rozdiel od veternej a slnecnej energie ide o obnoviteľný zdroj, na ktorý sa možno spoľahnúť; funguje vo dne v noci, po celý rok; energiu zo slapových lagún je možné uskladňovať a podľa požiadaviek poskytnúť. 2. Časový odstup medzi vysokými a nízkymi prílivmi a odlivmi je 12 hodín, takže najsilnejšie prúdy sa v oblastiach Anglesey, Islay, Orknejí a Doveru vyskytujú v rôznych časoch; spolu by súbor prílivových elektrární poskytoval stabilnejší zdroj výkonu do siete ako jedna elektrárň, napriek výkyvom súvisiacim s fázami Mesiaca. 3. Výkon prílivu a odlivu bude k dispozícii milióny rokov. 4. Nevyžaduje finančne náročné zariadenia, na rozdiel od fotovoltaických systémov. 5. A pretože hustota výkonu typického prílivu a odlivu je vyššia ako hustota výkonu vetra, 1 MW slapová turbína je menšia ako 1 MW veterná turbína; možno by teda podmorské turbíny mohli byť lacnejšie ako veterné. 6. Život pod vlnami je pokojnejší a nevyskytujú sa tu extrémne búrky; takže na rozdiel od veterných turbín, ktoré potrebujú nákladné konštrukcie, aby vydržali silné nápory vetra, podmorské turbíny nebudú vo svojej konštrukcii vyžadovať veľké zabezpečenie. 7. Ľudia žijú väčšinou na súši a pod vodu nevidia, takže obavy o vizuálny dopad turbín by mali byť menšie ako v prípade veterných turbín.

Mýty

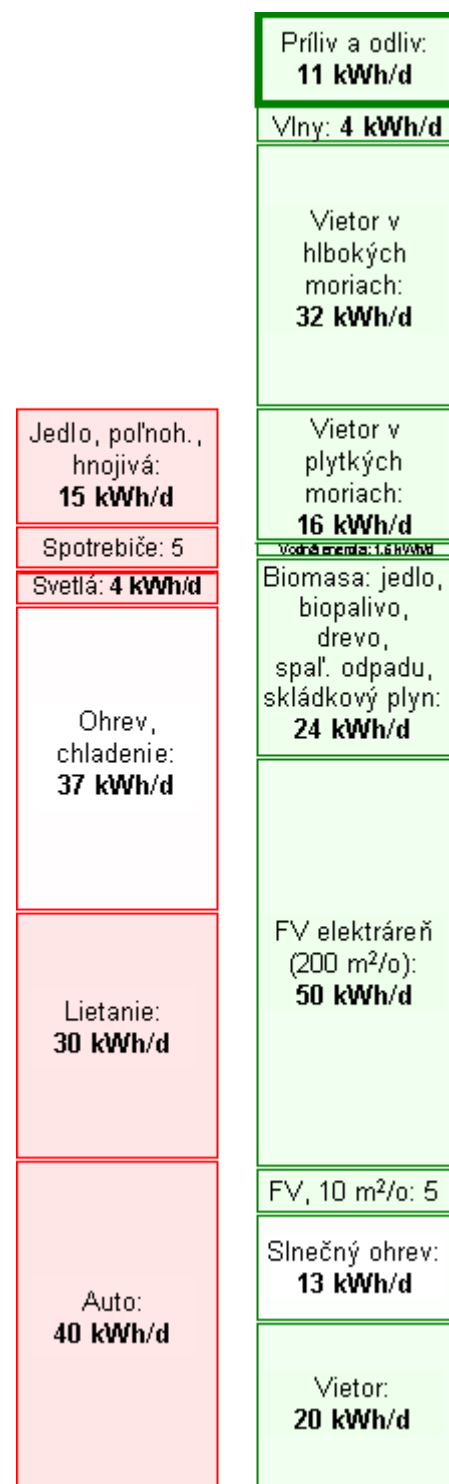
„Aj keď je výkon prílivu a odlivu čistý a zelený, nemali by sme ho považovať za obnoviteľný. Jeho získavanie spomaľuje rotáciu Zeme. Určite ho nemôžeme využívať dlhodobo.“

Nesprávne. Už prirodzené prílivy a odlivy spomaľujú rotáciu Zeme. Prirodzená rotačná energia je 3 TW (Shepherd, 2003). Pre prirodzené trenie sa každých sto rokov deň predĺži o 2,3 milisekundy. Mnoho zariadení na získavanie energie z prílivov a odlivov iba získava energiu, ktorá by sa aj tak stratila pri trení. Ak by sa nám však aj podarilo zdvojnásobiť množstvo takto získanej energie, stále by bola k dispozícii viac ako miliardu rokov.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

- 82 *Energia umelej nádrže.* Plošný výkon nádrže je odvodený v kapitole G, str. 311.
- *Britániu už zásobujú prirodzené nádrže... táto nádrž sa nazýva Severné more.* Nemal by som vyvolávať dojem, že Severné more sa naplní a vyprázdňuje na britskom pobreží ako nádrž. Prúdy v Severnom mori sú zložitejšie, pretože čas potrebný na vznik prúdu, ktorý potom putuje cez more, je podobný času medzi prílivmi a odlivmi. Napriek tomu existujú obrovské slapové prúdy zo Severného mora a doňho a v rámci neho tiež.
- 83 *Celková energia prechádzajúca cez dve línie bol určený v priemere na 100 kWh za deň na osobu.* Zdroj: Cartwright a kol. (1980). Čitateľov, ktorých zaujímajú základné výpočty, ich nájdú v kapitole G.
- 84 *La Rance* vyrobila 16 TWh za 30 rokov. To znamená priemerný výkon 60 MW (maximálny výkon je 240 MW.) Rozsah prílivov a odlivov je do 13,5 m; využívaná plocha je 22 km²; hrádza je 750 m dlhá. Priemerná hustota výkonu: 2,7 W/m². Zdroj: [6xrm5q].
- 85 *Podľa správ inžinierov navrhovanej priehrady Severn... povedzme 17 TWh/rok.* (Taylor, 2002b). Toto (2GW) v priemere zodpovedá 5 % súčasnej spotreby elektriny v Británii.
- 86 *Priemerný výkon prílivových lagún v britských vodách na plochu by mohol dosahovať hodnotu 4,5 W/m².* MacKay (2007a).



Obrázok 14.10. Prílív a odliv.

15 Výrobky

Jedným z najväčších požieračov energie v „rozvinutom“ svete je výroba predmetov každodennej spotreby. Ich životný cyklus prechádza tromi fázami. V prvej fáze sa nový výrobok objaví v žiarivom obale v regáli obchodu. V tejto fáze nazývame výrobky „tovar“. Len čo výrobok kúpime, odnesieme domov a rozbalíme, zmení sa jeho status z „výrobku“ na „sluhu“. V tejto fáze žije so svojím vlastníkom niekoľko mesiacov až rokov. Počas tohto obdobia ho majiteľ zväčša ignoruje, pretože je zaneprázdnený kupovaním ďalšieho tovaru. Nakoniec, vďaka vymoženostiam modernej alchymie, sa sluha premení na svoju poslednú formu, odpad. Neskúsený pozorovateľ môže mať problém rozlíšiť medzi týmto „odpadom“ a vysoko ceneným „tovarom“, ktorým bol v minulosti. V každom prípade, v poslednej fáze zaplatí majiteľ smetiárom za jeho odvoz.

Povedzme, že chceme pochopiť celkové energetické náklady výrobkov, možno s cieľom vytvárať lepšie výrobky. Vtedy hovoríme o analýze životného cyklu. Je vhodné rozdeliť energetické náklady všetkého, od fény až po výletnú loď, na štyri fázy:

Fáza S: Výroba surovín. Táto fáza zahŕňa ťažbu materiálov zo zeme, ich tavenie, čistenie, premenu na požadovaný materiál: napríklad na plast, sklo, kovy, keramiku. Energetické náklady týchto činností zahŕňajú aj dopravné náklady surovín.

Fáza V: Výroba. V tejto fáze sa suroviny spracujú do formy požadovaného výrobku. Fabrika, kde sa ohýbajú cievky fény, vytvárajú jeho ladné krivky a jednotlivé súčiastky dávajú opatrne dokopy, spotrebúva teplo a svetlo. Energetické náklady tejto fázy zahŕňajú balenie a ďalšiu dopravu.

Fáza P: Použitie. Fény aj výletné lode spotrebúvajú pri svojej činnosti, pre ktorú boli určené, energiu.

Fáza O: Odpad. Táto fáza zahŕňa energetické náklady na vrátenie tovaru do úložiska v zemi (sklárky), alebo na navrátenie tovaru do podoby suroviny (recyklovanie), alebo na likvidáciu znečistenia.

Aby sme pochopili, koľko energie vyžaduje existencia výrobkov, je potrebné odhadnúť energetické náklady každej spomínanej fázy a spočítať ich. V energetických nákladoch zväčša dominuje zo štyroch fáz iba jedna fáza, takže pre zmysluplný odhad celkovej energie stačí určiť energetické náklady dominantnej fázy. Ak by sme sa pokúšali prerobiť výrobok a znížiť celkové energetické náklady, mali by sme sa zamerať na



Obrázok 15.1. Hlúpa reklama od Selfridges.

	zabudovaná energia (kWh na kg)
fosílna palivo	10
drevo	5
papier	10
sklo	7
PET fľaša	30
hliník	40
ocel	6

Tabuľka 15.2. Zabudovaná energia materiálov.

dominantnú fázu a zároveň sa ubezpečiť, že energetické úspory v tejto etape nie sú spojené s nárastom spotreby energie v ostatných troch fázach.

Lepšie ako podrobné určovanie energetických nákladov jednotlivých fáz všetkých výrobkov bude pozrieť sa na pár bežných príkladov: obaly nápojov, počítače, baterky, letáky, autá a domy. V tejto kapitole sa zameriame na energetické náklady fáz S a P. Často sa o týchto nákladoch hovorí ako o „zabudovanej“ energii výrobku – hoci ide o mierne zavádzanie, pretože táto energia vo výrobku doslova zabudovaná ani včlenená nie je.

Obaly nápojov

Predpokladajme, že máte radi Coca-Colu: vypijete päť plechoviek nadnárodných chemikálií denne a hliníkové plechovky vyhadzujete. Tomuto výrobku dominuje fáza výroby surovín. Výroba jednej hliníkovej plechovky vyžaduje 0,6 kWh. Takže pitie piatich plechoviek denne znamená spotrebu **3 kWh/d**.

V prípade 500 ml PET fľašky (ktorá váži 25 g) je množstvo skrytej energie 0,7 kWh – čo je rovnako zlé ako hliníková plechovka!

Iné spôsoby balenia

Priemerný Brit odhodí denne 400 g obalov, hlavne z jedla. Obsah skrytej energie obalov je v rozsahu od 7 do 20 kWh na kilogram na obaly ako sklo a papier cez plasty až po oceľové nádoby. Pri predpoklade, že typický obsah skrytej energie balenia je 10 kWh/kg, zistíme, že energetická stopa balenia je **4 kWh/d**. Malú časť tejto energie možno získať späť pri spálení odpadu, čo potrebnejšie preberieme v kapitole 27.

Počítače

Výroba osobného počítača stojí približne 1800 kWh energie. Takže ak kupujete každé dva roky nový počítač, zodpovedá to spotrebe energie **2,5 kWh za deň**.

Batérie

Energia na výrobu dobíjateľných nikel-kadmiových AA batérií, uskladňujúcich 0,001 kWh elektrickej energie a s hmotnosťou 25 g je 1,4 kWh (fázy S a V). Ak je energia na výrobu jednorazových batérií podobná, používanie dvoch AA batérií za mesiac znamená **0,1 kWh za deň**. Energetické náklady batérií sú preto pravdepodobne iba malou položkou v stĺpci vašej celkovej spotreby.



Hliník: **3 kWh/d**

Balenie: **4 kWh/d**

Obrázok 15.3. Päť hliníkových plechoviek za deň predstavuje 3 kWh/d. Zabudovaná energia v ostatných vyhodенých obaloch priemerným Britom je 4 kWh/d.

Čipy: **2,5 kWh/d**



Obrázok 15.4. Výroba čipov. Fotografia: ABB.

Výroba jedného počítača každé dva roky stojí 2,5 kWh za deň.

Noviny, časopisy, reklamné letáky

36-stránkové noviny, rozdávané zadarmo na železničných staniciach, majú hmotnosť 90 g. Noviny Cambridge Weekly News (56 strán) majú 150 g. *The Independent* (56 strán) 200 g a 56-stránkový reklamný lesklý časopis a magazín Cambridgeshire Pride (32 strán), oba s donáškou do domu zadarmo, majú hmotnosť 100 g a 125 g.

Táto záplava materiálov na čítanie a zbytočných reklám prechádzajúcich našimi poštovými schránkami obsahuje energiu. Energiu tiež treba na výrobu a dovoz. Kilogram papiera má v sebe 10 kWh zabudovanej energie. Takže zabudovaná energia novín, časopisov a letákov v typickej poštovej schránke domácnosti - teda 200 g papiera denne (čo sa napríklad rovná časopisu *The Independent* denne) - je približne **2 kWh za deň**.

Recyklovanie papiera by ušetrilo približne polovicu energie potrebnej na výrobu; spálenie v spaľovni odpadov alebo doma v peci znamená zužitkovanie časti zabudovanej energie.

Väčšie výrobky

Medzi najväčšie výrobky, aké ľudia zväčša kupujú, patria domy.

V kapitole H som vypočítal energetické náklady na stavbu domu. Pri predpokladanej priemernej životnosti sto rokov to znamená 2,3 kWh za deň. Ide o energetické náklady výroby *schránky* domu – základov, tehál, dlaždíc a striech. Ak dom v priemere obývajú 2,3 osoby, priemerné energetické výdaje na výstavbu predstavujú **1 kWh za deň na osobu**.

Čo autá a cesty? Autá vlastní iba niektorí z nás, cesty však zdieľame všetci. Zabudovaná energia nového auta je 76 000 kWh, takže ak meníme auto každých 15 rokov, priemerné náklady sú **14 kWh za deň**. Treloar, Love a Crawford v analýze životného cyklu odhadli, že postavenie 1 metra cesty stojí 7600 kWh (priebežne opravovaná betónová cesta), pri započítaní nákladov na údržbu sú celkové náklady za 40 rokov 35 000 kWh na meter. Prepočítajme tieto údaje na energetické náklady ciest v Británii, kde máme 44 600 km hlavných ciest a ciest 1. triedy (okrem diaľnic). Predpokladajme, že náklady na stavbu sú 35 000 kWh na meter za 40 rokov, cesty nás stoja **2 kWh/d na osobu**.

Doprava tovaru

Doteraz som sa snažil počítať *osobnú* spotrebu. „Ak vyhodíte päť plechoviek od Coca-Coly, znamená to 3 kWh; ak si kúpite *The Independent*, znamená to 2 kWh.“ Ďalej sa budem venovať záležitostiam o niečo menej osobným. Pri počítaní energie potrebnej na dopravu predmetov po celej krajine nám poslúžia priemerné údaje na celú krajinu, ktoré vydelím počtom obyvateľov.



Noviny, letáky,
magazíny:
2 kWh/d

Stavba domov: **1 kWh/d**

Výroba áut:
14 kWh/d

Stavba ciest: **2 kWh/d**





Obrázok 15.5. Kilometre pre jedlo – Pirohy vyrobené v Helstone, Cornwall, prepravené loďou 580 km na konzumáciu v Cambridge.

Nákladná doprava sa meria v jednotkách ton-kilometre (t-km). Ak prepravíme jednu tonu Cornwallských pirohov na vzdialenosť 580 km (obrázok 15.5), potom hovoríme o nákladnej doprave 580 t-km. Energetická náročnosť cestnej dopravy v Británii je približne **1 kWh na t-km**.

Keď nákladná loď na obrázku 15.6 dopraví 50 000 ton nákladu na vzdialenosť 10 000 km, dosiahne 500 miliónov t-km nákladnej dopravy. Energetická náročnosť lodnej dopravy v Británii je približne **0,015 kWh na t-km**. Všimnite si, o koľko je účinnejšia lodná doprava oproti cestnej. Porovnanie je uvedené v tabuľke 15.8.



Obrázok 15.6. Nákladná loď *Ever Uberty* v termináli Thamesport. Fotografia Ian Boyle www.simplonpc.uk.

Cestná doprava

Celkové množstvo cestnej dopravy v Británii v roku 2006, pokiaľ ide o nákladné vozidlá, predstavovalo 156 miliárd t-km. Po rozdelení medzi 60 miliónov obyvateľov to znamená 7 t-km za deň na osobu, teda **7 kWh za deň na osobu** (pri predpokladanej energetickej intenzite 1 kWh na t-km). Mimochodom, jedna štvrtina z tejto dopravy predstavuje dopravu jedla, nápojov a tabaku.

Doprava po vode

V roku 2002 prešlo britskými prístavmi 560 miliónov ton tovaru. Podľa výpočtov Tyndallovho Centra tvoril v Británii podiel medzinárodnej lodnej dopravy **4 kWh /d na osobu**.

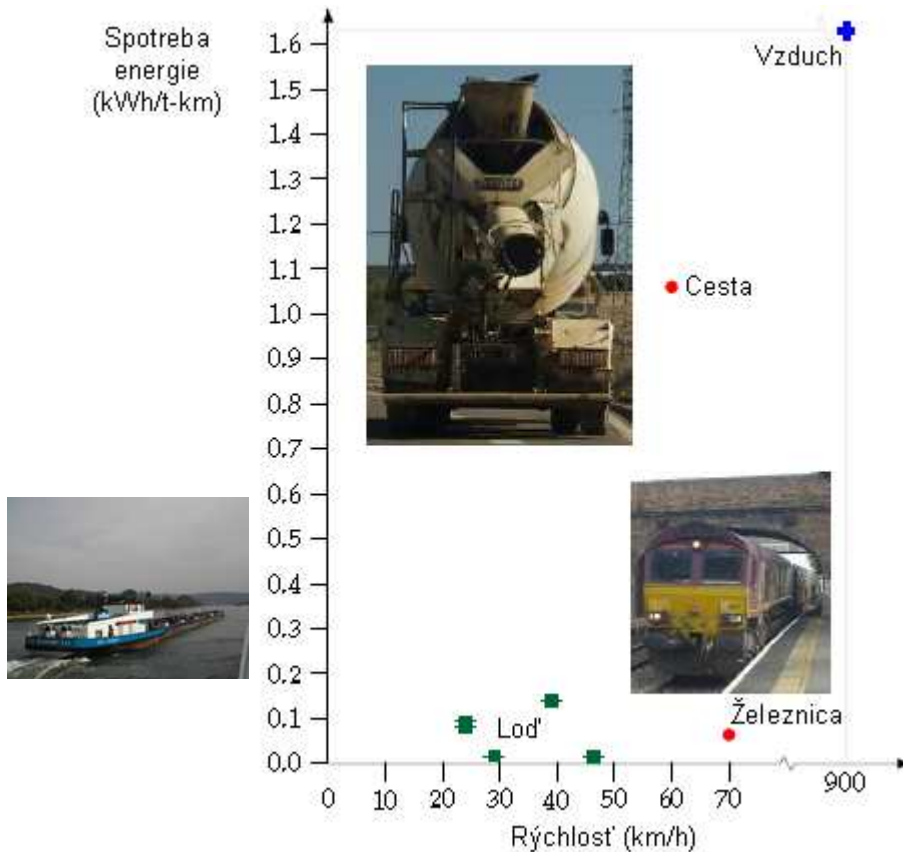
Nákladná cestná doprava:
2 kWh/d



Obrázok 15.7. Kamión doviezol a kamión odviezol. Energetické náklady nákladnej cestnej dopravy: 7kWh na osobu.

Lodná doprava: **4 kWh/d**





Obrázok 15.8. Energetické požiadavky rôznych spôsobov nákladnej dopravy. Vertikálna os ukazuje spotrebovanú energiu v kWh na celkové t-km, (t. j. energiu na t-km presunutého nákladu, bez započítania hmotnosti vozidla). Pozri aj obrázok 20.23 (energetické požiadavky na dopravu cestujúcich).



Doprava po vode vyžaduje energiu, pretože čln vytvára vlny. Napriek tomu je doprava po vode prekvapujúco energeticky účinná.

Doprava vody; toaleta

Voda nie je príliš prítlačivá tekutina, ale používame jej veľa – približne 160 litrov za deň na osobu. Na oplátku dodávame 160 litrov odpadových vôd za deň na osobu. Náklady na dopravu vody po celej krajine a na spracovanie odpadových vôd sú približne **0,4 kWh za deň na osobu**.

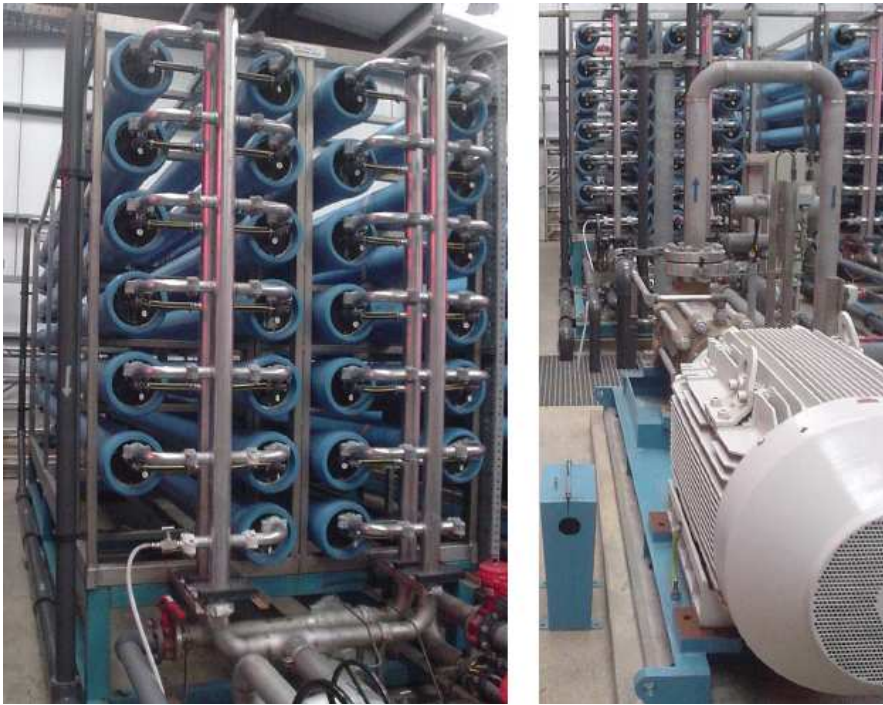
Odsolovanie

V súčasnosti Británia nevyužíva na odsolovanie žiadnu energiu. Uvažuje sa o tom však v Londýne. Aké sú energetické náklady premeny slanej vody na pitnú? Najmenej energeticky náročná metóda je reverzná osmóza. Vezmite membránu, ktorá prepúšťa iba vodu, na jednu stranu dajte slanú vodu a pod tlakom ju pretláčajte. Voda cez membránu neochotne pretečie a vznikne čistejšia voda – neochotne, pretože čistá voda zbavená soli má nízku entropiu, zatiaľ čo príroda uprednostňuje vysokú entropiu, kde je všetko pomiešané. Musíme platiť vysoko kvalitnou energiou, aby sme dosiahli odsolenie.

Na ostrove Jersey je odsolovacie zariadenie, ktorá vyrába 6000 m³ čistej vody denne (obrázok 15.10). Vráťane púmp potrebných na prenos vody z mora a cez množstvo filtrov celá továreň spotrebuje výkon 2 MW. To znamená energetické náklady 8 kWh na m³ vyrobenej vody. Pri nákladoch 8 kWh na m³ a dennej spotrebe vody 160 litrov by to znamenalo **1,3 kWh za deň**.

Doprava a spracovanie vody:
0,4 kWh/d

Obrázok 15.9. Doprava vody: 0,3 kWh/d;
spracovanie odpadu: 0,1 kWh/d.



Obrázok 15.10. Časť zariadenia na reverznú osmózu v odsolovacom zariadení na ostrove Jersey. Pumpa vpravo v popredí má výkon 355 kW a tlačí morskú vodu pod tlakom 65 barov do 39 špirálovitých membrán v nádobách modrých horizontálnych trubíc, vľavo, a dodáva 1500 m³ čistej vody denne. Čistá voda z tohto zariadenia má celkové energetické náklady 8 kWh na m³.

Maloobchody

Supermarkety v Británii spotrebujú približne 11 TWh energie za rok. Rovnomerne rozdelené medzi 60 miliónov šťastných nakupujúcich to znamená výkon **0,5 kWh za deň na osobu**.

Supermarkety:
0,4 kWh/d

Význam dovezeného tovaru

V bežných výpočtoch „spotreby energie v Británii“ alebo „uhlíkovej stopy Británie“ sa o dovezenom tovare *neuvažuje*. V Británii sme zvykli svoje potreby vyrábať doma a uhlíková stopa v roku 1910 na obyvateľa bola taká vysoká ako je v Amerike dnes. Dnes sa v Británii toľko nevyrába (takže naša spotreba energie a emisie uhlíka o niečo poklesli), ale stále milujeme rôzne vecičky a vyrábajú ich pre nás iné krajiny. Mali by sme ignorovať energetické náklady na ich výrobu, pretože sú dovezené? Nemyslím si. Dieter Helm s kolegami z Oxfordu určili, že pri započítaní dovozu a vývozu je uhlíková stopa v Británii takmer *dvojnásobná* oproti oficiálnemu „11 ton CO₂e na osobu“, teda až 21 ton. To znamená, že najväčšia energetická stopa priemerného Brita sa schováva v energetických nákladoch dovážaného tovaru.

V kapitole H sa tejto myšlienke venujem rozsiahlejšie, z pohľadu hmotnosti dovážaného tovaru. Ak vynecháme dovoz paliva, tak dovážame niečo vyše 2 ton tovaru na osobu za rok, z ktorých je približne 1,3 tony na osobu spracovaných a vyrobených v podobe áut, prístrojov, bielej techniky, elektrických a elektronických zariadení. To predstavuje približne 4 kg spracovaného tovaru za deň na osobu. Tento tovar zväčša pozostáva z materiálov, ktorých výroba vyžaduje najmenej 10 kWh energie na kilogram tovaru. Preto odhadujem, že autá, chladničky, mikrovlnné rúry,

počítače, kopírky a televízory majú **zabudovanú** energiu najmenej 40 kWh za deň na osobu.

Po spočítaní všetkých foriem tovaru a jeho transportu pridám do stĺpca spotreby **48 kWh za deň na osobu** potrebných na výrobu tovaru (z čoho najmenej 40 tvorí dovoz, 2 denná tlač, 2 stavba ulíc, 1 stavba domov a 3 balenie); a ďalších **12 kWh za deň na osobu** na transport tovaru po mori, cestách a potrubiami plus uskladňovanie potravín v supermarketoch.

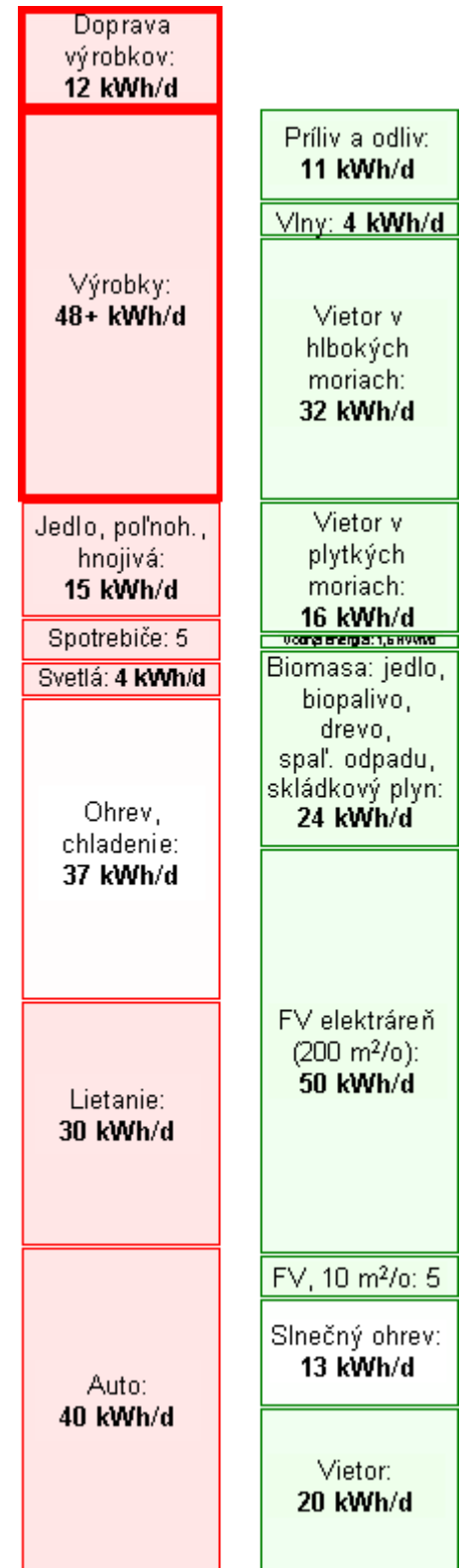
Pracuj, kým nakupuješ.

Tradičné porekadlo

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

- 89 *Nápoj z hliníkovej plechovky môže stáť až 0,6 kWh.* Hmotnosť jednej plechovky je 15 g. Výpočty celkových energetických nákladov na jej výrobu sa pohybujú v rozmedzí od 60 MJ/kg do 300 MJ/kg. [yx7zm4], [r22oz], [yhrest]. Údaj, ktorý som použil, je od The Aluminium Association [y5as53]: 150 MJ na kg hliníka (40 kWh/kg).
- *Zabudovaná energia PET fľašky na vodu.* Zdroj: Hammond a Jones (2006) – zabudovaná energia v PET fľaške je 30 kWh na kg.
 - *Priemerný Brit odhodí 400 g obalov denne.* V roku 1995 sa v Británii spotrebovalo 137 kg obalov na osobu (Hird a kol., 1999).
 - *Výroba osobného počítača stojí približne 1800 kWh energie.* Z hľadiska fosílnych palív vyžaduje výroba PC 11-násobok svojej vlastnej hmotnosti. V prípade chladničiek, áut a pod. je to zhruba 1 – 2-násobok. Williams (2004); Kuehr (2003).
 - *...dobýjateľné nikel-kadmiové batérie.* Zdroj: Rydh a Karlström (2002).
 - *...ocel...* podľa Swedish Steel: „Spotreba uhlia a koksu je 700 kg na tonu vyrobenej ocele, čo sa rovná približne 5320 kWh na tonu vyrobenej ocele. Spotreba ropy, LPG a elektrickej energie je 710 kWh na tonu konečného produktu. Celková [primárna] spotreba energie je teda približne 6000 kWh na tonu vyrobenej ocele.“ (6 kWh na kg.) [y2ktgg]
- 90 *Zabudovaná energia nového auta je 76 000 kWh.* Zdroj: Treloar a kol. (2004). Burnham a kol. (2007) udávajú nižšie číslo: 30 500 kWh pre celkové energetické náklady na výrobu auta. Jedna z príčin rozdielu môže spočívať v tom, že Bumhamova analýza počíta aj s recykláciou materiálov, ktorá znižuje energetické náklady.
- *Zabudovaná energia papiera je 10 kWh na kg.* Výroba novín z dreva stojí približne 5 kWh/kg a samotný papier má energetický obsah podobný drevu, približne 5 kWh/kg. (Zdroj: Ucuncu (1993); Erdinler a Vesilind (1993); pozri stranu 284.) Energetické náklady sa líšia podľa jednotlivých fabriek a krajín. 5 kWh/kg platí pre fabriku vo Švédsku v roku 1973 podľa Norrströma (1980), ktorý vypočítal, že zvýšenie účinnosti môže znížiť náklady na približne



Obrázok 15.11. Výroba predmetov nás stojí najmenej 48 kWh/d. Ich doprava stojí 12 kWh/d.

3,2 kWh/kg. Novšia analýza životného cyklu (Denison, 1997) odhaduje celkové energetické náklady na výrobu tlače v USA z dreva, s následným uložením na skládke, alebo v spaľovni na 12 kWh/kg; energetické náklady výroby tlače z recyklovaného materiálu a jeho recyklácia znamená 6 kWh/kg.

91 *Energetická náročnosť cestnej dopravy v Británii je približne 1 kWh na t-km.* Zdroj: www.dft.gov.uk/pgtr/statistics/datatablespublications/energyenvironment.

- *Energetická náročnosť lodnej dopravy v Británii je približne 0,015 kWh na t-km.* Nákladná loď *The Ever Uberty* – dĺžka 285 m, šírka 40 m – má kapacitu 4948 TEUs, hmotnosť lode bez nákladu 63 000 t, rýchlosť 25 uzlov; normálny výkon motora je 44 MW. Jedna TEU má veľkosť malých 20-stopových kontajnerov – približne 40 m³. Väčšina dnešných kontajnerov sú 40-stopové kontajnery s veľkosťou 2 TEU. 40-stopový kontajner váži 4 tony a odvezie 26 ton nákladu. Ak predpokladáme 50-percentnú účinnosť motora, energetická spotreba lode predstavuje 0,015 kWh chemickej energie na t-km. [www.mhi.co.jp/en/products/detail/container ship ever uberty.html](http://www.mhi.co.jp/en/products/detail/container%20ship%20ever%20uberty.html)

- *...v Británii podiel medzinárodnej lodnej dopravy...* Zdroj: Anderson a kol. (2006).

92 **Obrázok 15.8. Energetická spotreba lodí.** 5 bodov na obrázku sú nákladná loď (46 km/h), nákladná loď na suchý náklad (24 km/h), ropný tanker (29 km/h), vnútrozemská loď (24 km/h) a loď NS Savannah (39 km/h).

Nákladná loď na suchý náklad 0,08 kWh/t-km. Plavidlo s kapacitou 5200 m³ unesie 3360 ton mŕtvej hmotnosti (to je maximálny možný náklad, ktorý loď unesie). Dosahuje rýchlosť 13 kn (24 km/h); jeden jej motor s výkonom 2 MW spotrebúva 186 g paliva na jednu kWh (42 % účinnosť). conoship.com/uk/vessels/detailed/page7.htm

Ropný tanker Moderný ropný tanker spotrebúje 0,017 kWh/t-km [6lbrab]. Hmotnosť nákladu: 40 000 t. Kapacita: 47 000 m³. Hlavný motor: 11,2 MW maximálny výkon. Rýchlosť pri výkone 8,2 MW: 15,5 kn [knots – uzlov – pozn. prekl.] (29 km/h). Energia obsiahnutá v náklade ropy je 520 miliónov kWh. Takže 1 % energie v palive sa spotrebúje na jeho prevoz na vzdialenosť ¼ cesty okolo Zeme (10 000 km).

Lodná kombinovaná preprava tovaru Lode spoločnosti Wilh. Wilhelmsen dovážajú náklad pri energetických nákladoch medzi 0,028 až 0,05 kWh/t-km [5ctx4k].

92 *Dovoz vody a spracovanie odpadu stojí 0,4 kWh/d na osobu.* Celková spotreba energie vodného priemyslu v rokoch 2005 - 2006 bola 7703 GWh. Zásobovanie 1 m³ vody znamená 0,59 kWh. Spracovanie 1 m³ odpadu znamená energetické náklady 0,63 kWh. Ak vás zaujímajú emisie skleníkových plynov, zásobovanie vodou má uhlíkovú stopu 289 g CO₂ na m³ a spracovanie odpadovej vody 406 g CO₂ na m³.

Spotreba vody v domácnosti je 151 litrov za deň na osobu. Celková spotreba vody je 221 l/d na osobu. Straty predstavujú 57 litrov za deň na osobu. Zdroje: Vládny úrad pre vedu a technológiu [www.parliament.uk/documents/upload/postpn282.pdf], Water UK (2006).

93 *Supermarkety v Británii spotrebujú 11 TWh/rok.* [yqbz13]

- *Helm a kol. vypočítali, že pri započítaní vývozu a dovozu sa uhlíková stopa Britov takmer zdvojnásobí na približne 21 ton.* (Helm a kol. 2007)



16 Geotermálna energia

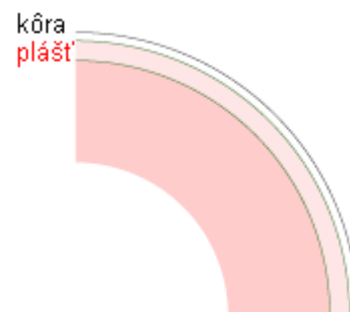
Geotermálna energia pochádza z dvoch zdrojov: z rádioaktívneho rozkladu v zemskej kôre a tepla prenikajúceho z jadra cez zemský plášť. Jadro Zeme je teplé, pretože Zem bola v minulosti horúca a stále sa ochladzuje a tuhne; zdrojom tepla v zemskom jadre je taktiež trenie vznikajúce pri slapových javoch: Zem sa rozťahuje pôsobením gravitačných polí Mesiaca a Slnka, rovnako ako sa mení tvar pomaranča pri stlačení a otáčaní v rukách.

Využívanie geotermálnej energie je veľmi lákavé, pretože je neustále „k dispozícii“ bez ohľadu na počasie; ak by sme postavili geotermálne elektrárne, mohli by sme ich vypínať a zapínať podľa potreby.

Ale koľko takejto energie máme k dispozícii? Môžeme uvažovať o dvoch druhoch geotermálnej energie: o energii dostupnej na bežnej lokalite v zemskej kôre a o energii dostupnej iba na špecifických aktívnych miestach, ako je napríklad Island (obrázok 16.3). Zatiaľ čo najlepším miestom pre rozvoj geotermálnej technológie sú jednoznačne takéto lokality, pre naše potreby budem predpokladať, že väčšie možnosti pochádzajú z bežných lokalít, pretože sú oveľa početnejšie.

Problém výroby geotermálnej energie *trvalo udržateľným* spôsobom je ten, že rýchlosť, akou sa teplo dostane cez horniny obmedzuje tiež rýchlosť, akou môžeme teplo udržateľne odčerpávať z rozpáleného stredu planéty. Je to podobné, ako keby sme sa snažili piť nápoj s rozdrveným ľadom cez slamku. Po strčení slamky do pohára a po prvom potiahnutí prichádza ľadová voda. Ale ak pijete ďalej, zistíte, že sŕkate už len vzduch. Odčerpali ste všetku vodu z ľadu v okolí špičky slamky. Počiatočná rýchlosť pitia teda nebola trvalo udržateľná.

Ak strčíte „slamku“ 15 km hlboko do zeme zistíte, že je tam príjemne teplo, dostatočne horúco na uvarenie vody. Takže je možné strčiť do zeme aj druhú slamku, pumpovať ňou studenú vodu smerom dole a druhou slamkou pumpovať teplú paru smerom nahor. Môžete tak rozbehnúť elektrárne. Neobmedzený zdroj elektrickej energie? Nie. Po chvíľke ťahania tepla zo zeme teplota hornín v okolí klesá. Neľahali ste trvalo udržateľným spôsobom. Musíte dosť dlho čakať, kým sa hornina v okolí slamky znovu ohreje. Možný prístup predstavuje analógiu k fosílnym palivám: na geotermálnu energiu sa budeme pozerat' ako na zdroj, ktorý budeme ťažiť, a nie trvalo udržateľne zbierať. Existovať takýmto spôsobom v prípade geotermálnej energie môže byť pre planétu prijateľnejšie ako v prípade fosílnych palív; možno tak však získame energiu na ďalších povedzme 100 rokov? V tejto knihe sa ale zaoberám *trvalo udržateľnou* energiou, ako naznačuje jej názov. Vypočítajme to.



Obrázok 16.1. Prierez Zeme.



Obrázok 16.2. Granit.



Obrázok 16.3. Geotermálna elektrárňa na Islande. Priemerná výroba geotermálneho výkonu na Islande (populácia 300 000) v roku 2006 bola 300 MW (24 kWh/d na osobu). Viac ako polovica elektriny Islandu sa spotrebuje na výrobu hliníka. Fotografia: Gretar Ívarsson.

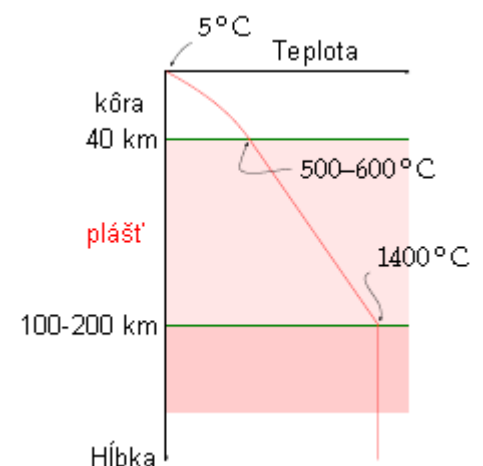
Navždy udržateľná geotermálna energia

Najprv si predstavme geotermálnu energiu využívanú trvalo udržateľne tak, že strčíme slamky do vhodnej hĺbky a budeme *pomaly* odsávať. Odsávať takou rýchlosťou, aby sa horniny v okolí koncov našich slamiiek neochladzovali stále viac a viac. To znamená odsávanie energie takou rýchlosťou, ktorou prichádza teplo zo zemského jadra.

Ako som už povedal, geotermálna energia prichádza z dvoch zdrojov: z rádioaktívneho rozkladu v kôre zeme a z tepla prenikajúceho z jadra cez zemský plášť. V typickom prípade je tok tepla prechádzajúci plášťom približne 10 mW/m^2 . Tepelný tok na povrchu je asi 50 mW/m^2 . Takže rádioaktívny rozklad pridal ďalších 40 mW/m^2 k toku prichádzajúcemu z jadra.

V typickej lokalite je teda maximálny výkon, ktorý môžeme získať na jednotku plochy, 50 mW/m^2 . To ale nie je kvalitná energia, je to teplo nízkej kvality, ktoré sa pri bežných teplotách dostáva nahor. Predpokladám ale, že my chceme vyrobiť elektrickú energiu a preto musíme vrtať hlbšie. Teplo je užitočné iba vtedy, ak pochádza zo zdroja s vyššou teplotou ako má okolie. Ako ukazuje obrázok 16.4, s hĺbkou sa teplota zvyšuje a v hĺbke 40 km dosahuje $500 \text{ }^\circ\text{C}$. Medzi hĺbkou 0 km, kde je tok tepla najväčší, ale teplota skál je príliš nízka a hĺbkou 40 km, kde sú skaly najteplejšie, ale tok tepla je päťnásobne nižší (pretože nám chýba teplo vznikajúce pri rádioaktívnom rozpade), existuje optimálna hĺbka na získavanie energie. Presná optimálna hĺbka závisí od spôsobu získavania energie a použitej technológie. Maximálne množstvo trvalo udržateľnej energie môžeme zabezpečiť tak, že nájdeme optimálnu hĺbku pri predpoklade, že máme dokonalý motor premieňajúci teplo na elektrinu, a že vrtanie do ľubovoľnej hĺbky je zadarmo.

V prípade profilu teploty zobrazeného na obrázku 16.4 som vypočítal, že optimálna hĺbka je okolo 15 km. Pri týchto podmienkach by ideálny



Obrázok 16.4. Typický profil teploty na kontinentoch.

tepelný motor dodával 17 mW/m^2 . Pri populačnej hustote sveta 43 ľudí na km^2 to znamená 10 kWh za deň na osobu, ak by sme využili *všetky* kontinenty. V Británii je hustota populácie 5-násobne vyššia ako vo zvyšku sveta, takže veľkoplošná geotermálna trvalo udržateľná energia by znamenala najviac **2 kWh za deň na osobu**.

Ide o hodnotu, ktorá predpokladá trvalú udržateľnosť navždy, ignoruje geotermálne aktívne miesta, predpokladá dokonalé elektrárne, využitie každého metra štvorcového krajiny a predpokladá možnosť vrtať do hĺbky 15 km.

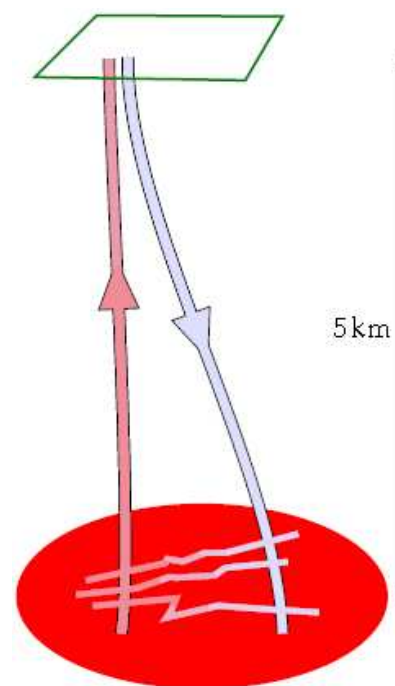
Ťažba geotermálnej energie

Iná stratégia je pristupovať ku geotermálnej energii ako ku zdroju, ktorý možno ťažiť. Pri „geotermálnej ťažbe s vyššou účinnosťou“ zo suchých, horúcich hornín (obrázok 16.5) najprv vrtáme do hĺbky 5 alebo 10 km a rozbijeme horninu prúdom vody. (Tento krok môže spôsobiť zemetrasenie, čo miestni obyvatelia nemusia dobre prijať). Potom navštívame druhú studňu do miesta zlomu. Následne pumpujeme vodu dole jedným vrtom a vyťahujeme prehriatu vodu vrtom druhým. Vodu potom môžeme využiť na výrobu elektriny alebo na výrobu tepla. Aké sú zásoby suchých horúcich hornín v Británii? Nanešťastie nie veľmi veľké. Väčšina zdrojov je v Cornwalle, kde sa už v roku 1985 uskutočnili niektoré geotermálne pokusy na výskumnej stanici pri Rosemanowes, ktorá je teraz zatvorená. Špecialisti účastníci sa prebiehajúcich experimentov dospeli k záveru, že „výroba elektrickej energie zo suchých horúcich hornín v Cornwalle nebude v krátko- ani strednodobom výhľade pravdepodobne technicky ani komerčne dostupná.“ Aj napriek tomu, o aký veľký zdroj ide? Najvyšší odhad zdrojov suchých horúcich skál v Británii je 130 000 TWh celkovej energie, ktorý by podľa špecialistov mohol teoreticky prispievať množstvom **1,1 kWh za deň na osobu** elektrickej energie približne 800 rokov.

Iné lokality na svete disponujú sľubnejšími zdrojmi, takže ak by ste mali záujem o informácie o potenciálnych možnostiach v iných krajinách, neváhajte sa opýtať miestnych odborníkov. Ale v Británii pôjde nanešťastie vždy o okrajové využitie.

Nevyužíva sa už geotermálna energia v Southamptone? Koľko energie tak získavame?

Áno, geotermálny vykurovací systém (Geothermal District Heating Scheme) v Southamptone bol aspoň v roku 2004 jediným svojho druhu v Británii. Zásobuje mesto horúcou vodou. Geotermálna studňa je časťou kombinovaného tepelného, elektrického a chladiaceho systému, ktorý dodáva zákazníkom horúcu a chladenú vodu a predáva elektrinu do siete. Geotermálna energia prispieva asi 15 % z celkových 70 GWh tepla ročne, ktoré celý tento systém zabezpečuje. V Southamptone žilo bola podľa



Obrázok 16.5. Geotermálna ťažba s vyššou účinnosťou zo suchých horúcich hornín. Jeden vrt je vyvrtaný pod tlakom, aby vytvoril zlomy. Druhý vrt je vedený mimo zlomovej zóny. Dole jedným vrtom sa spúšťa studená voda, a hore druhým vrtom sa privádza horúca voda (dokonca para).

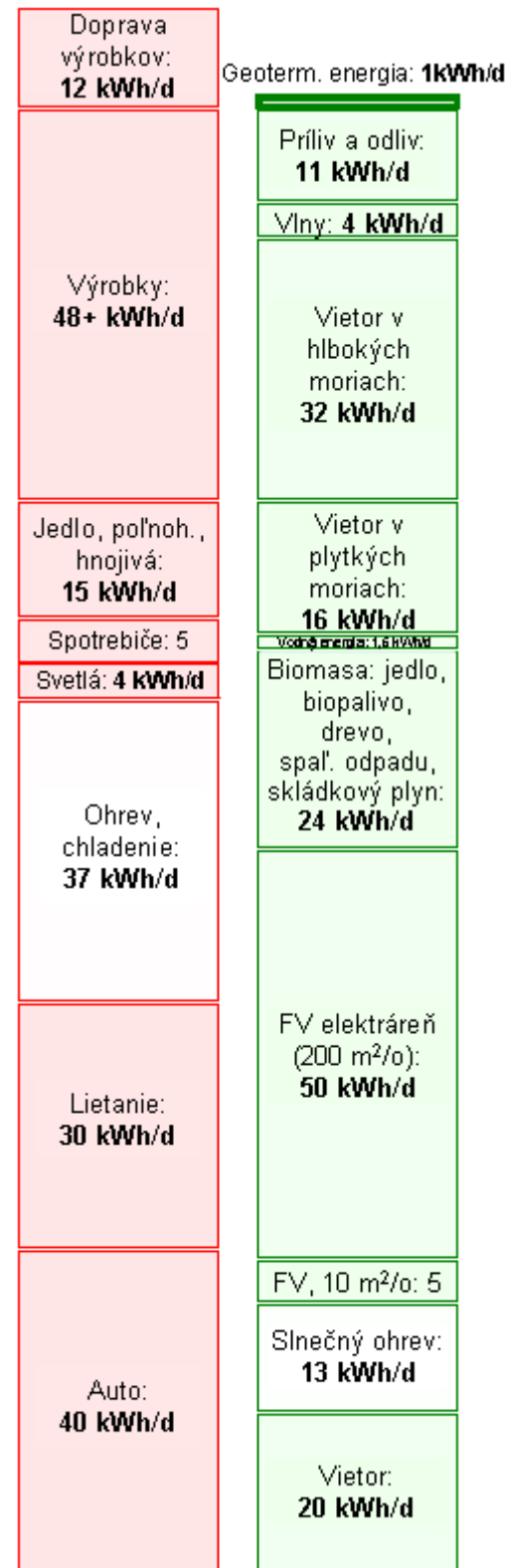


posledného sčítania 217 445 ľudí, takže množstvo geotermálnej energie predstavuje **0,13 kWh/d** na obyvateľa tohto mesta.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

- Tok tepla na povrchu je 50 mW/m².* Massachusettský technologický inštitút (MIT, 2006) udáva 59 mW/m² v priemere, s rozsahom od 25 mW do 150 mW v USA. Shepherd (2003) udáva 63 mW/m².
- „*Výroba elektrickej energie zo suchých horúcich skál v Cornwalle nebude v krátko- ani strednodobom výhlade pravdepodobne technicky alebo komerčne dostupná.*“ Zdroj: McDonald a kol. (1992). Pozri tiež Richards a kol. (1994).
- *Najvyšší odhad zdroja suchých horúcich skál v Británii... by mohol teoreticky prispieť množstvom 1,1 kWh za deň na osobu elektrickej energie počas 800 rokov.* Zdroj: MacDonald a kol. (1992).
- *Iné lokality na svete disponujú sľubnejšími zdrojmi.* V cennej štúdii (MIT, 2006) sú opísané zásoby zdrojov horúcich suchých skál v USA. Iný, ešte špekulatívnejší prístup k získavaniu energie, ktorý v 70-tych rokoch skúmali Sandia National Laboratories, je založený na vítaní až k magme s teplotami 600 - 1300 °C do hĺbky 15 km. Webová stránka www.magma-power.com odhaduje, že teplo z magmy pod USA by pokrylo spotrebu obyvateľstva na 500 až 5000 rokov, a že je možné ju ekonomicky vyťažiť.
- *Geotermálny vykurovací systém v Southamptone.* www.southampton.gov.uk.



Obrázok 16.6. Geotermálna energia.

17 Verejné služby

Každá vyrobená zbraň, každá na vodu spustená vojnová loď, každá vypálená raketa v konečnom dôsledku zvyrazňuje krádež na tých ľuďoch, ktorí hladujú bez možnosti najesť sa a zimujú bez možnosti obliecť sa.

Tento ozbrojený svet však nemíňa iba peniaze. Míňa pot svojich robotníkov, génia svojich vedcov, nádeje svojich detí.

Prezident Dwight D. Eisenhower – Apríl, 1953

Energetické náklady „obranu“

Podme vypočítať, koľko energie spotrebuje naša armáda.

V rokoch 2007 - 2008 bol podiel výdavkov britskej vlády na armádu 33 miliárd libier/587 miliárd libier = 6 %. Ak započítame aj výdavky na boj proti terorizmu a tajné služby (2,5 miliardy ročne a náklady rastú), celkové výdavky na obranu predstavujú 36 miliárd libier.

Na základe hrubého odhadu môžeme predpokladať, že z týchto 36 miliárd libier sa 6 % spotrebuje na energiu pri cene 2,7 pencí na kWh (6 % je podiel HDP spotrebovaný na energiu, 2,7 je priemerná cena energie.) To zodpovedá približne 80 TWh energie ročne na obranu: výrobu nábojov, bômb, jadrových zbraní a na udržovanie pripravenosti na ďalší boj dobra proti zlu. V našich obľúbených jednotkách to zodpovedá **4 kWh za deň na osobu**.

Náklady na jadrovú obranu

Na výrobu a rozmiestnenie jadrových zbraní vynaložilo USA v rokoch 1945 až 1996 5,5 triliónov dolárov (v hodnote doláru z roku 1996).

Výdavky v priebehu tohto obdobia prekročili sumu výdavkov na vzdelávanie, poľnohospodárstvo, školenia, zamestnanosť a sociálne služby, prírodné zdroje a životné prostredie, vedu, vesmír a technológiu, spoločenský a regionálny rozvoj (vrátane pomoci pri katastrofách), vymáhanie zákonov, výrobu energie a reguláciu.

Ak znovu predpokladáme, že 6 % týchto výdavkov pohltila energia pri cene 5 centov na kWh, zistíme, že energetické náklady jadrových zbraní na jedného Američana boli 26 000 kWh, alebo **1,4 kWh za deň na jedného Američana** (pri rozdelení medzi 250 miliónov Američanov za 51 rokov).

Aké množstvo energie by získali šťastní príjemcovia, ak by sa všetky jadrové zbrane použili? Množstvo energie najväčších termojadrových zbraní vyrobených v USA a ZSSR sa udáva v megatonách TNT. Jedna tona TNT obsahuje 1200 kWh. Bomba, ktorá zničila Hirošimu, mala



energiu 15 000 ton TNT (18 miliónov kWh). *Megatonová* bomba uvoľní 1,2 miliardy kWh energie. Pri zhození na mesto s miliómom obyvateľov každý obyvateľ obdrží energiu 1200 kWh, čo sa rovná 120 litrom benzínu. Celková energia jadrového arzenálu USA je dnes 2400 megaton uložených v 10 000 hlaviciach. Za starých dobrých čias, keď sa obrana brala naozaj vážne, množstvo energie arzenálu zbraní bolo 20 000 megaton. Ak by sa tieto bomby použili, uvoľnili by energiu približne 100 000 kWh na jedného Američana. To sa rovná množstvu 7 kWh za deň počas 40 rokov – podobne ako je množstvo všetkej elektrickej energie vyrobenej atómovými elektrárnami v Amerike.

Energetické náklady na výrobu jadrového materiálu pre bomby

Hlavným jadrovým materiálom je plutónium, ktorého sa v USA vyrobilo 104 t a obohatený urán (HEU), ktorého sa v USA vyrobilo 994 t. Výroba týchto materiálov vyžaduje energiu.

Najúčinnnejšie továrne na výrobu plutónia spotrebujú 24 000 kWh tepla na výrobu 1 gramu plutónia. Takže priame energetické náklady na výrobu 104 t (1945 - 1996) predstavovali najmenej 2,5 triliónov kWh, teda 0,5 kWh za deň na osobu (pri rozdelení medzi 250 miliónov Američanov).

Hlavné energetické náklady pri výrobe HEU predstavuje jeho obohacovanie. Energia sa spotrebúje na oddelenie izotopov ^{235}U a ^{238}U vyskytujúcich sa v prirodzenom uráne, pričom vzniká konečný produkt, ktorý obsahuje viac ^{235}U . Výroba 994 t obohateného uránu v USA (za obdobie 1945 - 1996) znamenala energetické náklady približne 0,1 kWh za deň na osobu.

„Trident vytvára pracovné príležitosti.“ No takisto ako používanie azbestu pri prestavbe škôl to však neznamená, že by sme to mali robiť!*

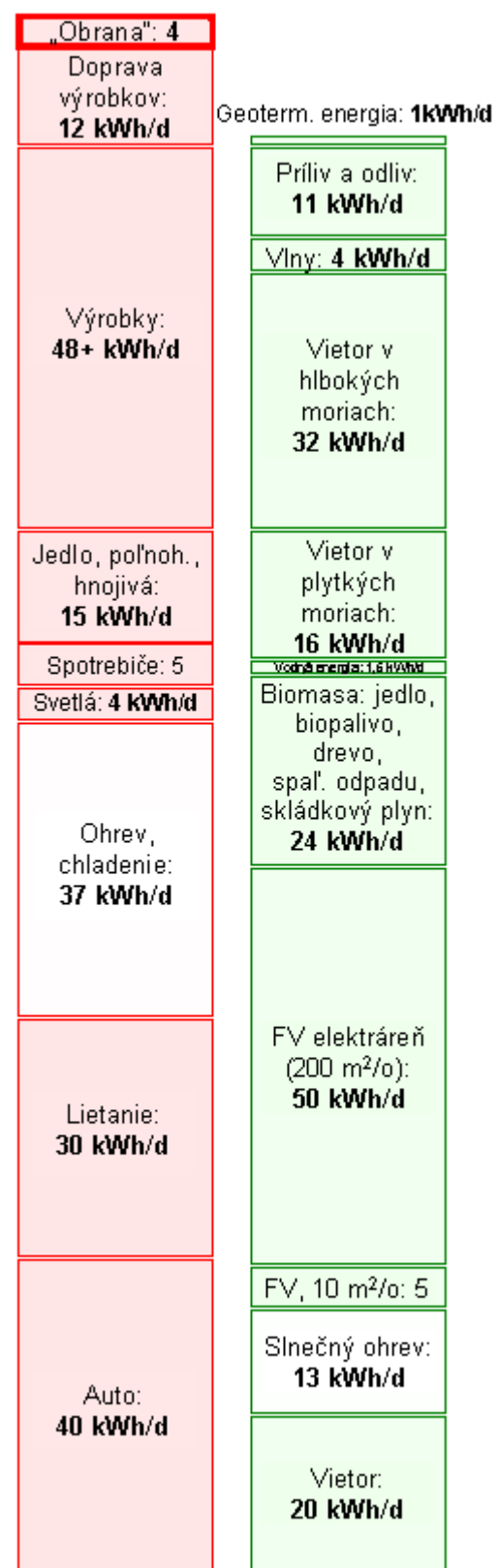
Marcus Brigstocke

Univerzity

Podľa Times Higher Education Supplement (30. marec 2007) britské univerzity spotrebujú 5,2 miliardy kWh za rok. Po rozložení na celú populáciu to znamená **0,24 kWh za deň na osobu**.

Takže vyššie vzdelávanie a výskum má oveľa nižšie energetické náklady ako obranné vojnové hry.

Pravdepodobne existujú iné energeticky náročné verejné služby, o ktorých by sme mohli hovoriť, ale v tejto chvíli by som ukončil súperenie medzi červeným a zeleným stĺpcom.



Obrázok 17.1. Energetické náklady obrany v Británii sú odhadované na približne 4kWh za deň na osobu.

* Raketa Trident je z ponorky odpáliteľná balistická raketa nesúca jadrové hlavice. Sú nimi vybavené americké a britské jadrové ponorky – pozn. prekl.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

100 energetický rozpočet armády. Rozpočet britskej armády možno nájsť na [yttg7p]; obrana dostane 33,4 miliardy libier [fcqfw] a tajná služba a protiteroristická jednotka 2,5 miliardy libier na rok [2e4fcs]. Podľa strany 14 Vládnych plánov výdavkov na roky 2007/08 [33x5kc] je „celkový rozpočet“ ministerstva obrany väčší, 39 miliárd libier, z ktorých je 33,5 miliardy určených na „provízie obranyschopnosti“ a 6 miliárd libier je určených na platy ozbrojených síl a na dôchodky a vojnové dôchodky. Rozbor rozpočtu možno nájsť na: [35ab2c]. Pozri tiež [yg5fsj], [yfgjna] a www.conscienceonline.org.uk.

Rozpočet spotreby energie armády USA je zverejnený: „Ministerstvo obrany je najväčším spotrebiteľom energie v Spojených štátoch. V roku 2006 minulo 13,6 miliardy dolárov na nákup 110 miliónov barelov benzínového paliva [zhruba 190 miliárd kWh] a 3,8 miliardy kWh elektriny“ (Ministerstvo obrany, 2008). Tento údaj opisuje priamu spotrebu paliva a elektriny a nezahŕňa zabudovanú energiu vybavenia armády. Po rozdelení medzi amerických 300 miliónov obyvateľov to znamená **1,7 kWh/d na osobu**.

- *Na výrobu a rozmiestnenie jadrových zbraní vynaložilo USA v rokoch 1945 až 1996 5,5 triliónov dolárov (v hodnote dolárov z roku 1996). Zdroj: Schwartz (1998).*

101 Energetické náklady výroby plutónia. [slbae].

- *Výroba 994 t obohateného uránu v USA...* Materiál obohatený o 4 % až 5 % ^{235}U sa nazýva nízko obohatený urán (LEU). 90 % obohatený urán sa nazýva vysoko obohatený urán (HEU). Na obohatenie uránu z prirodzeného stavu na 5 % LEU je potrebné trojnásobné množstvo práce ako je množstvo práce potrebnej na obohatenie LEU na 90 % HEU. Jadrový priemysel meria tieto energetické požiadavky v jednotkách nazývaných jednotka separačnej práce (SWU). Na výrobu 1 kg ^{235}U ako LEU (v 22,7 kg LEU) je potreba približne 151 SWU. V oboch prípadoch sa začína s prirodzeným uránom (0,71 % ^{235}U) a ako odpad vzniká ochudobnený urán obsahujúci 0,25 % ^{235}U .

SWU na komerčnom trhu s jadrovým palivom má hodnotu asi 100 dolárov. Na ročný pohon typického 1000 MW komerčného jadrového reaktora je potrebných asi 100 000 SWU obohateného uránu. Dnes existujú dve metódy obohacovania uránu na trhu: plynová difúzia a plynová centrifugácia. Proces plynovej difúzie spotrebuje približne 2500 kWh na SWU, zatiaľ čo elektrárne na moderné plynové odstredovanie spotrebujú iba 50 kWh na SWU. [yh45h8], [t2948], [2ywzee]. Moderné centrifúgy vyrábajú približne 3 SWU za rok.

Výroba 994 ton vysoko obohateného uránu v USA (za obdobie 1945 - 1996) stojí 230 miliónov SWU, čo znamená 0,1 kWh/d na osobu (pri predpoklade 250 miliónov Američanov a spotrebe difúzneho obohacovania 2500 kWh/SWU).



18 Dokážeme žiť z obnoviteľných zdrojov?

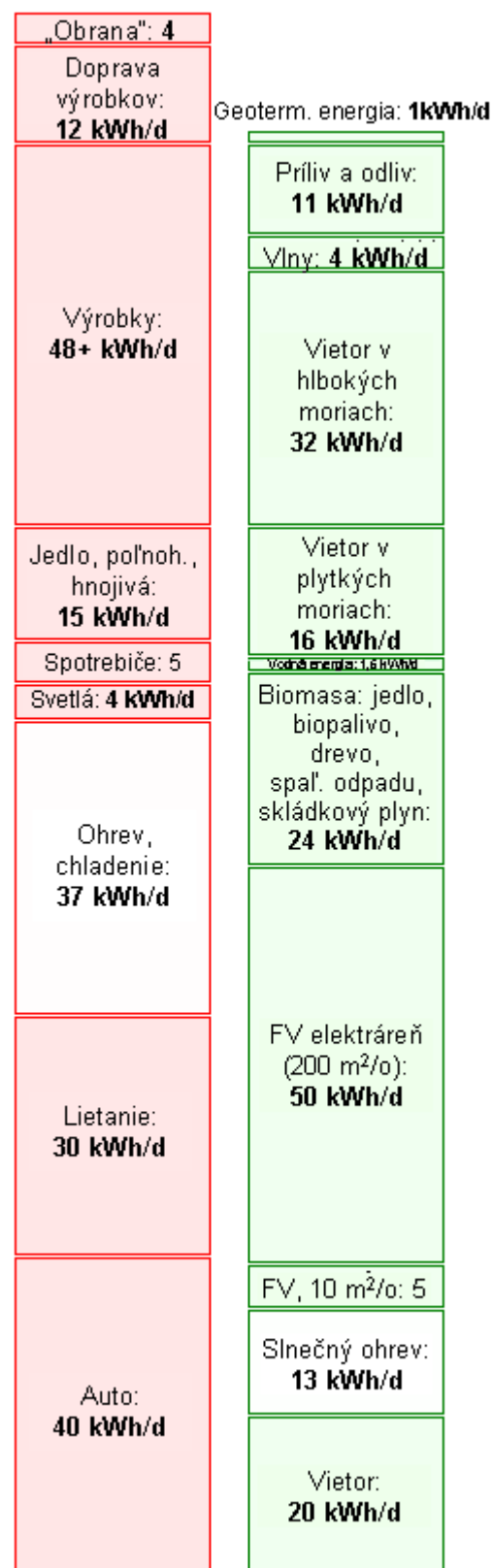
Červený stĺpec na obrázku 18.1 sa vyšplhal na hodnotu **195 kWh za deň na osobu**. Zelený stĺpec sa vyšplhal na hodnotu **180 kWh/d/o**. Tesne! Majte na pamäti, prosím, že pri počítaní výroby sme nebrali do úvahy žiadne ekonomické, sociálne a environmentálne limity. Podobne niektoré z našich zelených príspevkov sú pravdepodobne navzájom nezlučiteľné: naše fotovoltaické panely a termálne panely by sa spolu na strechu nezmestili; a naše solárne fotovoltaické parky na ploche 5 % krajiny môžu súperiť s energetickými plodinami, ktoré pokrývajú 75 % krajiny. Ak by sme prišli čo len o jeden z významnejších zelených príspevkov – napríklad, ak by sme sa rozhodli, že turbíny v hlbokých oceánoch nie sú riešením, alebo že pokrytie 5 % krajiny fotovoltaikou pri cene 200 000 libier na osobu nie je možné – potom by stĺpec výroby nestačil na stĺpec spotreby.

Dokonca ak by bol náš červený stĺpec spotreby nižší ako zelený stĺpec, neznamenalo by to nevyhnutne, že by to bolo dostatočné. Napríklad nemôžete poháňať televíziu žrádlom pre mačku a rovnako tak nedokážete nakŕmiť mačku z veternej turbíny. Energia existuje v rôznych formách – napríklad chemickej, elektrickej, kinetickej či tepelnej. Na zmysluplný trvalo udržateľný energetický plán potrebujeme, aby sa jednotlivé formy a objemy energie vo výrobe a spotrebe navzájom dopĺňali. Premena energie z jednej formy na druhú – z chemickej na elektrickú, ako v prípade elektrárne na fosílna palivá, alebo z elektrickej na chemickú, ako pri výrobe vodíka z vody, obvykle znamená významné straty veľmi potrebnej energie. K tomuto dôležitému detailu sa vrátíme v kapitole 27, ktorá popisuje niektoré energetické plány, ktoré dávajú zmysel.

Tu sa venujeme zhodnoteniu výpočtov spotreby a výroby, porovnáme ich s oficiálnymi údajmi a odhadmi iných ľudí a budeme diskutovať, koľko energie je možné pravdepodobne získať trvalo udržateľným spôsobom.

Otázky, ktorým sa v tejto kapitole budem venovať, sú nasledovné:

1. Je veľkosť červeného stĺpca zhruba správna? Aká je *priemerná* spotreba v Británii? Pozrieme sa na oficiálne čísla spotreby energie Británie a niektorých iných krajín.
2. Bol som voči obnoviteľným zdrojom nespravodlivý a podhodnotil som ich potenciál? Porovnáme výpočty v zelenom stĺpci s výpočtami publikovanými takými organizáciami ako sú Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj (Sustainable Development Commission), Inštitút elektrických inžinierov (Institution of Electrical Engineers) a Centrum pre alternatívne technológie (Centre for Alternative Technology).
3. Čo sa stane so zeleným stĺpcom, ak zoberiem do úvahy sociálne a ekonomické faktory?



Obrázok 18.1. Stav hry, potom, čo sme pridali všetky tradičné zdroje obnoviteľných zdrojov energie.

Úvahy nad spotrebou

Náš odhad spotreby typicky bohatého človeka (obrázok 18.1) dosiahol **195 kWh za deň**. Je naozaj pravda, že mnoho ľudí takúto spotrebu dosahuje a mnoho ďalších ľudí sa o takúto spotrebu usiluje. *Priemerný Američan* spotrebuje približne **250 kWh za deň**. Ak by sme všetci zdvihli našu štandardnú spotrebu na úroveň priemerného Američana, zelený stĺpec výroby by bol nepomerne menší ako červený stĺpec výroby.

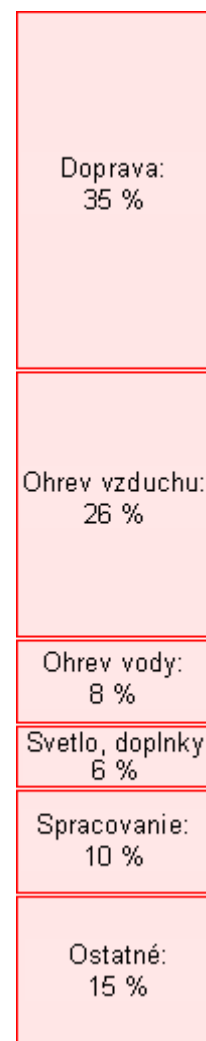
A čo priemerný Európan a priemerný Brit? Európan priemerne spotrebuje približne **125 kWh za deň na osobu** „primárnej energie“ (čo predstavuje energiu obsiahnutú v nespracovaných palivách, vetre a vodnej elektrickej energii). Priemerná spotreba v Británii je tiež **125 kWh za deň na osobu**.

Tieto oficiálne priemery nezahŕňajú dva energetické toky. Po prvé, „zabudovaná energia“ v *dovezenom* tovare (energia potrebná na výrobu tovaru) nie je zahrnutá vôbec. V kapitole 15 sme vypočítali, že zabudovaná energia v dovezenom tovare je najmenej 40 kWh/d na osobu. Po druhé, teda oficiálne údaje „spotreby primárnej energie“, zahŕňajú iba priemyselné toky energie – ako fosílna palivá a vodná energia – ale nesledujú pôvodnú zabudovanú energiu v jedle: energiu, ktorú pôvodne zabezpečila fotosyntéza.

Ďalší rozdiel medzi červeným stĺpcom spotreby, ktorý sme dali dokopy a národnými údajmi je, že vo väčšine kapitol týkajúcich sa spotreby sme mali tendenciu zanedbávať energetické straty pri premenách jednej formy energie na inú a pri prevoze energie. Napríklad výpočet pre „auto“ v I. časti zahŕňal iba energiu benzínu, a nie energiu spotrebovanú v ropnej rafinérii, kde sa benzín vyrába, alebo energiu potrebnú na prenos ropy a benzínu z miesta A na miesto B. Národný údaj celkovej spotreby započítava všetku energiu, ešte pred týmito konverznými stratami. Konverzné straty v skutočnosti zodpovedajú približne za 22 % celkovej energetickej spotreby. Väčšina týchto strát sa odohráva v elektrárňach. Straty v rozvodnej elektrickej sieti zodpovedajú za 1 % celkovej spotreby energie.

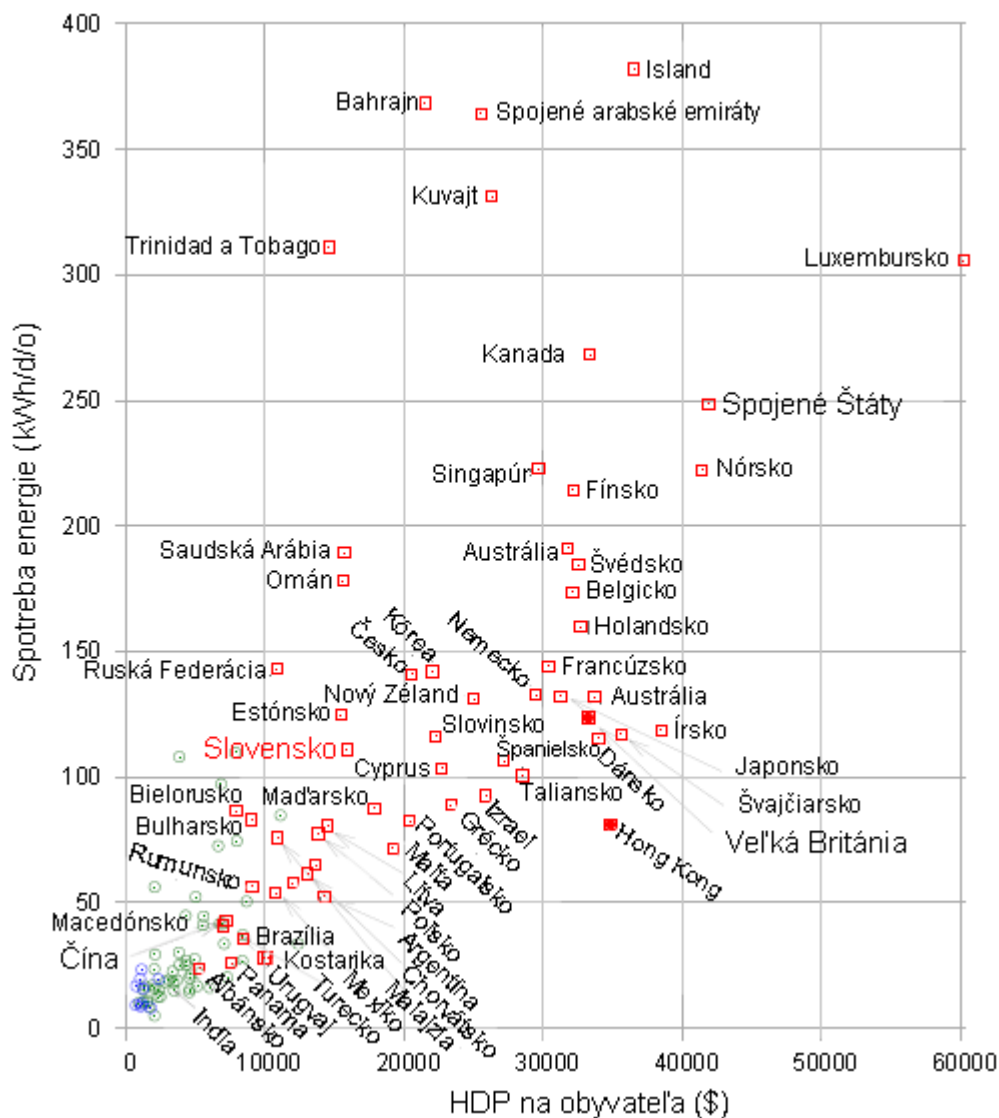
Pri budovaní červeného stĺpca sme sa snažili predstaviť si, koľko energie spotrebuje typicky bohatý spotrebiteľ. Znamená tento prístup, že relatívny význam jednotlivých aktivít sa líši? Porovnajme naše údaje s oficiálnymi. Obrázok 18.2 ukazuje rozbor koncovej spotreby energie. Prvé dve kategórie sú doprava a ohrev (teplý vzduch a voda). Tieto dve kategórie takisto dominovali v červenom stĺpci v I. časti. Dobré.

Cestná doprava	Nafta	22,5
Železnice	Nafta	0,4
Riečna doprava	Nafta	1,0
Letecká doprava	Nafta	7,4
Všetka doprava	Elektrina	0,4
Všetka energia na dopravu		31,6



Obrázok 18.2. Spotreba energie, rozložená podľa koncovej spotreby, podľa Ministerstva obchodu a priemyslu.

Tabuľka 18.3. Rozbor spotreby energie v roku 2006 podľa spôsobu dopravy, v kWh/d na osobu. Zdroj: Ministerstvo dopravy (2007).



Obrázok 18.4. Spotreba energie na osobu proti HDP na osobu, v parite kúpnej sily amerických dolárov. Štvorce znázorňujú krajiny s „vysokým indexom ľudského rozvoja;“ kruhy „stredný“ alebo „nízky“ index. Obrázok 30.1 (strana 231) ukazuje tie isté údaje na logaritmickej škále.

Pozrime sa bližšie na dopravu. V našom červenom stĺpci sme zistili, že energetická stopa jazdenia v aute na vzdialenosť 50 km denne a let do mesta Cape Town raz za rok je približne rovnaká. Tabuľka 18.3 ukazuje relatívny význam rozdielnych spôsobov dopravy v národnej bilancii. Podľa národného priemeru tvorí letecká doprava menší podiel.

Aké sú oficiálne údaje o spotrebe energie v Británii v porovnaní s inými krajinami? Obrázok 18.4 znázorňuje spotrebu energie mnohých krajín a regiónov proti ich hrubému domácomu produktu (HDP). Existuje zjavný súvis medzi spotrebou energie a HDP: čím vyšší HDP (na osobu), tým vyššia spotreba energie na osobu. Británia je typickou krajinou s vysokým HDP, v obklopení Nemecka, Francúzska, Japonska, Austrálie, Írska, Švajčiarska a Dánska. Jedinou významnou výnimkou z pravidla „vysoké HDP znamená vysokú spotrebu“ je Hong Kong. HDP na osobu je v Hong Kongu približne rovnaké ako v Británii, ale spotreba energie tu je približne 80 kWh za deň na osobu.



Obrázok 18.5. Hong Kong. Fotografia Samuel Louie a Carol Spears

Pre mňa z týchto údajov a porovnaní vyplýva, že Británia patrí medzi typické európske krajiny, a preto ponúka dobrý príklad na zodpovedanie otázky „Ako môže krajina s vysokou kvalitou života získať energiu trvalo udržateľným spôsobom?“

Úvahy nad výrobou

Ludia často hovoria, že Británia má množstvo obnoviteľných zdrojov. Bol som príliš tvrdý na zelených? Sú moje čísla iba hromadou nezmyslov? Podhodnotil som možnosti obnoviteľných zdrojov? Porovnajme moje zelené údaje s niekoľkými výpočtami podľa štúdie Komisie pre trvalo udržateľný rozvoj *Úloha jadrovej energie v nízko uhlíkovej ekonomii. Znižovanie emisií CO₂ – jadro a alternatívy*. Dokonca aj keď Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj pristupuje k obnoviteľným zdrojom pozitívne („Máme obrovské množstvo zdrojov energie vln, prílivu a odlivu, biomasy a solárnej energie“), *všetky odhady Komisie pre trvalo udržateľný rozvoj sú menšie ako moje!* (Aby som bol presný, všetky odhady celkového potenciálu jednotlivých obnoviteľných zdrojov sú menšie ako moje). Publikácia Komisie pre trvalo udržateľný rozvoj udáva odhady podľa štyroch zdrojov uvedených nižšie (IEE, Tyndall, IAG a PIU). Obrázok 18.6 ukazuje moje odhady spolu s číslami týchto štyroch zdrojov a čísla od Centra pre alternatívne technológie (CAT). Tu je popis každého zdroja.

IEE Inštitút elektrických inžinierov publikoval správu o obnoviteľnej energii v roku 2002 – sumár možných príspevkov obnoviteľných zdrojov v Británii. Druhý stĺpec na obrázku 18.6 ukazuje „technický potenciál“ rozličných obnoviteľných technológií na výrobu elektrickej energie – „horný limit, ktorý pravdepodobne nebude preknaný dokonca ani s pomerne dramatickými zmenami v štruktúre našej spoločnosti a ekonomii.“ Podľa IEE je celkový technický potenciál obnoviteľných zdrojov približne 27 kWh za deň na osobu.

Môj odhad	IEE	Tyndall	IAG	PIU	CAT
Geoterm. en.: 1 kWh/d	Geoterm. en: 10 kWh/d				
Prílív a odliv: 11 kWh/d	Prílív a odliv: 2,4	Prílív a odliv: 3,9	Prílív a odliv: 0,09	Prílív a odliv: 3,9	Prílív a odliv: 3,4
Vlny: 4 kWh/d	Vlny: 2,3	Vlny: 2,4	Vlny: 1,5	Vlny: 2,4	Vlny: 11,4
Vietor v hlbokých moriach: 32 kWh/d					
Vietor v plytkých moriach: 16 kWh/d	Plytké m: 6,4	Plytké m: 4,6	Plytké m: 4,6	Plytké m: 4,6	Plytké moria: 21 kWh/d
Voda: 1,5 kWh/d					
Biomasa: jedlo, biopalivo, drevo, spaľ. odpadu, skládkový plyn: 24 kWh/d	Odpady: 4	Vodná en.: 0,08		Energ. plodiny, spaľovaniu odpadu, skládkový plyn: 31 kWh/d	Vodná en.: 0,5
		Energetické plodiny, odpad: 2	Energetické plodiny, odpad, skládkový plyn: 3		Palivo z biomasy odpad: 8
FV elektrárň (200 m ² /p): 50 kWh/d					
		FV: 0,3	FV: 0,02	FV: 12	FV: 1,4
PV, 10 m ² /p: 5					
Slničný ohrev: 13 kWh/d					Slničný ohrev: 1,3
Vietor: 20 kWh/d	Vietor: 2	Vietor: 2,6	Vietor: 2,6	Vietor: 2,5	Vietor: 1

Obrázok 18.6. Teoretické a praktické výpočty obnoviteľných zdrojov v Británii podľa Inštitútu elektro-technických inžinierov (IEE), Tyndallovho centra, Medziodborovej analytickej skupiny (IAG) a Spolku pre výkon a inovácie (PIU); výpočty plánu „Ostrova Británie“ na rok 2007 podľa Centra pre alternatívne technológie.

Tyndall Tyndallovo centrum odhaduje celkové využiteľné množstvo obnoviteľných zdrojov na 15 kWh za deň na osobu.

IAG Odhady Medziodborovej analytickej skupiny zahŕňajú aj ekonomické aspekty obnoviteľných zdrojov. Ich celkové praktické a ekonomické zdroje (pri maloobchodnej cene 7 pencí/kWh) je 12 kWh za deň na osobu.

PIU Stĺpec Spolku pre výkon a inovácie ukazuje „indikatívny potenciál možností výroby obnoviteľnej energie“ z príspevku DTI k prehľadu PIU v roku 2001. Pre každú technológiu ukazujem ich „praktické maximum“, alebo, ak neudávali praktické maximum, tak ich „teoretické maximum“.

CAT Posledný stĺpec ukazuje čísla z Centra pre alternatívne technológie a ich plán pre „Ostrov Britániu“ podľa Helweg-Larsena a Bulla (2007).

Európa na biopohon

Niekedy sa ma ľudia pýtajú: Naozaj sme pred priemyselnou revolúciou žili iba z obnoviteľných zdrojov? Áno, ale nesmieme zabúdať na dve veci: životný štýl a hustotu populácie.

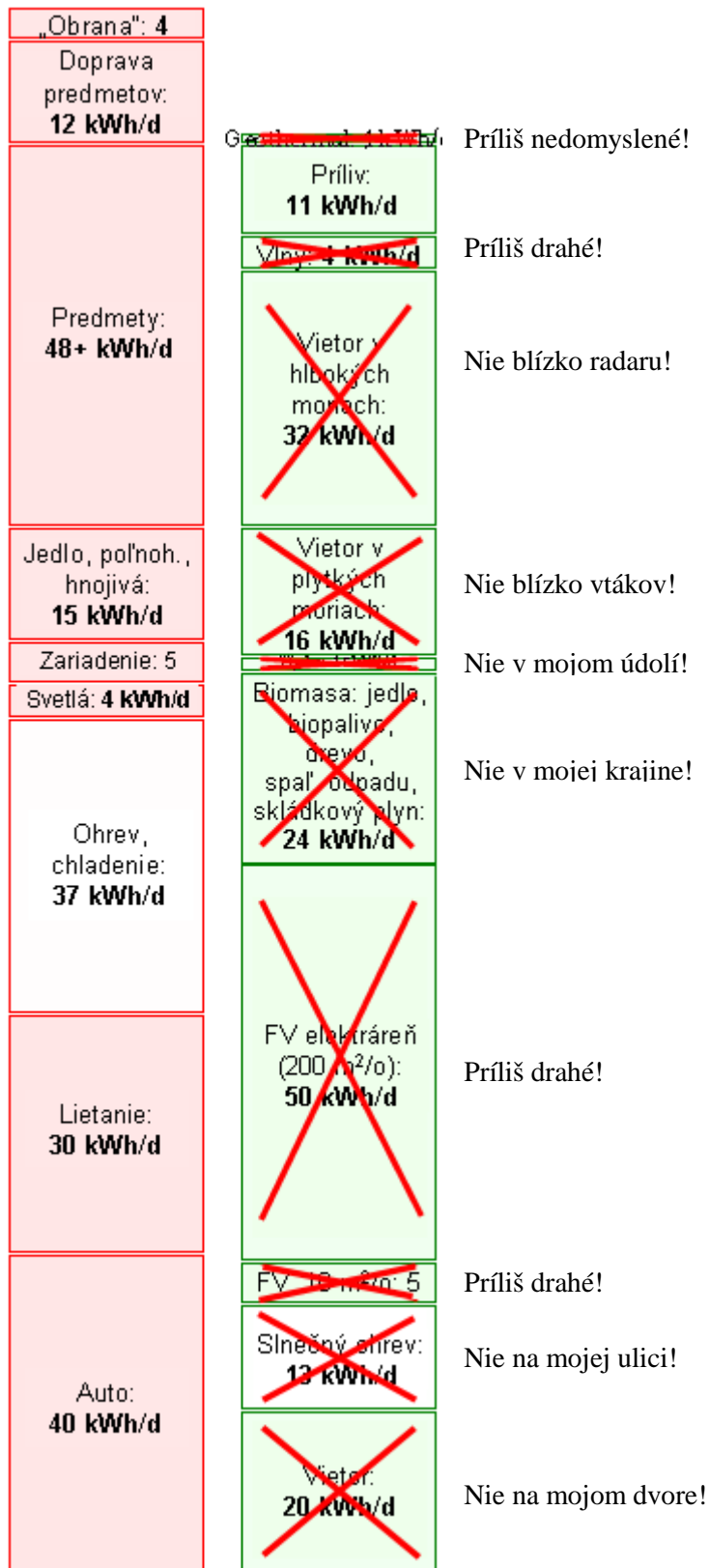
Ak sa vrátíme v čase o 400 rokov naspäť, Európania žili takmer výhradne z obnoviteľných zdrojov: najmä z dreva a obilia, za pomoci malého množstva veternej, slapovej a vodnej energie, podľa odhadov bola priemerná spotreba na osobu 20 kWh za deň. Množstvo spotrebovaného dreva bolo 4 kg za deň, čo vyžadovalo 1 hektár (10 000 m²) lesa na osobu. Plocha na osobu v Európe v 17. storočí bola 52 000 m². V oblastiach s najvyššou hustotou obyvateľov to bolo 17 500 m² poľnohospodárskej pôdy, pastvín a lesov. Dnes pripadá na jedného Brita asi 4000 m², takže aj v prípade, že by sme sa vrátili k životu v stredoveku a úplne zalesnili krajinu, nemohli by sme žiť trvalo udržateľne. Hustota populácie je príliš vysoká.

Zelené ambície narážajú na spoločenskú realitu

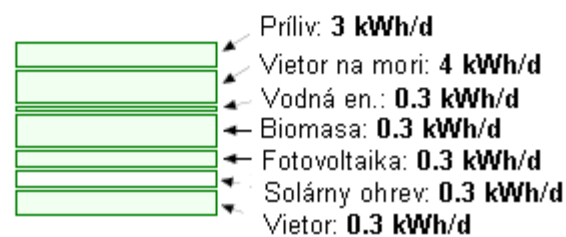
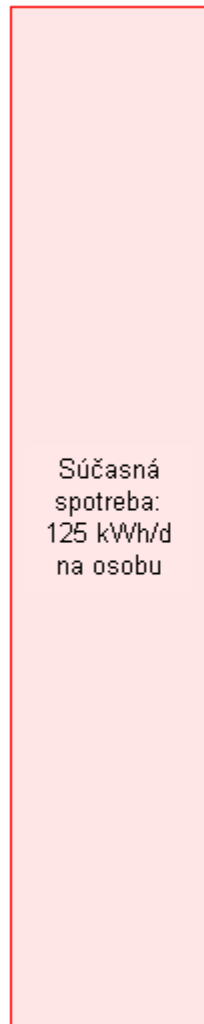
Obrázok 18.1 je zlá správa. Áno, z technického hľadiska má Británia „obrovské“ možnosti obnoviteľných zdrojov. Ale v skutočnosti si nemyslím, že z nich dokáže žiť – aspoň nie takým spôsobom, akým žijeme dnes. K tomuto záveru ma čiastočne núti zástup odporcov, na ktorý naráža akýkoľvek väčší energetický projekt z obnoviteľných zdrojov. Ľudia milujú obnoviteľné zdroje, pokiaľ *nie sú väčšie ako figový list*. Ak sú Briti v niečom dobrí, tak je to schopnosť povedať „nie“.

Veterné turbíny? „Nie, sú veľké a hlučné.“

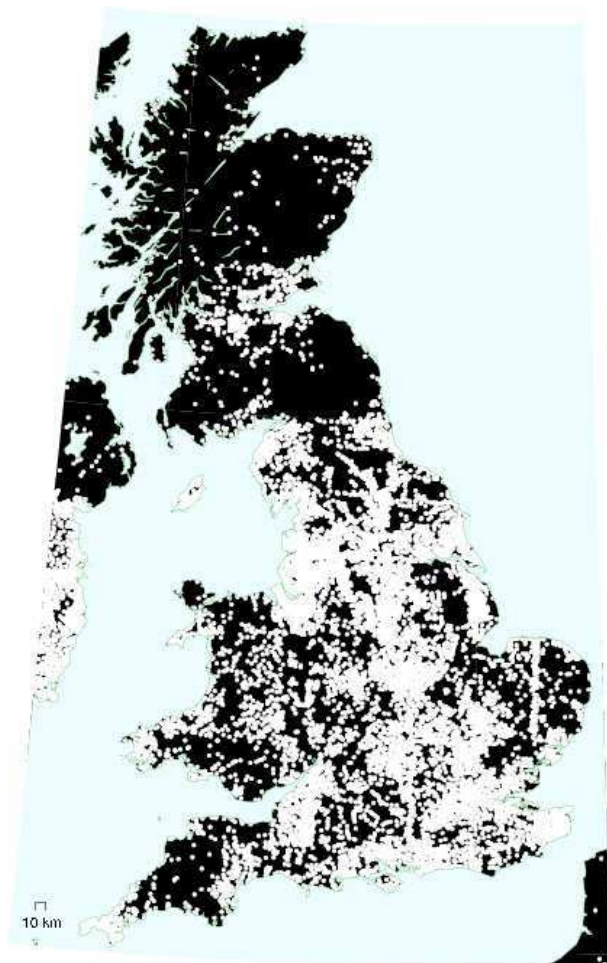
Solárne panely na strechách? „Nie, pokazili by vizuálny dojem ulice.“



Obrázok 18.7. Výsledok príspevku obnoviteľných zdrojov a potom nasleduje konzultácia s verejnosťou.



Po konzultácii s verejnosťou. Obávam sa, že maximum, aké Británia dokáže získať z obnoviteľných zdrojov, je približne 18 kWh/d na osobu. (Mimochodom, stĺpec naľavo, 125 kWh/d na osobu, je priemerná spotreba Britov bez započítania dovozu a slnečnej energie získanej rastlinami pre výrobu jedla.)



Obrázok 18.8. Kde možno robiť čokoľvek. Jedna z výhrad voči veterným elektrárnám je ich hluk. Vyrobil som túto mapu Británie, na ktorej každú sídlo, dedinu aj mesto obklopuje kruh s priemerom 2 km. Na bielych miestach by teda nebolo možné stavať veterné elektrárne. Pravdepodobne by to nebolo možné ani na čiernych územiach, pretože potrebujú byť chránené pred priemyselnou činnosťou. Údaje o osídlení sú z: www.openstreetmap.org.

Viac lesov? „Nie, ničí to krajinu.“

Spaľovňa odpadov? „Nie, obávam sa o zdravie, dopravné zápchy, prach a hluk.“

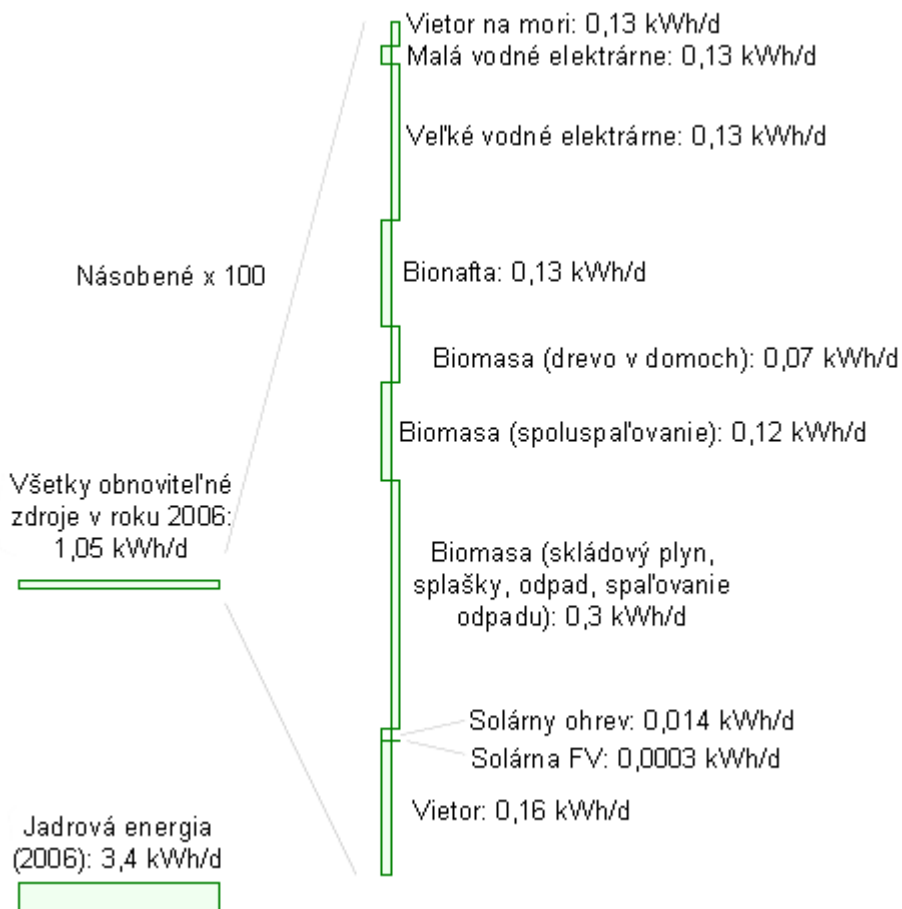
Vodné elektrárne? „Áno, ale nie *veľké* elektrárne – to poškodzuje životné prostredie.“

Turbíny na mori? „Nie, viac sa obávam káblov na pobreží ako invázie nacistov.“

Geotermálna energia alebo energia vln? „Nie, príliš drahé.“

Po všetkých týchto výhradách sa obávam, že maximálne množstvo obnoviteľnej energie by bolo na úrovni, ako je zobrazené vpravo dole na obrázku 18.7.

Obrázok 18.8 ponúka návod pre každého, kto by sa snažil vztýčiť veternú turbínu v Británii. Na mape Británie som znázornil kruhy s priemerom 2 km, ktoré obklopujú každú dedinu a mesto. Tieto biele oblasti by mali byť od budovania turbín oslobodené, pretože sú príliš blízko obydľí. Čierne miesta sú všetky lokality vo vzdialenosti *väčšej ako 2 km* od akéhokoľvek ľudského osídlenia. Budovať turbíny v týchto oblastiach tiež nie je možné, pretože sú *tiché*,



Obrázok 18.9. Výroba obnoviteľnej a jadrovej energie v Británii v roku 2006. Všetka energia je vyjadrená na osobu, ako obvykle. Rozbor obnoviteľných zdrojov na pravej strane je násobený 100 x vo vertikálnom smere.

a tieto oblasti je potrebné chrániť ich pred priemyslom. Ak sa chcete vyhnúť problémom s veternou elektrárnou, zvolte si akékoľvek miesto okrem bielej a čiernej.

Niektorí z týchto environmentalistov s dobrým srdcom, ale pomýleným uvažovaním, predstavujú určitú prekážku pri riešení klimatickej zmeny.

Malcolm Wicks, štátny tajomník pre energetiku

Blížime sa k záveru I. časti. Predpokladom bolo, že sa chceme zbaviť závislosti od fosílnych zdrojov energie pre jednu alebo viacero príčin uvedených v kapitole 1: klimatickú zmenu, bezpečnosť dodávok a tak ďalej. Obrázok 18.9 ukazuje, koľko energie v súčasnosti získavame z obnoviteľných zdrojov a z jadra. Zodpovedajú iba 4 % našej celkovej spotreby.

Dva závery, ktoré je možné z I. časti urobiť, sú:

1. Aby sme niečo zmenili, zariadenia na výrobu energie z obnoviteľných zdrojov by museli pokrývať celú krajinu.

Akékoľvek zariadenie obnoviteľnej energie, ktoré by malo významne prispieť k súčasnej spotrebe, musí mať obrovskú rozlohu. Aby sme získali významný podiel z vetra, potrebujeme veterné elektrárne s rozlohou Walesu. Aby sme získali významný príspevok fotovoltaiky,

potrebujeme polovicu Walesu. Aby sme získali významný príspevok energie vln, musíme pokryť 500 km pobrežia. Aby nám dostatočný príspevok zabezpečili energetické plodiny, museli by sme pokryť 75 % celej krajiny.

Zariadenia obnoviteľných zdrojov musia byť rozložené na obrovskej ploche, pretože všetky obnoviteľné zdroje sú rozptýlené. Tabuľka 18.10 sumarizuje množstvo vyrobenej energie na plochu pre väčšinu energií, s ktorými sme sa stretli v I. časti.

Udržať spotrebu Británie pomocou vlastných obnoviteľných zdrojov by bolo veľmi ťažké. Energetické riešenie založené na obnoviteľných zdrojoch bude nevyhnutne rozsiahle a rušivé.

2. *Nebude jednoduché* vytvoriť zmysluplný plán iba pomocou obnoviteľných zdrojov. Ak máme vážny záujem zbaviť sa používania fosílnych palív, Briti sa budú musieť v niektorých prípadoch naučiť hovoriť „áno“. V skutočnosti vo viacerých prípadoch.

V II. časti sa opýtam, „aké máme iné možnosti na pokrytie súčasnej spotreby, ak nie je možné získať energiu iba z obnoviteľných zdrojov“.

Energia na jednotku plochy	
Vietor	2 W/m ²
Vietor na pobreží	3 W/m ²
Prílivové nádrže	3 W/m ²
Prílivové elektrárne	6 W/m ²
Slnečné FV články	5-20 W/m ²
Rastliny	0,5 W/m ²
Dažďová voda (vysočiny)	0,24 W/m ²
Vodná elektrárňa	0,11 W/m ²
Geotermálna energia	0,017 W/m ²

Tabuľka 18.10. Obnoviteľné zariadenia musia byť veľkosti krajiny, pretože sú všetky rozptýlené

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

104 *Priemerná spotreba Brita je 125 kWh za deň na osobu.* Toto číslo som prevzal zo Správy ľudského rozvoja UNDP, 2007. (Human Development Report, United Nations Development Program) [Rozvojový program spojených národov – pozn. prekl.].

DTI (Teraz známe ako DBERR) [DTI – Department of Trade and Industry – ministerstvo obchodu a priemyslu; DBERR – Department for Business, Enterprise and Regulatory Reform – ministerstvo obchodu, podnikania a regulačných reforiem – pozn. prekl.] publikuje Prehľad energetických štatistík Británie každý rok [uzek2]. Podľa DUKES bola v roku 2006 primárna spotreba 244 miliónov ton ekvivalentu ropy, čo zodpovedá 130 kWh za deň na osobu.

Neviem, aká je príčina tohto malého rozdielu čísel od UNDP a DUKES, môžem však vysvetliť, prečo som zvolil nižšie číslo. Ako som spomenul na str. 27, DUKES používa rovnaký spôsob sčítania energie ako ja, podľa ktorého je jedna kWh chemickej energie rovná jednej kWh elektrickej energie. Existuje jedna malá výnimka: DUKES definuje „primárnu energiu“ vyrobenú v jadrových elektrárnach ako tepelnú energiu, ktorá bola v roku 2006 9 kWh/d/o; bola premenená (s 38 % účinnosťou) na 3,4 kWh/d/o vyrobenej elektrickej energie; v mojich výpočtoch som sa zameril na elektrickú energiu vyrobenú vodnou elektrinou, inými obnoviteľnými zdrojmi a jadrovou energiou; tento malý posun vo výpočtoch znížil príspevok jadrovej energie asi o 5 kWh/d/o.

- *Straty v rozvodnej elektrickej sieti zodpovedajú za 1 % celkovej spotreby energie.* Inými slovami, tieto straty predstavujú 8 % z vyrobenej elektrickej energie. Týchto 8 % môžeme rozložiť nasledovne: 1,5 % sa stratí v dlhých vysokonapäťových rozvodných kábloch a 6 % sa stratí vo verejnej rozvodnej sieti. Zdroj: MacLeay a kol. (2007).

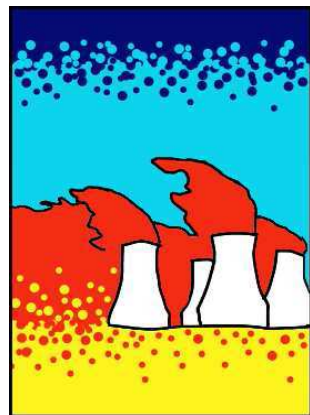
105 *Obrázok 18.4.* Údaje z Rozvojového programu Spojených národov (UNDP), 2007. [3av4s9]

108 *V stredoveku bola priemerná spotreba výkonu na osobu 20 kWh za deň.* Zdroj: Malanima (2006).

110 *„Viac sa obávam káblov na pobreží, ako invázie nacistov.“* Zdroj: [6ftj55].

Časť II

Skutočná zmena



19 Každá VELKÁ VEC pomáha

Dospeli sme k záveru, že Veľká Británia s jej súčasným životným štýlom si s vlastnými obnoviteľnými zdrojmi (ak neberieme do úvahy industrializáciu obrovských oblastí na súši a na mori) nevystačí. Takže aké sú možnosti, ak sa máme zbaviť závislosti od fosílnych zdrojov a žiť trvalo udržateľným životom? Energetickú bilanciu môžeme upraviť znižovaním spotreby energie alebo zvyšovaním jej výroby, alebo, samozrejme, oboma spôsobmi.

Nemajte ilúzie. Aby sme dosiahli náš cieľ, teda odklon od využívania fosílnych palív, zníženie spotreby a zvýšenie výroby musia byť *veľké*. Nenechajme sa pritom pomýliť mýtom „každá maličkosť pomáha.“ Ak každý urobí málo, spolu dosiahneme iba málo. Musíme urobiť veľa. To, čo potrebujeme, sú *veľké* zmeny v spotrebe aj výrobe.

„Nie je pravda, že ak 60 miliónov ľudí urobí niečo málo, spolu to bude znamenať veľa?“ Nie. Takéto násobenie „ak každý“ je spôsob, aby sa niečo malé iba *zdalo* byť veľkým. Násobenie spôsobom „ak každý“ chrlí povzbudzujúce vyhlásenia typu „ak by každý urobil X, tak by to zabezpečilo energiu/vodu/plyn pre uskutočnenie Y“, pričom Y pôsobí veľkolepo. Je prekvapujúce, že Y sa zdá byť niečím veľkým? Samozrejme nie. Y sme dostali vynásobením X počtom zainteresovaných ľudí – približne 60 miliónov! Tu je príklad z inak dobrého *Plánu pre zelenú ekonomiku* Konzervatívnej strany:

„Nabíjačka mobilných telefónov v priemere spotrebuje približne... 1W, ale ak by zostalo zapnutých všetkých 25 miliónov nabíjačiek, spotrebovali by toľko elektriny (219 GWh), že by to stačilo zásobovať 66 000 domov jeden rok.“

66 000? Fíha, naozaj veľa domov. Vypnite nabíjačky! 66 000 sa zdá byť veľa, ale logickejšie je porovnanie s celkovým množstvom domov, ktoré by sa teoreticky zúčastnili takéhoto šetrenia energie, konkrétne teda 25 miliónov domov. Z 25 miliónov je 66 000 iba *jedna štvrtina percenta*. Takže hoci vyššie uvedené tvrdenie je pravdivé, zmyslupľnejšie tvrdenie by mohlo znieť takto:

Ak necháte nabíjačku svojho mobilného telefónu v sieti, spotrebuje *asi jednu štvrtinu percenta* elektriny vo vašej domácnosti.

A ak to tak urobí každý?

Ak *každý* nechá nabíjačku svojho mobilného telefónu v sieti, tak spolu spotrebujú *jednu štvrtinu percenta* elektriny spotrebovanej v domácnosti.

Násobenie spôsobom „ak každý“ nie je vhodné, pretože odvádza pozornosť ľudí od 25 miliónov slonov k 25 miliónom mravcom.



„Chceli sme veternú turbínu, ale tie nie sú veľmi efektívne.“

Obrázok 19.1. Použitie s láskavým dovolením PRIVATE EYE / Robert Thompson www.private-eye.co.uk.

Zaklínadlo „*Malé zmeny znamenajú veľký rozdiel*“ je nezmysel, ak o ňom uvažujeme v súvislosti s klimatickými zmenami a energiou. Výrok „ak veľa ľudí urobí niečo málo, tak spolu dosiahnu veľa,“ môže platiť iba ak sa všetky „mála“ zameriavajú na jedno „veľa“ – napríklad, ak jeden milión ľudí daruje 10 libier *jednej* obeť nehody, tak tá dostane 10 miliónov libier. To je veľa. Ale energia je úplne odlišná záležitosť. Spotrebujeme ju všetci. Takže pre dosiahnutie „skutočnej zmeny“ v celkovej spotrebe energie je potrebné, aby takmer každý urobil „veľkú“ zmenu vo vlastnej spotrebe.

To čo potrebujeme, sú *veľké* zmeny v dopyte aj výrobe. Spotrebu energie by bolo možné znížiť troma spôsobmi:

- znížením populácie krajiny (obrázok 19.2);
- zmenou životného štýlu;
- zachovaním životného štýlu pri súčasnom znížení spotreby pomocou „účinnosti“ a „technológií“.

Výrobu energie by sme mohli zvýšiť troma spôsobmi:

1. Fosílnych palív by sme sa mohli zbaviť investovaním do technológie „čistého uhlia“. Hop! Uhlie je fosílna palivo. Dobré, nevadí – napriek tomu sa pozrime na túto myšlienku. Ak by sme uhlie využívali „trvalo udržateľne“ (čo to znamená, o chvíľku zistíme), koľko energie by sme získali? Ak by sme nebrali ohľad na udržateľnosť a starali sa len o „energetickú bezpečnosť“, dokázalo by ju uhlie zabezpečiť?
2. Mohli by sme investovať do štiepenia jadra. Je dnešná jadrová technológia „trvalo udržateľná“? Je to aspoň dočasné riešenie na najbližších 100 rokov?
3. Mohli by sme si kúpiť, vyžobrať alebo ukradnúť obnoviteľnú energiu z iných krajín – majú na pamäti, že väčšina krajín bude na tom podobne ako Británia a nebudú jej mať nazvyš; a zároveň majú na pamäti, že získavanie obnoviteľnej energie z inej krajiny magicky neznižuje potrebné zariadenia pre jej výrobu. Ak dovezieme obnoviteľnú energiu z iných krajín, aby sme sa vyhli stavbe zariadení veľkých ako Wales v *našej* krajine, niekto ich bude musieť postaviť v dotyčnej krajine s rovnakou rozlohou.

Nasledujúcich sedem kapitol sa najprv venuje spôsobom, ako významne znížiť spotrebu a tiež tomu, ako zvýšiť výrobu na zabezpečenie takto zníženej, ale stále ešte „obrovskej“ spotreby. V nasledujúcich kapitolách nevediem *všetky* dobré nápady. Budem sa zaoberať len tými *veľkými* z nich.

Zjednodušený model Británie

Pre zjednodušenie a upriamenie našej diskusie o znižovaní dopytu navrhujem, aby sme pracovali so zjednodušeným modelom spotreby energie v Británii a vynechali množstvo detailov, čo nám umožní zamerať sa na celkový obraz. Môj model Británie spotrebuje energiu iba troma

Kým ekologickú stopu jednotlivca nemôžeme znížiť na nulu, v prípade jeho neexistencie sa tak stane.

Chris Rapley, bývalý riaditeľ
British Antarctic Survey

Čo potrebujeme je menej ľudí, nie zelenších

Daily Telegraph, 24 júl 2007

Demokracia nedokáže prežiť preľudnenie. Ľudská dôstojnosť nedokáže prežiť preľudnenie.

Isaac Asimov



Obrázok 19.2. Populačný rast a emisie...
Kreslený obrázok Colina Wheelera

spôsobmi: na ohrev vody, v doprave a pri spotrebe elektrickej energie. Spotreba energie na ohrev vody predstavuje 40 kWh za deň na osobu (v súčasnosti táto energia pochádza len z fosílnych palív); spotreba v doprave predstavuje tiež 40 kWh za deň na osobu (v súčasnosti len z fosílnych palív) a spotreba elektrickej energie je 18 kWh(e), pričom v súčasnosti sa vyrába takmer výlučne z fosílnych palív. Účinnosť premeny energie fosílnych palív na elektrinu dosahuje približne 40 %, takže denné zásobovanie 18 kWh(e) elektrickej energie na osobu predstavuje vyšší vklad energie z fosílnych palív, až 45 kWh za deň na osobu. Toto zjednodušenie nezahŕňa niektoré dôležité detaily, napríklad poľnohospodárstvo a priemysel, ako aj zabudovanú energiu dovážaného tovaru! Rád by som však chcel *rýchlo* ukázať, aké sú hlavné veci, ktoré je potrebné urobiť, ak sa chceme zbaviť závislosti od fosílnych palív. Vykurovanie, doprava a elektrina zodpovedajú za viac ako polovicu našej celkovej spotreby energie, takže ak by sme dokázali tieto tri spôsoby spotreby vyriešiť trvalo udržateľne, predstavovalo by to významný prvý krok smerom k prepracovanejšiemu a detailnejšiemu zmysluplnému plánu.

Ak teda budeme vychádzať z takéhoto zjednodušeného modelu Británie, uvažovanie o znižovaní dopytu po energii sa sústreďí iba na tri oblasti. Po prvé, ako by sme mohli znížiť dopyt v doprave a vylúčiť z nej využívanie všetkých fosílnych palív? Toto je téma kapitoly 20. Po druhé, ako by sme mohli znížiť dopyt v oblasti výroby tepla a vylúčili z nej využívanie všetkých fosílnych palív? Tomu sa venuje kapitola 21. Po tretie, čo s elektrinou? Kapitola 22 rozoberá účinnosť spotreby elektrickej energie.

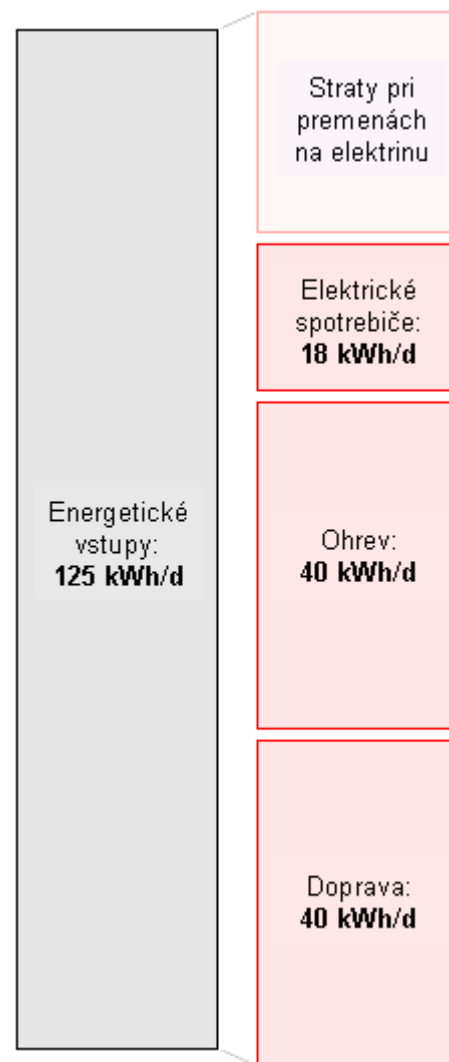
Trom možným zdrojom – čistému uhlíu, jadru a obnoviteľným zdrojom energie z iných štátov – sa venujú kapitoly 23, 24 a 25. Nakoniec, kapitola 26 sa venuje vyrovnaniu sa s výkyvmi v spotrebe elektrickej energie ako aj s výkyvmi v jej výrobe z obnoviteľných zdrojov.

Po predstavení možností znižujúcich dopyt a zvyšujúcich výrobu kapitoly 27 a 28 rozoberajú rozličné spôsoby skĺbenia týchto možností a predstavujú zmysluplný plán, vhodný pre zásobovanie dopravy, ohrevu a elektrickej energie nášho zjednodušeného modelu Británie.

Mohol som napísať veľa strán o „50 veciach, ktoré prinesú skutočnú zmenu,“ ale myslím, že zameranie na spomínaný model, v ktorom nás zaujímajú tri najväčšie položky, môže viesť k účinnejším opatreniam.

Ale čo s „výrobkami“? Podľa časti I by energia zabudovaná v dovezených výrobkoch predsa mohla predstavovať najväčšiu položku! Áno, možno takú veľkú ako je povestný mamut v miestnosti. Radšej nechajme oživovanie tejto skameneliny bokom a zamerajme sa na žijúce tvory, nad ktorými máme priamu kontrolu.

Takže poďme na to: hovorme o doprave, ohreve a elektrickej energii.



Obrázok 19.3. Súčasná spotreba v "Modeli Británie 2008."

Pre netrpezlivého čitateľa

Neviete sa dočkať, ako sa celý príbeh končí? Tu je rýchly sumár, letmé načrtnutie časti II.

Po prvé, elektrifikujeme dopravu. Elektrifikácia dopravy zabezpečí nielen zníženie využívania fosílnych palív, ale doprava tiež bude energeticky efektívnejšia. (Samozrejme, znamená to tiež zvýšený dopyt po „zelenej“ energii.)

Po druhé, pre zabezpečenie ohrevu slnečnými kolektormi elektrifikujeme väčšinu ohrevu vzduchu a vody v budovách s použitím *tepelných čerpadiel*, ktoré sú štvornásobne účinnejšie ako klasické elektrické ohrievače. Takáto elektrifikácia výroby tepla ešte viac zvýši potrebu zelenej elektriny.

Po tretie, všetku zelenú elektrinu získame z mixu štyroch zdrojov: z našich vlastných obnoviteľných zdrojov; možno z „čistého uhlia“; možno tiež z jadra; a napokon, s láskavým dovoľením, z obnoviteľných zdrojov v iných krajinách.

Čo sa týka poslednej možnosti, teoreticky je možné získať veľké množstvo slnečnej energie v púštnych oblastiach. Pokiaľ budeme schopní rozvinúť medzinárodnú spoluprácu, púštne oblasti v iných krajinách nepochybne majú potenciál poskytovať nám, im aj všetkým ostatným 125 kWh za deň na osobu.

Otázky? Čítajte ďalej.

20 Lepšia doprava

Moderné technológie v automobilovom priemysle dokážu znížiť emisie skleníkových plynov bez zmeny vzhľadu, pohodlia a vlastností, ktoré od vozidiel ich majitelia očakávajú.

California Air Resources Board

Približne jednu tretinu energie spotrebujeme v doprave. Môže zabezpečiť zníženie jej spotreby *technológia*? V tejto kapitole sa zameriame na dva ciele: ako zabezpečiť čo najväčšie zníženie spotreby energie v doprave *so súčasným* vylúčením používania fosílnych palív.

Téma dopravy sa objavila v troch kapitolách venovaných spotrebe: v kapitole 3 (autá), v kapitole 5 (lietadlá) a v kapitole 15 (cestná a námorná nákladná doprava). Potrebujeme sa teda zaoberať dvoma druhmi dopravy: osobnou a nákladnou. Jednotkou v osobnej doprave je tzv. osobo-kilometer (o-km). Ak auto odvezie osobu na vzdialenosť 100 km, zabezpečí 100 o-km. Ak odvezie na rovnakú vzdialenosť štyroch ľudí, zabezpečí 400 o-km. Podobne v nákladnej doprave je takou jednotkou ton-kilometer (t-km). Ak kamión prevezie 5 t nákladu na vzdialenosť 100 km, zabezpečí 500 t-km. Spotrebu energie v osobnej doprave budeme merať v „kWh na 100 osobo-kilometrov“ a v nákladnej doprave v „kWh na tonu-kilometer.“ Všimnite si, že tieto jednotky predstavujú opačný prístup v porovnaní s „míľami na galón“: kým od vozidiel požadujeme, aby prešli *čo najviac* míľ na galón, v oblasti spotreby naopak chceme, aby bolo spotrebovaných kWh na 100 o-km *čo najmenej*.

Kapitolu začneme možnosťami zníženia spotreby energie v pozemnej doprave. Aby sme pochopili, ako je možné dosiahnuť tento cieľ, najprv musíme vedieť, kde energiu v tejto oblasti spotrebujeme. Tu sú tri hlavné koncepty, ktoré sú detailnejšie rozpracované v technickej kapitole A.

1. Pri *cestovaní na krátke vzdialenosti* s častým rozbiehaním a spomaľovaním väčšinu energie spotrebujeme na zrýchľovanie vozidla aj s jeho obsahom. Kľúčovou možnosťou pre zníženie spotreby je teda *mať nižšiu hmotnosť a prejsť medzi zastávkami viac*. K riešeniu môže prispieť aj tzv. rekuperačné brzdenie, ktoré premieňa kinetickú energiu naspäť na využiteľnú energiu. Navyše pomôže aj to, ak sa pohybujeme *pomalšie a menej*.
2. Pri *cestovaní na dlhé vzdialenosti* so stabilnou rýchlosťou autom alebo vlakom spotrebujeme väčšinu energie na prekonávanie odporu vzduchu, pretože vozidlo zrýchľuje iba raz. Kľúčový spôsob zníženia spotreby pri tomto spôsobe dopravy je *nižšia rýchlosť, kratšia vzdialenosť a používanie dlhých a úzkych vozidiel*.
3. Pri všetkých formách dopravy dochádza k reťazcu premeny energie, v ktorom sa spotrebuje energia určitého druhu paliva a jej časť sa



Obrázok 20.1. Začiatok tejto kapitoly: mestská luxusná limuzína. Priemerná spotreba paliva osobného automobilu vo Veľkej Británii je 33 míľ na galón, čo zodpovedá spotrebe energie 80 kWh na 100 km. Dá sa aj menej?

využije na pohon vozidla vpred. Tento energetický reťazec má však nevyhnutne nedokonalosti. Napríklad v klasickom aute s pohonom na fosílné palivo sa na pohyb využíva iba 25 % energie, pričom zvyšok, teda zhruba 75 %, sa premieňa na teplo a zahrieva motor a chladič. Takže najlepšou stratégiou znižovania spotreby energie bude zvýšenie účinnosti v reťazci premeny energie.

Na základe uvedeného môžeme účinnosť pozemnej dopravy zvýšiť definovaním šiestich princípov v oblasti dizajnu a využitia dopravných prostriedkov: a) znížiť čelnú plochu na osobu; b) znížiť hmotnosť vozidla na osobu; c) cestovať rovnomernou rýchlosťou a vyhýbať sa zbytočnému brzdeniu; d) cestovať pomalšie; e) cestovať menej; f) zvýšiť účinnosť reťazca premeny energie. Rozoberieme rôzne spôsoby, ako tieto princípy aplikovať.

Ako jazdiť lepšie

Podľa jednej často citovanej štatistiky platí, že „len 1 percento energie spotrebovanej v automobile slúži na premiestňovanie vodiča“ nepochybne vyplýva, že ak by sme boli rozumnejší, dokázali by sme mať autá stokrát účinnejšie. Odpoveď je áno, takmer, ale len s uplatnením vyššie spomenutých princípov dizajnu a použitia vozidiel v extrémnej podobe.

Príkladom extrémneho dizajnu je existujúce eko-auto s malou čelnou plochou a nízkou hmotnosťou, ktoré – ak chcete prekonať rekord – musíte riadiť opatrne nízkou a rovnomernou rýchlosťou. Eko-auto *Team Crocodile* (obrázok 20.2) prejde 2184 míľ na galón (1,3 kWh na 100 km) pri rýchlosti 15 míľ za hodinu (24 km/h). Má hmotnosť len 50 kg, je nižšie ako dopravný kužeľ a pohodlne sa doňho zmestí šofér vo veku teenagera. Hmm. Myslím, že vodič mestského luxusného automobilu na obrázku 20.1 by si povšimol zmenu vo „vzhľade, pohodlí a vlastnostiach“, ak by sme ho premiestnili do eko-auta a prikázali mu neprekročiť rýchlosť 24 km za hodinu. Myšlienka, že autá by sa mohli stať stokrát energeticky účinnejšie, je mýtus. Skôr ako sa vrátíme k otázke výroby energeticky účinných vozidiel, pozrime sa na ďalšie možnosti smerovania k efektívnejšej pozemnej doprave.

Na obrázku 20.3 je vozidlo pre viacero pasažierov najmenej 25-krát účinnejšie, ako štandardné benzínové auto: bicykel. Bicykel je z hľadiska energie spotrebovanej na vzdialenosť porovnateľný s eko-autom. Dosahuje rovnakú rýchlosť, má nižšiu hmotnosť (pretože palivovú nádrž a motor nahrádza človek), ale jeho čelná plocha je vyššia, pretože cyklista nie je natoľko aerodynamický ako eko-auto.

Na obrázku 20.4 je ďalšia z možností náhrady benzínového automobilu: vlak, ktorý, ak je jeho kapacita vyťažená, spotrebuje 1,6 kWh na 100 osobo-km. V kontraste s eko-autom a bicyklom dosahuje vlak vynikajúcu účinnosť aj pri vyšších rýchlostiach a väčšej relatívnej hmotnosti (hmotnosť vozidla prepočítaná na osobu). Vlaky svoju veľkú rýchlosť a hmotnosť vyvažujú princípom malej čelnej plochy na osobu.



Obrázok 20.2. Eko-auto od Team Crocodile spotrebuje 1,3 kWh na 100 km. Fotografia láskavo poskytol Team Crocodile. <http://www.teamcrocodile.com/>



Obrázok 20.3. „Deti na palube“. Tento spôsob prepravy má spotrebu energie 1 kWh na 100 osobo-km.



Obrázok 20.4. Osobný vlak s 8 vagónmi z Cambridge do Londýna spotrebuje pri maximálnej rýchlosti 100 míľ za hodinu (161 km/h) 1,6 kWh na 100 osobo-km, ak je plný.

Kým efektívna čelná plocha cyklistu alebo bežného auta dosahuje $0,8 \text{ m}^2$ resp. $0,5 \text{ m}^2$, pri plnom osobnom vlaku premávajúcom medzi Londýnom a Cambridge je to $0,02 \text{ m}^2$.

Ale hop, tým sa dostávame k chýlostivej otázke - vyhliadke spoločného cestovania so „všetkými tými hroznými ľuďmi“. Dobre, natlačme sa na palubu a spýtajme sa: Koľko by sme mohli ušetriť pri výmene osobných žrútov nafty za dokonale premyslený systém integrovanej hromadnej dopravy?



4,4 kWh na 100 o-km, ak je plný



3-9 kWh na 100 sedadlo-km, ak je plný

Obrázok 20.5. Príklady hromadnej dopravy a ich energetické účinnosti, pri optimálnych podmienkach
Podzemné a nadzemné metro
Dva vysokorýchlostné vlaky. Elektrický spotrebuje 3 kWh na 100 sedadlo-km; naftový, 9 kWh.
Trolejbusy v San Francisku
Trajekt vo Vancouveri. Fotografia: Larry.



7 kWh na 100 o-km, ak je plný



21 kWh na 100 o-km, ak je plný

Hromadná doprava

Pri vhodnej prevádzke je hromadná doprava oveľa účinnejšia ako individuálna automobilová doprava. **Autobus** s naftovým motorom prevážajúci 49 cestujúcich pri spotrebe 1 galónu paliva na 10 míľ rýchlosťou 65 míľ za hodinu spotrebuje 6 kWh na 100 o-km – teda 13-krát menej, ako osobné auto s jedným cestujúcim. **Trolejbusy** vo Vancouveri majú spotrebu energie 2,7 kWh na vozidlo-km a dosahujú priemernú rýchlosť 15 km/h. Ak trolejbus preváža 40 cestujúcich, jeho účinnosť je 7 kWh na 100 o-km. Trajekt premávajúci vo Vancouveri dosahuje pri rýchlosti 13,5 km/h energetické náklady 83 kWh na vozidlo-km. Dokáže previesť 400 ľudí, takže pri plnom vyťažení sú jeho prepravné náklady 21 kWh na 100 o-km. Londýnske **metro** v čase dopravnej špičky spotrebuje len 4,4 kWh na 100 o-km, čo je 18-krát lepší výsledok ako v prípade osobného auta. Dokonca aj **vysokorýchlostné vlaky**, hoci porušujú dva z našich princípov úspor energie svojou dvojnásobnou rýchlosťou a vysokou hmotnosťou, sú energeticky omnoho účinnejšie ako

autá: ak je elektrický vysokorýchlostný vlak plný, spotrebuje **3 kWh na 100 o-km**, čo je v porovnaní s automobilom 27-krát menej!

Musíme však byť pri našom plánovaní realistickí. Vlaky a autobusy často nie sú úplne vyťažené (obrázok 20.6). Takže *priemerné* energetické náklady hromadnej dopravy sú samozrejme vyššie ako v uvedených príkladoch. Aká je teda *priemerná* spotreba v systéme hromadnej dopravy a aký je realistický odhad, ako by sa dali vylepšiť?

V rokoch 2006-2007 boli celkové energetické náklady všetkých vozidiel metra v Londýne, vrátane osvetlenia, eskalátorov, dep a opravárenských dielní **15 kWh na 100 o-km**, čo je päťkrát lepšie ako v prípade nášho bežného auta. Čo sa týka všetkých londýnskych autobusov bolo to **32 kWh na 100 o-km**. Energetické náklady samozrejme nepredstavujú jediný faktor, ktorý treba brať do úvahy. Cestujúcich zaujíma rýchlosť: a metro dosahuje vyššiu rýchlosť (v priemere 33 km/h) ako autobusy (18 km/h). Manažérov zaujíma finančná efektívnosť: náklady personálu prepočítané na osobo-km sú v prípade metra nižšie ako v autobusovej doprave.



32 kWh na 100 o-km

9 kWh na 100 o-km

Celková spotreba energie systému električiek Croydon Tramlink (obr. 20,7) v rokoch 2006-7 (vrátane depa a zariadení na zastávkach) bola **9 kWh na 100 o-km**, s priemernou rýchlosťou 25 km/h.

Ako je možné zdokonaľiť hromadnú dopravu? Odpoveď nám aspoň zhruba poskytujú údaje z Japonska v tabuľke 20.8. Sľubné sú hodnoty **19 kWh na 100 o-km** a **6 kWh na 100 o-km** v prípade autobusu, respektíve vlaku. Výhoda vlaku spočíva v tom, že zodpovedá obom potrebným cieľom: zníženiu spotreby energie a nezávislosti na fosílnych palivách. Autobusy majú zase výhodu v jednoduchosti a prispôbivosti, no predstava zachovania ich flexibility bez fosílnych palív bude výzvou.

Aby sme to zhrnuli, hromadná doprava (najmä elektrické vlaky, električky a autobusy) sa zdá byť vhodným prostriedkom na vyriešenie otázky dopravy cestujúcich – v porovnaní s autami je spotreba energie na osobo-kilometer približne päť- až desaťnásobne nižšia. Ak sa však nechceme zriecť pružnosti, ktorú nám poskytujú osobné vozidlá, aké sú ďalšie možnosti?

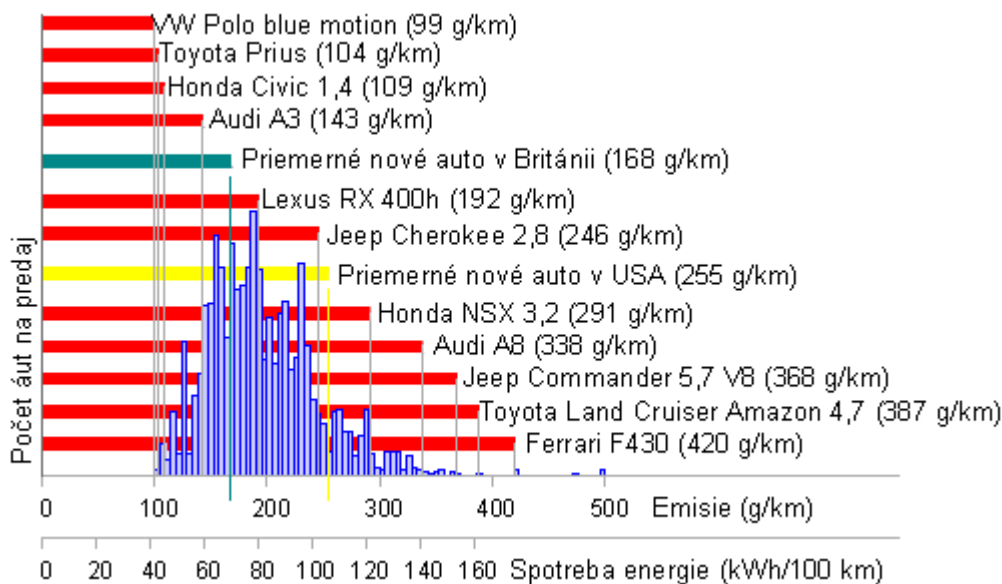


Obrázok 20.6. Niektoré vlaky nie sú plné. Traja ľudia a violončelo sú jedinými cestujúcimi vo vysokorýchlostnom vlaku na trati z Edinburghu do Kings Cross s odchodom o 10.30 hod.

Obrázok 20.7. Príklady verejnej dopravy a ich *priemerných* spotrieb energie. Vľavo: červené autobusy hromadnej dopravy. Vpravo: električka v Croydone. Fotografia: Stephen Parascandolo.

Spotreba energie (kWh na 100 o-km)	
Auto	68
Autobus	19
Vlak	6
Vzduch	51
More	57

Tabuľka 20.8. Celkové účinnosti jednotlivých spôsobov dopravy v Japonsku (1999).



Obrázok 20.9 Emisie v gramoch CO₂ na km v prípade niektorých značiek automobilov na britskom trhu.

Horizontálna os obsahuje hodnoty emisií a výška modrého stĺpca predstavuje množstvo automobilov na predaj v roku 2006.

Zdroj: <http://www.newcarnet.co.uk/>.

Nižšie položená horizontálna čiara obsahuje hodnoty približnej spotreby energie za predpokladu, že 240 g CO₂ zodpovedá 1 kWh chemickej energie paliva.

Osobné vozidlá: technológia, legislatíva a podpora

Spotreba energie v prípade osobných automobilov sa dá znížiť. Dôkazom je aj široké spektrum energetickej účinnosti predávaných áut. V jednej predajni ste v roku 2006 mohli kúpiť Hondu Civic 1.4, ktorá má spotrebu zhruba 44 kWh na 100 km, alebo Hondu NSX 3.2, ktorá má spotrebu 116 kWh na 100 km (obrázok 20.9). Skutočnosť, že zákazníci kupujú autá v takomto širokom rozsahu spotrieb napovedá, že by sme mali tých ľahkovážnych z nich motivovať rôznymi formami podpory a legislatívou, aby si zvolili energeticky úspornejšie auto. Spôsobov, ako presvedčiť spotrebiteľa, aby uprednostnil Hondu Civic pred žrútom paliva, akým je Honda NSX 3.2, je viacero: zvýšenie cien paliva; zvýšenie dane za nové auto v pomere k jeho spotrebe; zvýšenie cestnej dane za žrúty paliva; lepšie možnosti parkovania pre úsporné autá (obrázok 20.10); alebo predaj paliva v prídelovom systéme. Všetky takéto opatrenia sú nepopulárne, prinajmenšom u určitej skupiny voličov. Možno že lepšou legislatívnou taktikou by bolo vynútenie zmysluplnej energetickej účinnosti, než pokračovanie v neobmedzenom výbere; napríklad by bolo možné jednoducho zakázať, od určitého dňa, predaj akýchkoľvek áut, ktoré by mali spotrebu energie vyššiu ako 89 kWh na 100 km, a potom neskôr tento strop znížiť na 60 kWh na 100 km, potom na 40 kWh na 100 km, a tak ďalej. Prípadne, aby mal spotrebiteľ viacero možností, regulácie by mohli nútiť výrobcov automobilov znižovať priemernú energetickú spotrebu všetkých predávaných áut. Dodatočná legislatíva obmedzujúca hmotnosť a prednú časť vozidiel by zároveň znižovala spotrebu paliva a zvyšovala bezpečnosť pre ostatných účastníkov premávky (obrázok 20.11). Ľudia si dnes vyberajú svoje autá skôr pre ich vzhľad. So silnou legislatívou zameranou na účinnosť by stále bolo možné voliť zo širokého rozsahu dizajnov; iba že by boli energeticky účinnejšie. Mohli byt ste si vybrať akúkoľvek farbu, ak bude zelená.



Obrázok 20.10 Osobitné výhody pri parkovaní elektromobilov v Ann Arbor, Michigane.



Obrázok 20.11 Nadrozmerné autá sú dostatočne vysoké na to, aby zastrelili výhľad a viditeľnosť chodcov.

Kým čakáme na voličov a politikov, aby sa dohodli na legislatíve pre efektívne autá, aké sú ďalšie možnosti?



Obrázok 20.12 Kruhová križovatka v Enschede, Holandsko.

Bicykle

Mojím obľúbeným návrhom je vytvorenie čo najlepších podmienok pre cyklistov, ktoré doplní vhodná legislatíva (napr. nižšie rýchlostné limity, či predpisy týkajúce sa havárií so zvýhodnením cyklistov). Na obrázku 20.12 je kruhová križovatka v holandskom Enschede. Sú tu dva kruhy: kruh pre autá leží vo vnútri kruhu pre bicykle a oddeľuje ich dostatočná vzdialenosť približne dĺžky auta. Pravidlá prednosti sa zhodujú s pravidlami pre kruhové križovatky v Anglicku, s jedným rozdielom: auto opúšťajúce stredový kruh musí dať prednosť cyklistovi (podobne ako v Británii dávajú prednosť na prechode pre chodcov). Tam, kde sú vytvorené ideálne podmienky pre cyklistov, ľudia svoje bicykle využijú, ako dokazuje aj nekonečné množstvo týchto dopravných prostriedkov pred vlakovou stanicou v Enschede (obrázok 20.13).



Obrázok 20.13 Zopár holandských bicyklov

Ktovie prečo, no podmienky pre cyklistov v Británii (obrázok 20.14) sa holandským štandardom ešte nepriblížili.



Obrázok 20.14 Zatiaľ kým v Británii...
Fotografia vpravo Mike Armstrong

Vo Francúzskom Lyone začala v roku 2005 pôsobiť cyklosieť Vélo'v v súkromnom vlastníctve, ktorá sa osvedčila a stala sa populárnou. 470 tisícom obyvateľov mesta poskytuje 2 000 bicyklov prostredníctvom 175 staníc, ktoré pokrývajú oblasť s rozlohou 50 km² (obrázok 20.15). V centre mesta sa záujemca o službu obvykle nenachádza ďalej ako 400 metrov od najbližšej cyklostanice. Za poplatok 10 euro ročne si môže kedykoľvek prenajať bicykel na jazdu kratšiu ako 30 minút. Pri dlhších jazdách zákazníci doplácajú do 1 eura za hodinu. Spoločnosť nezabúda ani na turistov: týždňový lístok stojí 1 euro.



Obrázok 20.15 Stanica Vélo'v v Lyone.

Ďalšie možnosti legislatívy

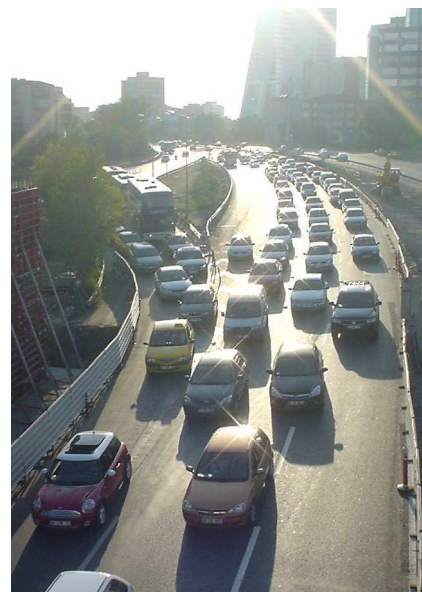
Jednoduchý nástroj je rýchlostný limit. Pravidlom je, že autá, ktoré jazdia pomalšie, spotrebujú menej energie (pozri kapitolu A). Šikovní šoféri dokážu jazdiť ekonomickejšie: ak čo najmenej zrýchľujú a brzdia a jazdia na najvyššom možnom prevodovom stupni, dokážu ušetriť až 20 % paliva. Palivo šetríme aj vtedy, keď sa vyhýbame zápcham. Jazda s častým zastavovaním a rozbiehaním vozidla, jeho zrýchľovaním a spomaľovaním je oveľa menej účinná ako jazda plynulá. Vyčkávanie v zápchach s bežiacim motorom je obzvlášť zlý spôsob, ako prejsť čo najviac kilometrov na liter paliva!

Dopravné zápchy sa objavujú vtedy, keď je na ceste príliš veľa vozidiel. Takže jednoduchý spôsob, ako ich obmedziť, je zoskupiť cestujúcich do menšieho počtu vozidiel. Veľmi zaujímavý výsledok dostaneme, ak porovnáme cestovanie autami a autobusmi z hľadiska dĺžky cesty, ktorý si jednotlivé spôsoby vyžadujú. V prípade vyťaženej premávky a rýchlosti 60 míľ za hodinu je bezpečná vzdialenosť medzi dvoma autami 77 m. Ak predpokladáme auto s 1,6 cestujúcimi vo vzdialenosti každých 80 m, potom hypotetický presun 40 ľudí do jedného autobusu uvoľní takmer *dva kilometre* cesty!

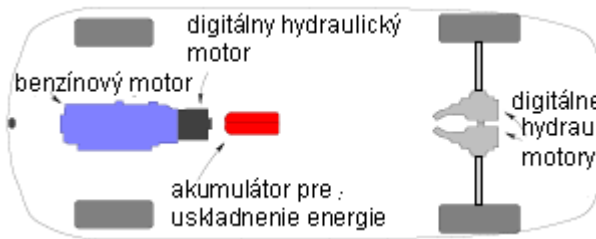
Zápchy je možné znížiť vytváraním dobrých alternatív (cyklotrasy, verejná doprava) a osobitným zdaňovaním šoférov, ak k nim prispievajú. V tejto kapitole uvádzam jednoduchú a férovú metódu, ako uviesť do praxe daň zo zápchy.

Vylepšovanie áut

Ak predpokladáme, že rozvinutý svet sa nevzdá svojho záľubenia do áut, aké technológie nám potom môžu zabezpečiť významné úspory energie? 10 % alebo 20 % úspory môžeme dosiahnuť pomerne jednoducho – niektoré možnosti sme už uviedli, ako napr. výroba menších a ľahších áut. Ďalšou možnosťou je prechod od využívania benzínu k naftu. Výroba naftových motorov je drahšia, no takéto motory sú obvykle úspornejšie. Existujú však technológie, ktoré by účinnosť v reťazci premeny energie paliva riešili radikálne? (Pripomínam, že v prípade bežného benzínového motora sa až 75 % energie premení na teplo a chladičom sa odvádza do



Obrázok 20.16 Pri takejto zápche je rýchlejšia chôdza.



Obrázok 20.17. BMW 530i po úprave spoločnosťou Artemis Intelligent Power využíva digitálne hydraulické zariadenie. Vľavo dole: 6 litrový akumulátor (červená nádoba) je schopný uskladniť približne 0,05 kWh energie vo forme stlačeného dusíka. Vpravo dole: Dva 200 kW hydraulické motory, každý pre jedno zadné koleso, ktoré zrýchľujú aj spomaľujú vozidlo. Auto poháňa štandardný benzínový motor s výkonom 190 kW, ale vďaka digitálnej hydraulickej prevodovke a rekuperácii ušetrí 30 % paliva.

vonkajšieho prostredia!). A čo náš cieľ zbaviť sa závislosti od fosílnych palív?

V tejto časti sa budeme zaoberať piatimi technológiami: rekuperáciou, hybridnými automobilmi, elektromobilmi, autami na vodíkový pohon, a napokon autami na stlačený vzduch.

Rekuperčné brzdenie

Pri spomaľovaní vozidla je možné zachytiť energiu štyrmi spôsobmi.

1. Elektrický generátor pripojený ku kolesám môže nabiť elektrickú batériu alebo superkondenzátor.
2. Hydraulický motor poháňaný kolesami môže stláčať vzduch, ktorý sa uskladní v malej nádrži.
3. Energii môže uskladniť zotrvačník.
4. Energii brzdenia možno tiež uskladniť ako gravitačnú energiu, ak chceme vozidlo spomaliť jazdou do kopca. Táto možnosť uskladnenia je však veľmi nepraktická, keďže kopec musí byť na správnom mieste. Najvýhodnejšia je pre vlaky a dobre ju ilustruje trasa Viktória v londýnskom metre. Jej stanice sú umiestnené na trase na vrchole kopca. Prichádzajúce vlaky svah automaticky spomaľuje, kým odchádzajúcim vlakom jazda dole kopcom pomáha pri zrýchlení. Takáto štruktúra trasy pomáha usporiť 5 % energie a vlaky jazdia o 9 % rýchlejšie.

Rekuperácia (s použitím batérie na uskladnenie energie) usporí zhruba 50 % energie počas brzdenia, čo zodpovedá približne 20 % zníženiu spotreby energie pri jazde v meste.

Rekuperatívne systémy využívajúce zotrvačníky a hydrauliku sa zdajú byť o niečo lepšie ako systémy využívajúce batérie – usporia najmenej 70 % brzdiacej energie. Na obrázku 20.17 je zobrazenie hybridného automobilu s benzínovým motorom, ktorý poháňa digitálne regulovaný hydraulický systém. V porovnaní s pôvodným autom štandardne usporí 30 % paliva. Pri jazde v meste je však úspora energie až polovičná – zo 131 kWh na 100 km na 62 kWh na 100 km (z 20 míľ na galón na 43). Toto zlepšenie súvisí s rekuperáciou, ako aj s využitím hybridnej technológie. Hydraulické systémy aj zotrvačníky predstavujú sľubnú možnosť: rozmermi malé systémy dokážu pracovať s veľkým množstvom energie. Napríklad zotrvačnickový systém s hmotnosťou iba 24 kg (obrázok 20.18), zostavený pre uskladnenie energie v pretekárskom aute, môže uchovať až 400 kJ (0,1 kWh) energie, čo je dostatočné na zrýchlenie obvyčajného automobilu na rýchlosť 97 km/h. Môže tiež prijať alebo vydať 60 kW energie. Elektrické batérie s podobnými vlastnosťami by mali hmotnosť až 200 kg. Takže, pokiaľ práve v aute nemáte tak veľké batérie, na uskladnenie brzdiacej energie môžete využiť kondenzátory. Superkondenzátory majú podobnú kapacitu uskladnenia aj uvoľnenia energie ako zotrvačník.



Obrázok 20.18. Zotrvačnickový rekuperatívny brzdný systém. Fotografie použité s láskavým povolením Flybrid Systems.

Hybridné automobily

Hybridné autá, ako napr. Toyota Prius (obrázok 20.19), majú efektívnejší motor a elektrickú rekuperáciu, avšak, priznajme si, dnešné hybridné automobily príliš z radu nevyčnievajú (obrázok 20.9).

Horizontálne pásy na obrázku 20.9 uvádzajú aj dva hybridy. Kým nové auto v Británii v priemere emituje 168 g CO₂ na km, hybrid Prius emituje 100 g, ako aj niekoľko ďalších nehybridných vozidiel – VW Polo „blue motion“ uvoľní 99 g/km a Smart dokonca len 88 g/km.

Lexus RX 400h je ďalší hybrid, ktorého predaj sprevádzal slogan: NÍZKE ZNEČISTENIE. ŽIADNA VINA. Avšak jeho emisie dosahujú až 192 g/km, čo je horšie, než pri priemernom britskom aute! Úrad pre reklamné štandardy rozhodol, že táto reklama prekročila hranice v otázkach pravdivosti, porovnávaní a environmentálnych vyhlásení. „Usúdili sme, že... publikum jej mohlo porozumieť tak, že auto len málo alebo vôbec nepoškodzuje životné prostredie, čo sa nezakladá na pravde, a tiež, že jeho emisie v porovnaní s ostatnými autami sú nízke, čo sa taktiež nezakladá na pravde.“ Hybridné vozidlá vo všeobecnosti prinášajú úspory 20 až 30 %. Podľa mňa teda ani benzínovo/elektrické hybridy, ani benzínovo/hydraulické hybridy uvedené na obrázku 20.17 v skutočnosti neriešia problém. 30 % úspora fosílného paliva je skvelá vec, avšak nie dosť pre ciele, ktoré sledujeme v tejto knihe. Náš počiatočný predpoklad bol, že fosílnym palivám sa chceme vyhnúť, alebo aspoň znížiť ich spotrebu o 90 %. Môžeme tento cieľ dosiahnuť bez návratu k bicyklom?



Obrázok 20.19. Toyota Prius – podľa Jeremy Clarksona „veľmi drahý, veľmi zložitý, nie super zelený, pomalý, lacno prevedený a nezmyselný spôsob prepravy.“



Elektromobily

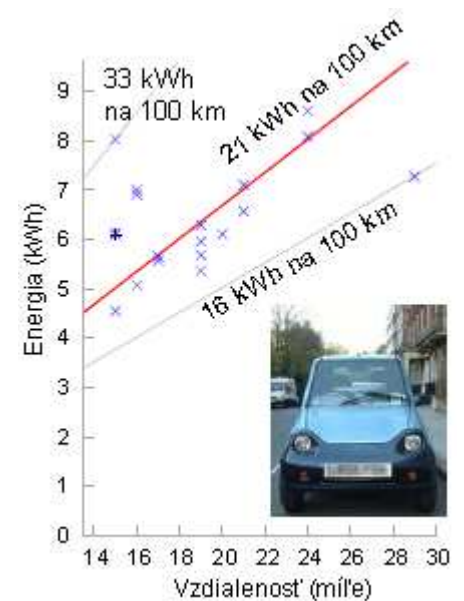
Elektromobil REVA mal premiéru na trhu v júni 2001 v Bangalore a do Británie sa dováža pod názvom G-Wiz. Maximálny výkon tohto vozidla je 13 kW a nepretržitý výkon dosahuje 4,8 kW. Motor sa dobíja rekuperáciou. Poháňajú ho šesťvoltové olovené batérie, pomocou ktorých dokáže po plnom nabití prejsť „až do 77 km“. Na ich plné nabitie spotrebuje 9 kWh elektrickej energie. Tieto čísla znamenajú nákladnosť dopravy 13 kWh na 100 km.

Zvykom výrobcov je vždy uvádzať najlepšie hodnoty svojich výrobkov. Ale ako je to v skutočnosti? V prípade vozidla G-Wiz udáva skutočné parametre z prevádzky v Londýne obrázok 20.21. Počas 19 cyklov nabitia bola priemerná cena dopravy **21 kWh na 100 km** - čo je približne 4-krát lepšie ako pri priemernom aute na fosílné palivo. Najlepší výsledok bol 16 kWh na 100 km a najhorší 33 kWh na 100 km. Pri prepočte na emisie uhlíka, 21 kWh na 100 km zodpovedá 105 g CO₂ na km, za predpokladu, že elektrickej energii zodpovedá uhlíková stopa 500 g CO₂ na kWh.

Takže, G-Wiz sa nachádza na jednej strane výkonnostného spektra. Ale čo ak by sme požadovali viac – väčšie zrýchlenie, rýchlosť a dojazd? Na druhej strane spektra je Tesla Roadster. Model tohto automobilu z roku 2008 má dojazd 354 km; jeho lítium-iónové batérie uskladnia 53 kWh a majú hmotnosť 450 kg (120 Wh/kg.). Vozidlo má hmotnosť 1220 kg a motor dosiahne maximálny výkon 185 kW. Aká je spotreba energie tohto silného auta? Veľmi prekvapujúco, je nižšia, ako u automobilu G-Wiz: **15 kWh na 100 km**. Dojazd 354 km by pritom mal byť dostatočný – len 8,3 % ľudí dochádza do práce na vzdialenosť väčšiu než 30 km.

Vyhľadal som prevádzkové parametre množstva elektromobilov (uvádzam ich v poznámkach ku kapitole) a ukazuje sa, že údaje sú v súlade so záverom: elektromobily môžu poskytovať dopravu pri energetickom výdaji približne 15 kWh na 100 km. Čo je päťnásobne lepšie ako bežné autá poháňané fosílnymi palivami, a značne lepšie, než akékoľvek hybridné vozidlo. Hurá! Aby sme sa prepravovali ekonomicky, nemusíme sa všetci nevyhnutne natlačiť do verejnej dopravy – vďaka elektromobilom si môžeme aj naďalej užívať radosti a slobodu sólo jazdy.

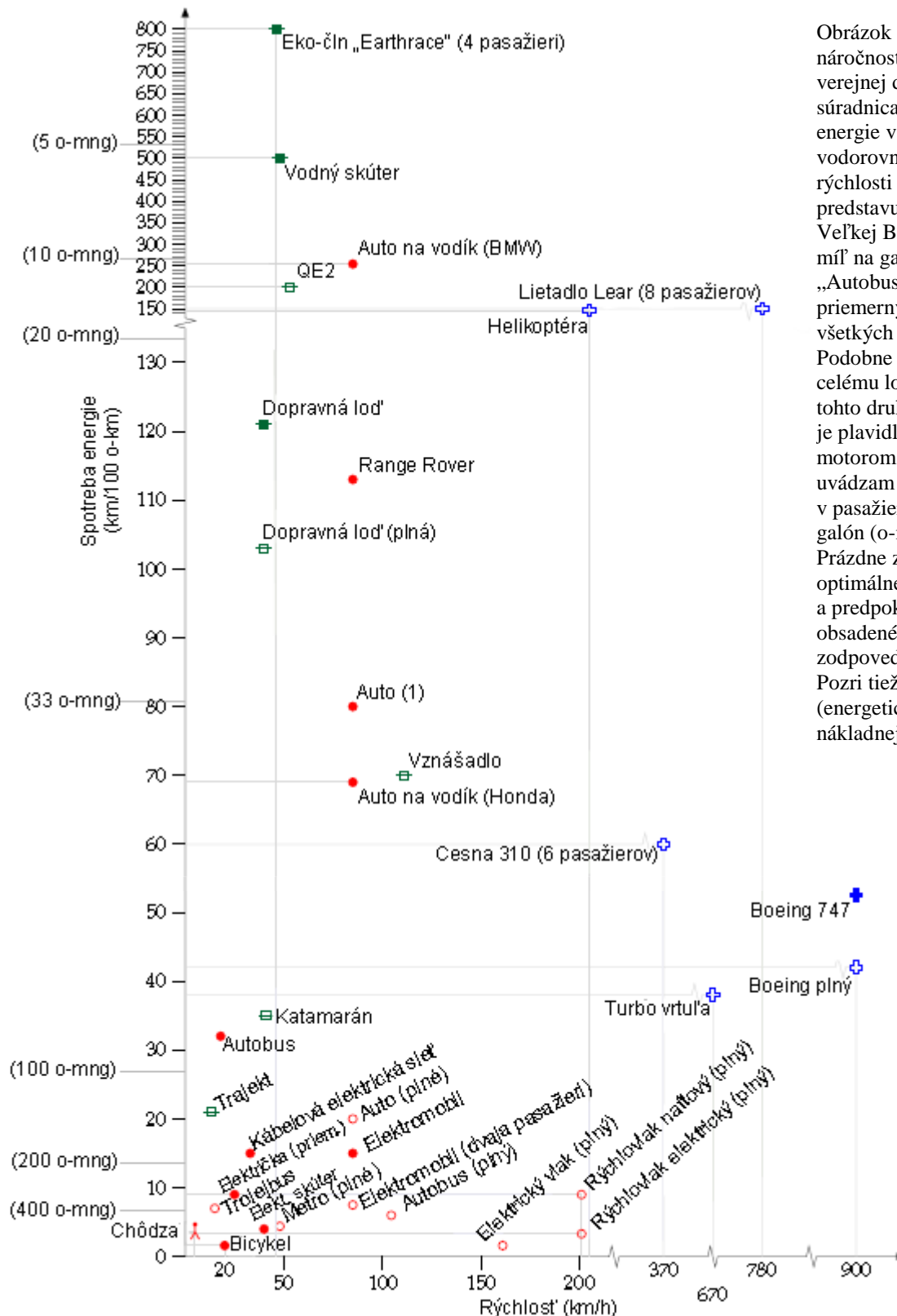
Obrázok 20.20. Elektromobily. Zľava doprava: G-Wiz; hrdzavejúci Sinclair C5; Citroen Berlingo; a Eletrica.



Obrázok 20.21. Elektrina potrebná pre nabitie G-Wiz v porovnaní s prejednou vzdialenosťou. Merané v elektrickej zásuvke.



Obrázok 20.22. Tesla Roadster: **15 kWh na 100 km**. www.teslamotors.com.



Obrázok 20.23. Energetická náročnosť rôznych spôsobov verejnej dopravy. Zvislá súradnica uvádza spotrebu energie v kWh na 100 o-km. Na vodorovnej súradnici sú hodnoty rýchlosti dopravy. „Auto (1)“ predstavuje priemerné auto vo Veľkej Británii s dojazdom 33 míľ na galón s jednou osobou. „Autobus“ zodpovedá priemerným parametrom všetkých autobusov v Londýne. Podobne „Metro“ zodpovedá celému londýnskemu systému tohto druhu dopravy. Katamarán je plavidlo s dieselovým motorom. Na ľavej strane uvádzam spotrebu paliva v pasažier-míľach na britský galón (o-mng) (anglicky mpg). Prázdne značky zodpovedajú optimálnej prevádzke a predpokladu, že vozidlo je plne obsadené. Plné značky zodpovedajú typickej prevádzke. Pozri tiež obrázok 15.8 (energetická náročnosť nákladnej dopravy).

V tomto slávnostnom okamihu sa zdá byť výborná príležitosť, pri ktorej je vhodné odhaliť súhrnný graf kapitoly na obrázku 20.23. Ten uvádza energetické nároky všetkých druhov hromadnej dopravy, ktorými sme sa zaoberali, ako aj niekoľko ďalších, ktoré na rad ešte len prídu.

Takže preteký skončili a vyhlasujem dvoch víťazov: hromadnú dopravu a elektromobily. Jestvujú však aj ďalšie možnosti, ako sa dostať za cieľovú čiaru? Ešte sme sa nezaoberali autom na stlačený vzduch a autom na vodíkový pohon. Ak aj niektoré z nich budú lepšie než elektromobil, z dlhodobého hľadiska to veľa neznamená: ktorúkoľvek z týchto troch technológií by sme uprednostnili, vozidlá by sme poháňali energiou zo „zeleného“ zdroja.

Autá na stlačený vzduch

Automobily na stlačený vzduch nie sú novinkou. V období 1879 až 1911 vo francúzskych mestách Nantes a Paríž premávali stovky „električiek“, ktoré poháňal stlačený vzduch a horúca voda. Na obrázku 20.24 je nemecká pneumatická lokomotíva z roku 1958. Myslím, že z hľadiska energetickej efektívnosti využitie stlačeného vzduchu v porovnaní s elektrickými batériami nepredstavuje dobrú možnosť uskladnenia energie. Problém spočíva v tom, že pri stláčaní vzduchu vytvárame teplo, ktoré pravdepodobne nedokážeme efektívne využiť; kým pri expanzii vzduchu prostredie ochladzujeme, čo predstavuje podobný problém. Na druhej strane, stlačený vzduch má v porovnaní s batériami aj obrovské výhody. Vzduch napríklad môžeme stlačiť tisíckrát bez toho, aby sa „unavil“. Je zaujímavé poznamenať, že prvým produktom, ktorý predala spoločnosť the Aircar, bol práve *elektrický* skúter. [<http://www.theaircar.com/acf/>]

Veľa sa dnes hovorí o firme Tata Motors v Indii, ktorá má autá na vzdušný pohon vyrábať. Zatiaľ však nie je isté, či sa autá na vzduch dožijú návratu, pretože doposiaľ nikto nezverejnil parametre nového prototypu. Poznáme pritom základné obmedzenie: hustota uskladnenej energie vo forme stlačeného vzduchu je iba okolo 11 až 28 kWh na kg, čo predstavuje hodnotu podobnú oloveným akumulátorom a asi päťkrát menšiu, ako v prípade lítium-iónových batérií. (Ďalšie údaje o technológiách uskladnenia energie nájdete na str. 199, obrázok 26.13.) Takže dojazd áut poháňaných stlačeným vzduchom dosiahne nanajvýš hodnotu najstarších elektromobilov. Na druhej strane, uskladnenie stlačeného vzduchu má v porovnaní s batériami tri výhody: dlhšiu životnosť a lacnejšiu výrobu s menším množstvom nebezpečných chemických látok.

Autá na vodík – užite si jazdu

Myslím, že autá na vodík sú len nafúknutá bublina. Veľmi rád by som sa síce mýlil, ale nevidím možnosti, ako by nám vodík pomohol vyriešiť problémy v energetike. Problém je, že vodík nepredstavuje *záračný zdroj*



Obrázok 20.24. Hore: Električka na stlačený vzduch v Nantes čerpajúca vzduch a paru. Na poháňanie týchto vozidiel sa spotrebovalo 4,4 kg uhlia (36 kWh) na kilometer, alebo **115 kWh na 100 o-km**, ak by boli vozidlá plné. [5qhvcb]

Dole: lokomotíva na stlačený vzduch; hmotnosť 9,2 t, tlak 175 barov, výkon 26 kW. Fotografie s láskavým povolením: Rüdiger Fach, Rolf-Dieter Reichert, a Frankfurter Feldbahnmuseum



Obrázok 20.25. Hummer H2H: zelená revolúcia na americký spôsob. Fotografia s láskavým povolením General Motors.

energie, je len jej *nosič*, podobne ako nabíjateľná batéria. A navyše je to nosič dosť neefektívny, s celým zástupom technických nedostatkov.

„Vodíkovú ekonomiku“ podporil aj časopis *Nature* stĺpčekom, kde pochválil guvernéra Kalifornie Arnolda Schwarzeneggera za Hummer na vodíkový pohon (obrázok 20.25). Autor článku ocenil Arnoldovu víziu áut na vodíkový pohon, ktoré nahradia „znečisťujúce modely“ výrazom „guvernér je skutočným klimatickým hrdinom“. Pri podobnom vodíkovom hrdinstve si však musíme položiť kľúčovú otázku: „Odkiaľ bude pochádzať *energia*, ktorú potrebujeme na výrobu vodíka?“ Navyše, premena energie z vodíka a na vodík sa uskutočňuje len veľmi neefektívne – aspoň s dnešnou technológiou.

Tu je niekoľko konkrétnych údajov:

- Z projektu CUTE (Clean Urban Transport for Europe), ktorého zámerom bolo preukázať uskutočniteľnosť a spoľahlivosť autobusov s palivovými článkami a vodíkovej technológie, vyplynulo, že autobusy na pohon vodíka spotrebovali o 80 až 200 % viac energie ako najjednoduchší autobus s naftovým motorom.
- Na pohon vozidla Hydrogen 7, vodíkového auta firmy BMW, je potrebných 254 kWh na 100 km – teda o 220 % viac energie ako v prípade priemerného európskeho auta.

V situácii, kde by bolo našou úlohou „ prestať používať fosílna palivá v doprave za predpokladu, že k dispozícii je neobmedzené množstvo zelenej elektriny zadarmo“, by potom aj hýrenie energiou v doprave, napr. na využívanie vodíka, predstavovalo určitú možnosť (hoci s vodíkom sú spojené aj ďalšie problémy). Ale *zelená elektrina nie je zadarmo*. Získať zelenú elektrinu v potrebnom rozsahu bude predstavovať veľkú výzvu. Problém fosílnych palív je problém energetický. Aj problém klimatických zmien je problém energetický. Potrebujeme sa zamerať na riešenia, ktoré smerujú k využívaniu menšieho množstva energie, nie „riešenia“, ktoré jej využívajú viac! *Nepoznám spôsob pozemnej prepravy, pri ktorej by bola spotreba energie vyššia ako pri aute na vodík*. (Jediný ešte horší spôsob, ktorý poznám, je tryskové lietadlo so spotrebou 500 kWh na 100 km a bionaftová rýchlostná loď *Earthrace*, absurdne nazývaná eko-loďou, ktorá spotrebuje až 800 kWh na 100 o-km.)

Zástancovia vodíkovej technológie môžu tvrdiť, že „BMW Hydrogen 7 je iba prvý prototyp a je to luxusné auto s množstvom zbytočnej sily – technológia bude účinnejšia.“ V to dúfam aj ja, pretože ešte má veľa čo doháňať. Tesla Roadster (obrázok 20.22) je tiež prvý prototyp, a tiež ide o luxusné auto s množstvom zbytočnej sily. A je viac ako 10-násobne účinnejšie ako Hydrogen 7! Ak chcete, pokojne vsaďte svoje peniaze na dostihového koňa a ak vyhrá, v poriadku. Ale zdá sa byť hlúpe vsádzať na koňa, ktorý je na trase príliš pozadu. Len sa pozrite na obrázok 20.23 – ak by som nestlačil vrch zvislej osi, vodíkové auto by sa na stránku knihy ani nevošlo!

Áno, vodíkové auto Honda FCX Clarity je na tom lepšie – premáva s účinnosťou 69 kWh na 100 km – ale moja predpoveď je, že potom, čo sa



Obrázok 20.26. BMW Hydrogen 7.
Spotreba energie: 245 kWh na 100 km.
Fotografia od BMW.



Obrázok 20.27. „Ekolod“ Earthrace.
Fotografia: David Castor.



Obrázok 20.28. Honda FCX Clarity s palivovými článkami poháňanými vodíkom a Jamie Lee Curtis na porovnanie výšky. Zverejnené vďaka automobiles.honda.com.

skončia všetky vyhlásenia ohľadom „nulových emisií“ zistíme, že vodíkové autá spotrebávajú presne toľko energie, ako priemerné autá na fosílny pohon dnes.

Tu sú niektoré ďalšie problémy s vodíkom. Vodík je v porovnaní s ostatnými tekutými palivami menej vhodný na uskladňovanie, najmä pre svoj objem, či už je uskladnený pod tlakom, alebo ako plyn, alebo ako tekutina (ktorá vyžaduje teplotu -253 °C). Dokonca aj pri tlaku 700 barov (čo vyžaduje silnú tlakovú nádobu) je jeho energetická hustota (množstvo energie na objem) iba 22 % hustoty benzínu. Kryonádrž BMW Hydrogen 7 Má hmotnosť 120 kg a uloží 8 kg vodíka. Ďalej, vodík postupne uniká prakticky z akýchkoľvek používaných nádrží. Ak by ste zaparkovali svoje vodíkové auto s plnou nádržou a vrátili sa o týždeň neskôr, väčšina vášho vodíka by zmizla v nenávratne.

Niektoré otázky týkajúce sa elektromobilov

Ukázali ste, že elektrické autá sú energeticky účinnejšie ako tie na fosílny pohon. Ale sú lepšie aj vtedy, ak je naším cieľom znižovať emisie CO₂, a elektrinu získavame pomocou uhoľných elektrární?

V tomto prípade ide o pomerne jednoduchý výpočet. Predpokladajme, že energetické náklady elektromobilu sú 20 kWh(e) na 100 km. (Myslím, že 15 kWh(e) na 100 km je absolútne v poriadku, ale buďme v týchto výpočtoch skeptickí). Ak má elektrina zo siete uhlíkovú stopu 500 g na kWh(e), potom sú efektívne emisie 100 g CO₂ na km, čo je približne také dobré, ako v prípade najlepších áut na fosílny pohon (obrázok 20.9). Takže môj záver je, že prechod na elektromobil je dobrou myšlienkou už teraz, aj pred tým, ako prejdeme na výrobu zelenej elektriny.

Elektrické autá, podobne ako tie na fosílny pohon, majú náklady pri výrobe aj pri používaní. Elektrické autá sú možno lacnejšie pri používaní, ale ak akumulátory nevydržia príliš dlho, nemal by sa klásť väčší dôraz na výrobné náklady?

Áno, to je dobrá poznámka. Môj graf jednotlivých spôsobov dopravy ukazuje iba transportné náklady. Ak by elektrické auto vyžadovalo nový akumulátor každých pár rokov, moje výpočty môžu byť podhodnotené. Akumulátory u väčšiny Priusov vydržia podľa predpokladov iba 10 rokov a nové by mali stáť okolo 3500 libier. Chcel by niekto vlastniť 10 rokov starý Prius a zaplatiť túto sumu? Dalo by sa predpokladať, že väčšina Priusov pôjde do šrotu vo veku 10 rokov. To je určite problém pri všetkých elektromobiloch. Myslím, že som optimista, ak predpokladám, že s prechodom na elektromobily sa zlepší aj technológia batérií.

Žijem v horúcej oblasti. Ako môžem jazdiť v elektromobile, keď potrebujem klimatizáciu náročnú na spotrebu?

Pre túto požiadavku existuje elegantné riešenie: upevnite 4 m² FV panelov na steny auta orientované nahor. Ak potrebujete klimatizáciu, nepochybne bude svietiť slnko. Panely s 20 % účinnosťou dokážu vyrobiť až do 800 W, čo je dosť pre pohon klimatizácie. Panely dokážu užitočnou

energiou prispieť aj vtedy, keď je auto zaparkované. Chladenie auta pomocou slnečnej energie odskúšala v roku 1993 Mazda; slnečné články boli zabudované v sklenenej posuvnej streche.

Žijem na chladnom mieste. Ako môžem jazdiť v elektromobile? Potrebujem energiu na náročné vykurovanie!

Pri jazde spotrebuje elektrický motor približne 10 kW s účinnosťou 90-95 %. Časť stratenej energie, teda 5-10 %, sa uvoľní ako teplo. Možno môžu byť elektrické auta používané v chladných oblastiach špeciálne dizajnované tak, že teplo vyrobené pri chode motora, v rozsahu 250 až 500 W, by sa dalo odvádzať priamo do auta. Toľko výkonu by umožnilo pohodlné ofukovanie skiel alebo zohriatie tela.

Sú lítium-iónové batérie bezpečné aj pri havárii?

Niektoré lítium-iónové batérie nemusia byť bezpečné pri skratovaní alebo prehriatí, ale priemysel dnes vyrába bezpečnejšie batérie, napríklad lítium fosfátové. Na www.valence.com sa dá nájsť zábavné video o ich bezpečnosti.

Existuje dostatok lítia pre výrobu obrovského počtu elektromobilov?

Svetové zásoby lítia sa odhadujú na 9,5 milióna ton v ložiskách rudy (strana 175). Lítium-iónový akumulátor tvorí z 3 % lítium. Ak predpokladáme, že každé auto má 200 kg akumulátor, potom na každé vozidlo potrebujeme 6 kg lítia. Takže odhadované zásoby ložísk rudy postačujú pre výrobu batérií pre 1,6 miliardy automobilov. To je viac ako počet áut dnes (zhruba jedna miliarda) – ale nie o moc viac, takže dostupnosť lítia by mohol byť problém, obzvlášť keď zoberieme do úvahy lítiové ambície jadrovej fúzie (kapitola 24), pri ktorej je lítium potrebné. V morskej vode je lítia mnoho tisíckrát viac, takže možno oceány budú dostatočným záložným zdrojom. Navyše, špecialista na lítium R. Keith Evans hovorí, že „obavy o dostupnosť lítia pre hybridné alebo elektrické automobily sú nepodložené.“ V každom prípade existujú ďalšie bezlítiové technológie, napríklad zinkové nabíjateľné batérie [www.revolttechnology.com]. Myslím, že elektrické auto je to pravé!

Budúcnosť lietania

Superjumbo A380 je podľa spoločnosti Airbus „palivovo veľmi úsporné lietadlo.“ V skutočnosti spotrebuje iba o 12 % menej paliva na pasažiera ako Boeing 747.

Boeing tiež oznámil podobný prielom: ich nový 747-8 Intercontinental vyhlasovali za záchrancu planéty, no podľa reklamy výrobcu ej iba o 15 % účinnejšie ako 747-100.

Toto slimačie tempo pokroku (v kontraste s autami, kde technologické zlepšenia prinášajú 2-násobné, alebo dokonca 4-násobné zvýšenie účinnosti) vysvetľuje technická kapitola C. Lietadlá stoja proti základnému limitu, ktorým sú zákony fyziky. Akékoľvek lietadlo, akokoľvek veľké,



Obrázok 20.29. Airbus A380.

musí spotrebovať približne 0,4 kWh na tonu-kilometer pri štarte aj pri udržaní sa vo vzduchu. Lietadlá už fantastickú dokonalosť dosiahli a neexistuje predpoklad výrazných zlepšení ich účinnosti.

Nejaký čas som si myslel, že spôsob, ako vyriešiť problém dopravy na veľké vzdialenosti, je návrat do obdobia pred lietadlami: teda lode. Potom som sa pozrel na čísla. Smutnou pravdou je, že lode spotrebujú viac energie na osobo-km ako lietadlá jumbo. Loď QE2 potrebuje štvornásobne viac energie na pasažiera ako jumbo. Dobré, ide o luxusnú loď; pochoďme lepšie s pomalšími loďami turistickej triedy? Od roku 1952 do roku 1968 predstavovali ekonomický spôsob cestovania cez Atlantik dve holandské lode známe ako „Ekonomické dvojčičky,“ Maasdam a Rijnsdam. Cestovali rýchlosťou 16,5 uzla (30,5 km/h), takže cesta z Británie do New Yorku trvala osem dní. Ich spotreba energie pri plnom počte pasažierov bola 103 kWh na 100 o-km. Pri typickej obsadenosti 80 %, je spotreba energie **121 kWh na 100 o-km** – viac ako dvojnásobok jumba. Aby sme boli voči lodiam spravodliví, neposkytujú pasažierom iba transport: poskytujú im tiež teplý vzduch, teplú vodu, svetlo a zábavu na niekoľko dní; ale energia ušetrená v dome, kým sa v ňom nenachádzate, je zanedbateľná v porovnaní so spotrebou energie na lodi, ktorá je v prípade QE2 približne 3000 kWh za deň na pasažiera.

Takže, bohužiaľ, nedomnievam sa, že lode niekedy porazia lietadlá v úspornosti potreby energie. Ak chceme cestovať na veľké vzdialenosti bez fosílnych palív, zaujímavou možnosťou môžu byť lode na jadrový pohon (obrázky 20.31 a 20.32).

Čo doprava nákladu?

Medzinárodná lodná doprava je prekvapivo účinným spôsobom využívania fosílnych palív; takže prednosť pri zrušení závislosti na fosílnych palivách má cestná, nie lodná doprava. Množstvo fosílií je ale konečné a lode bude musieť nakoniec poháňať niečo iné. Biopalivá *možno* budú fungovať. Inou možnosťou je jadrová energia. Prvá loď na jadrový pohon prevážajúca náklad bola NS Savannah, ktorá vyplávala na more v roku 1962 ako súčasť iniciatívy s názvom *Atómy pre mier* prezidenta Dwighta D. Eisenowera (obrázok 20.31). Poháňaná jedným 74-MW jadrovým reaktorom, ktorý riadil 15-MW motor, Savannah dosahovala rýchlosť 21 uzlov (39 km/h) a dokázala previesť 60 pasažierov a 14 000 t nákladu. To predstavuje transportné náklady 0,14 kWh na tonu-km. Mohla prejsť 500 000 km bez natankovania. Dnes už existuje veľa jadrových lodí, vojenských aj civilných. Rusko vlastní desať ľadoborcov na jadrový pohon, sedem z nich je stále funkčných. Obrázok 20.32 ukazuje jadrový ľadoborec Yamal, ktorý má dva 171 MW reaktory a motory s kapacitou 55 MW.



Obrázok 20.30. TSS Rijnsdam.



Obrázok 20.31. NS Savannah, prvá komerčná nákladná loď na jadrový pohon, prechádzajúca pod mostom Golden Gate v roku 1962.



Obrázok 20.32. Jadrový ľadoborec Yamal so 100 turistami na palube smerujúci na severný pól v roku 2001. Fotografia Wofratz.

„Počkať! Nespomenuli ste magnetický vlak“

Nemecká spoločnosť Transrapid, ktorá vyrobila vlak Maglev pre čínsky Šanghaj (obrázok 20.33), hovorí: „Systém Transrapid Superspeed Maglev je neporaziteľný čo sa týka hluku, spotreby energie a využívania krajiny. Inovatívny bezkontaktný dopravný systém poskytuje mobilitu bez vedľajšieho poškodzovania životného prostredia.“

Magnetická levitácia je jedna z mnohých hlasne vychvaľovaných technológií, keď ľudia diskutujú o záležitostiach energie. V zmysle spotreby energie, porovnanie s inými vlakmi nie je natoľko lichotivé, ako by sa podľa vychvaľovania mohlo zdať. Stránka Transrapid porovnáva Transrapid s vlakom InterCityExpress (ICE), čo je vysokorýchlostný elektrický vlak.

Porovnanie rýchlovlakov pri rýchlosti 200 km/h (125 míľ/h)	
Transrapid	2,2 kWh na 100 sedadlo-km
ICE	2,9 kWh na 100 sedadlo-km

Hlavné dôvody, prečo je maglev o niečo lepší ako ICE, sú: magnetický reaktívny motor ma vysokú účinnosť; vlak samotný má nízku hmotnosť, pretože väčšina reaktívneho systému je v koľajniciach miesto vo vlaku; a do vlaku sa zmestí viac pasažierov, pretože priestor nezaberá motor. Och, a možno preto, že údaje sú zo stránok spoločnosti vyrábajúcej maglev-y, takže bude tento vlak nevyhnutne vyzerat' lepšie!

Mimochodom, ľudia, ktorí vlak Transrapid v Shangaji videli, mi vravia, že pri plnej rýchlosti je „približne taký tichý, ako prúdové lietadlo.“

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

119 Často citovaná štatistika, podľa ktorej platí, že „len 1 percento energie spotrebovanej v automobile slúži na premiestňovanie vodiča.“ V skutočnosti sa percento v tomto mýte mení, podľa toho ako koluje v jednotlivých skupinách ľudí. Niektorí ľudia hovoria „5 % energie sa spotrebuje na prevoz vodiča.“ Iní hovoria „iba tri desatiny jedného percenta energie paliva sa spotrebuje na prevoz vodiča.“ [4qgg8q] Môj pohľad na vec, mimochodom, je taký, že žiadna z týchto štatistík nie je ani správna, ani užitočná.

- *Bicykel je z hľadiska energie spotrebovanej na km porovnateľný s eko-autom*
Bicyklovanie na jednomiestnom bicykli stojí približne 1,6 kWh na 100 km, pri predpokladanej rýchlosti 20 km/h. Detaily a odkazy na literatúru pozri v kapitole A, strana 262.



Obrázok 20.33. Vlak Maglev na medzinárodnom letisku Pudong v Shangaji.

„jazdiť bez kolies;
lietať bez krídiel“

Fotografia Alex Needham.



Obrázok 20.34. Deväť z desiatich automobilov v Londýne sú G-Wiz. (A 95 % štatistík je vymyslených.)

- *Osobný vlak s 8 vagónmi z Cambridge do Londýna* (obrázok 20.4.) Má hmotnosť 275 ton a dokáže odnieť 584 sediacich pasažierov. Maximálna rýchlosť je 100 míľ/h (161 km/h), s výkonom 1,5 MW. Ak sú obsadené všetky sedadlá, tento vlak spotrebuje pri maximálnej rýchlosti najviac **1,6 kWh na 100 osobo-km**.

120 *Londýnske metro*. Vlak viktoriánskeho typu pozostáva zo štyroch 30,5 tonových a štyroch 20,5 tonových vagónov (tie prvé prenášajú motory). Laden, priemerný vlak, má hmotnosť 228 ton. Maximálna rýchlosť je 45 míľ/h. Priemerná rýchlosť je 31 míľ/h. Vlak s takmer plnou obsadenosťou odvezie 350 pasažierov; pri naplnení na prasknutie ich odvezie 620. Maximálna spotreba energie dosahuje **4,4 kWh na 100 osobo-km**. (Catling, 1966).

121 *Vysokorýchlostný vlak*. Vlak Intercity 125 na dieselový pohon (napravo na obrázku 20.5) Má hmotnosť 410 ton. Pri rýchlosti 125 míľ/h je výkon „na koľajniciach“ 2,6 MW. Počet pasažierov v plnom vlaku je približne 500. Priemerná spotreba paliva je približne 0,84 litrov nafty na 100 sedadlo-km [5o5x5m], čo predstavuje dopravné náklady približne **9 kWh na 100 sedadlo-km**. Elektrický vlak triedy 91 (na ľavo na obrázku 20.5) jazdí rýchlosťou 140 míľ/h (225 km/h) a spotrebuje 4,5 MW. Podľa Rogera Kempa je priemerná spotreba tohto vlaku **3 kWh na 100 sedadlo-km** [5o5x5m]. Dokument vlády [5fbeg9] tvrdí, že vlaky hlavných liniek na východe aj západe spotrebujú približne 15 kWh na km (celý vlak). Počet sedadiel v každom vlaku je 526 alebo 470. Takže to znamená **2,9-3,2 kWh na 100 sedadlo-km**.

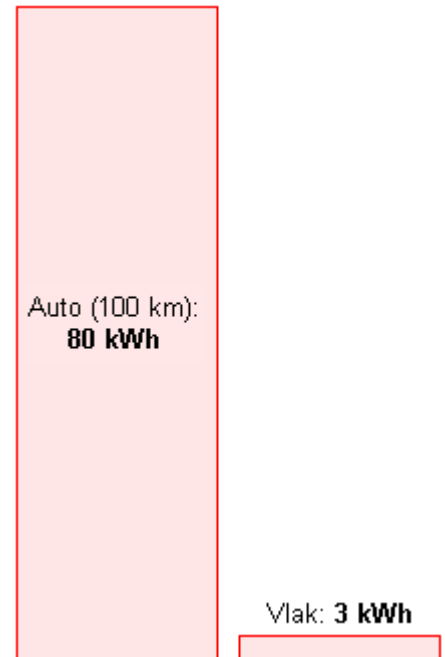
- *...boli celkové energetické náklady všetkých vozidiel metra v Londýne, vrátane osvetlenia, eskalátorov, diep a opravárenských dielní, 15 kWh na 100 o-km. ... V prípade všetkých londýnskych autobusov to bolo 32 kWh na 100 o-km.* Zdroj: [679rpc]. Zdroj rýchlostí vlakov a autobusov: Ridley a Catling (1982).

- *Električka v Croydone*. www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/TfL-environment-report-2007.pdf, www.tfl.gov.uk/assets/downloads/corporate/London-Travel-Report-2007-final.pdf, www.croydon-tramlink.co.uk.

123 *...vytvorenie ideálnych podmienok pre cyklistov...* Britský sprievodca cestného dizajnu [www.manualforstreets.org.uk] podporuje výstavbu ulíc, kde by normálna rýchlosť dosahovala 20 míľ za hodinu (32 km/h). Pozri aj Franklin (2007).

124 *uvádzam jednoduchú a spravodlivú metódu, ako uviesť do praxe daň zo zápchy*. Naučil som sa výborný spôsob automatizácie spoplatnenia zápchy od Stephena Saltera. Jednoduchý denný dopravný poplatok, tak ako sa vyberá v Londýne, vysielá vodičom iba neurčitý signál; ak sa raz majiteľ auta rozhodne, že zaplatí denný poplatok za vjazd do frekventovanej zóny, nemá viac motiváciu, aby v nej jazdil *minimálne*. Nedostane tiež žiadnu odmenu, ak si zvolí také cesty v zóne, ktoré nie sú preplnené.

Namiesto centralizovanej autority, ktorá dopredu rozhoduje o tom, kedy a kde budú dopravné poplatky, za pomoci drahého a narušujúceho monitorovania pohybu automobilov v jednotlivých zónach, Salter ponúka jednoduchšie, decentralizované a anonymné riešenie spoplatnenia vodičov, ak šoférujú v preplnenej, pomalejšej doprave, kdekoľvek a kedykoľvek sa taká vyskytne. Systém by fungoval na národnej úrovni. Ako to funguje? Chceme zariadenie, ktoré odpovie na otázku „ako upchatá je doprava, do ktorej sa chcem dostať?“



Obrázok 20.35. 100 km v aute s jednou osobou, v porovnaní so 100 km vo vysoko rýchlostnom vlaku pri plnom obsadení.



Obrázok 20.36. Električky fungujú dobre v Istanbuli aj v Prahe.

Dobry spôsob ako vyjadriť hustotu premávky je „koľko iných pohybujúcich sa áut je vedľa môjho?“ Ak je doprava rýchla, medzery medzi autami sú väčšie ako pri pomalšej doprave. Doprava, ktorá sa trápi s nekonečnými radami, je najhustejšia. Počet pohybujúcich sa áut nablízku je možné anonymne zaznamenávať vybavením auta rádiovým vysielačom/prijímačom (niečo ako veľmi lacný mobilný telefón), ktorý vysiela slabé rádiové vlny konštantnou rýchlosťou, kedykoľvek je zapnutý motor, a zároveň počíta prichádzajúce signály ostatných áut; poplatok by sa potom platil na čerpacích staniciach pri natankovaní. Rádiový vysielač/prijímač by nahradil súčasný systém dane z dopravy v Británii.

126 zotrvačníky a hydraulika... sa zdajú byť o niečo lepšie, než systémy využívajúce batérie – usporia najmenej 70 % brzdiacej energie. Stlačený vzduch sa využíva pri rekuperácii pri nákladných automobiloch; podľa eaton.com „hydraulická podpora štartovania“ využije 70 % kinetickej energie [5cp27j].

Zotrvačník flybridsystems.com takisto zachytáva 70 % kinetickej energie. www.flybridsystems.com/F1System.html

- *Rekuperácia usporí zhruba 50 % energie.* Zdroj: E4tech (2007).
- *Elektrické batérie dodávajúce 60 kW by mali hmotnosť približne 200 kg.* Kvalitné lítium-iónové batérie majú špecifický výkon 300 W/kg (Horie a kol., 1997; Mindl, 2003).
- *nové auto v Británii v priemere emituje 168 g CO₂ na km.* Ide o údaj za rok 2006 (King, 2008). Priemerné emisie nových automobilov v USA boli 255 g na km (King, 2008).
- *Toyota Prius má efektívnejší motor.* Benzínový motor Priusu využíva Atkinsonov cyklus na rozdiel od klasického Ottovho cyklu. Vďaka inteligentnému sklbeniu elektrického a benzínového výkonu podľa potrieb vodiča stačí Priusu menší motor ako je normálne u áut jeho hmotnosti a využíva benzín účinnejšie ako klasický benzínový motor.
- *Hybridné vozidlá vo všeobecnosti prinášajú úspory 20 až 30 %.* Napríklad, podľa výskumnej správy Hitachi, ktorá opisuje hybridné vlaky (Kaneko a kol., 2004): pre vysoko účinnú výrobu výkonu a rekuperáciu „sa očakáva, že ušetria približne 20 % paliva“ v porovnaní s klasickými vlakmi na dieselový pohon.“

127 len 8,3 % ľudí dochádza do práce na vzdialenosť väčšiu než 30 km. Zdroj: Eddington (2006). Závislosť medzi dojazdom elektrického auta a veľkosťou jeho baterky sa diskutuje v kapitole A (strana 261).

- *Množstvo elektromobilov.* Všetky som ich zhrnul nižšie, bez zvláštneho poradia. Ich parametre pochádzajú predovšetkým od výrobcov. Ako sme videli na strane 120, skutočný stav vecí niekedy nezodpovedá ich udávaným hodnotám.

Th!nk Elektrické autá z Nórska. Päťdverový Th!nk Ox má dojazd 200 km. Jeho baterky vážia 350 kg a auto váži celkovo 1500 kg. Spotreba energie je približne **20 kWh na 100 km**. www.think.no.

Elektric Smart Car „Elektrická verzia je poháňaná motorom s výkonom 40 koní (30 kW), prejde na jedno nabitie 70 míľ maximálnou rýchlosťou 70 míľ za hodinu. Nabíja sa pomocou štandardnej elektrickej prípojky a cena nabitia je



Obrázok 20.37. Fotografia od www.think.no.

1,2 libry, produkuje tak emisie 60 g/km oxidu uhličitého z elektrárne [benzínovým ekvivalentom je auto Smart: 116 g CO₂/km.] Plné nabitie zaberie približne osem hodín, ale baterku možno nabiť z 80 % vybitia na 80 % nabitie za približne tri a pol hodiny.“ [www.whatcar.com/newsarticle.aspx?NA=226488].

Berlingo Electricque 500E, mestská dodávka (obrázok 20.20), má 27 nikel-kadmiových akumulátorov a 28 kW motor. Dokáže previezť 500 kg. Maximálna rýchlosť: 100 km/h; dojazd: 100 km. **25 kWh na 100 km.** (Údaje láskavo poskytol majiteľ Berlinga.) [4wm2w4].

I MiEV Toto elektrické auto by malo mať dojazd 160 km s 16 kWh baterkou. To je 10 kWh na 100 km – lepšie ako G-Wiz – a zatiaľ čo je ťažké natlačiť dvoch dospelých Európanov do auta G-Wiz, prototyp Mitsubishi má štyri dvere a štyri pohodlné sedadlá (obrázok 20.38). [658ode].

EV1 Dvojsedadlový EV1 od General Motors má dojazd od 120 do 240 km na jedno nabitie, s nikel-kovovými hybridnými akumulátormi s 25,4 kWh. To je spotreba medzi **11 a 22 kWh na 100 km.**

Lightning (obrázok 20.39) – má štyri 120 kW bezkomutátorové motory, na každom kolese jeden, s rekuperáciou a rýchlonabíjateľnými lítium-titánovými akumulátormi Nanosafe. Kapacita 36 kWh umožňuje dojazd 200 míľ (320 km). To je **11 kWh na 100 km.**

Aptera Toto fantastické auto v tvare ryby je pre dvoch ľudí, s energetickými nákladmi 6 kWh na 100 km. Koeficient odporu 0,11 (obrázok 20.40). Vyvíjané sú elektrické a hybridné modely.

Loremo Podobne ako Aptera, Loremo (obrázok 20.41) má malú prednú časť a malý koeficient odporu (0,2) a bude k dispozícii v benzínovej a elektrickej verzii. Má dve sedadlá pre dospelých a dve pre deti, otočené proti smeru jazdy. Loremo bude mať lítium iónové baterky a predpokladaným nákladom **6 kWh na 100 km**, s maximálnou rýchlosťou 170 km/h a dojazdom 153 km. Má hmotnosť 600 kg.

eBox Má lítium iónové baterky a kapacitou 35 kWh a váhou 280 kg; dojazd má 140-180 míľ. Motor má maximálny výkon 120 kW a dosahuje udržiavaný výkon 50 kW. Spotreba energie: **12 kWh na 100 km.**

Ze-0 Päťsedadlové, päťdverové auto. Maximálna rýchlosť: 50 míľ za hodinu. Dojazd: 50 míľ. Váha, vrátane akumulátorov: 1350 kg. Olovené akumulátory s kapacitou 18 kWh. Motor: 15 kW. **22,4 kWh na 100 km.**

e500 Talianske auto podobné Fiatu, s dvoma dverami a štyrmi sedadlami. Maximálna rýchlosť: 60 míľ/h. Dojazd v meste: 75 míľ. Bateria: lítium iónový polymér.

My Car Auto MyCar je s talianskym dizajnom a dvoma sedadlami. Maximálna rýchlosť: 40 míľ/h. Maximálny dojazd: 60 míľ. Olovená baterka.

Mega City Dvojsedadlové auto s maximálnym trvalým výkonom 4 kW a maximálnou rýchlosťou 40 míľ/h: **11,5 kWh na 100 km.** Bez nákladu (s akumulátormi) má hmotnosť 725 kg. Olovené akumulátory majú kapacitu 10 kWh.

Xebra Podľa výrobcu má dojazd 40 km po nabití 4,75 kWh. **12 kWh na 100 km.** Maximálna rýchlosť je 65 km/h. Olovené baterky.



Obrázok 20.38. MiEV od korporácie Mitsubishi Motors Fotografia od www.think.no. Má 47 kW motor, má hmotnosť 1080 kg, maximálnu rýchlosť 130 km/h.



Obrázok 20.39. Lightning (Blesk): **11 kWh na 100 km.** Fotografia od www.lightningcompany.co.uk.



Obrázok 20.40. Aptera: **6 kWh na 100 km.** Fotografia od www.aptera.com.



Obrázok 20.41. Loremo: **6 kWh na 100 km.** Fotografia od evolution.loremo.com.

TREV Dvojsedadlové auto na obnoviteľnú energiu (TREV) je prototyp vyvinutý na University of South Australia (obrázok 20.42). Toto trojkolesové auto má dojazd 150 km, maximálnu rýchlosť 120 km/h, hmotnosť 300 kg a lítium-iónové polymérové batérie s hmotnosťou 45 kg. V priebehu uskutočneného 3000 km výletu predstavovala spotreba energie **6,2 kWh na 100 km**.

Venturi Fetish Má 28 kWh baterku, s váhou 248 kg. Auto má hmotnosť 1000 kg. Dojazd 160-250 km. To je **11-17 kWh na 100 km**.
www.venturifetish.fr/fetish.html.

Toyota RAV4 EV Toto auto – plne elektrické mini SUV predávala Toyota v rokoch 1997 až 2003 (obrázok 20.43). RAV4 EV má 24 12-voltových 95Ah NiMH akumulátorov. Sú schopné uložiť 27,4 kWh energie; dojazd 130-190 km. To je spotreba energie **14-21 kWh na 100 km**. RAV4 EV bolo obľúbené medzi policajtmi v Jersey.

Phoenix SUT – päť sedadlové „športové vozidlo“ vyrobené v Kalifornii – má dosah „až do 130 míľ“ za pomoci súboru 35 kWh lítium-iónových akumulátorov. (To je 17 kWh na 100 km.) Baterky je možné nabíť v špeciálnych zásuvkách za 10 minút. www.gizmag.com/go/7446/

Dodávka Modec Modec odvezie dve tony na vzdialenosť 100 míľ. Má hmotnosť 3000 kg. www.modec.co.uk

Smith Ampére Menšia dodávka, 24 kWh lítium iónové baterky. Dojazd „viac ako 100 míľ.“ www.smithelectricvehicles.com

Elektrický minibus Od www.smithelectricvehicles.com: 40 kWh sada lítiových bateriek. 90 kW motor s rekuperáciou. Dojazd „až do 100 míľ.“ 15 sedadiel. Hmotnosť auta je 3026 kg. Užitočná nosnosť 1224 kg. To znamená najlepšiu spotrebu auta **25 kWh na 100 km**. Pri plnom obsadení vozidla dokáže prevážať ľudí pri neuveriteľných **2 kWh na 100 o-km**.

Elektrický autobus Autobus Tunder Sky má dojazd 180 míľ a čas nabíjania tri hodiny. www.thunder-sky.com

Elektrické skútre Vectrix patria medzi výborné skútre (obrázok 20.44). Jeho akumulátor (nikel-metal hydridový) má kapacitu 3,7 kWh. Má dojazd až do 68 míľ pri rýchlosti 25 míľ za hodinu (40 km/h), nabije sa za dve hodiny v štandardnej elektrickej zásuvke. To znamená 110 km za 3 kWh, alebo **2,75 kWh na 100 km**. Maximálna rýchlosť 62 míľ za hodinu (100 km/h). Má hmotnosť 210 kg a maximálny výkon je 20 kW. www.vectrix.com.

„Oxygen Cargo“ je menší skúter. Má hmotnosť 121 kg, dojazd 38 míľ a nabije sa za 2-3 hodiny. Maximálny výkon 3,5 kW, maximálna rýchlosť je 28 míľ za hodinu. Má dve lítium iónové baterky a rekuperáciu. Dojazd je možné zvýšiť pridaním ďalších bateriek, ktoré uložia približne 1,2 kWh, pričom každá má hmotnosť 15 kg. Spotreba energie je: **4 kWh na 100 km**.

129 hustota uskladnenej energie vo forme stlačeného vzduchu je iba okolo 11 až 28 Wh na kg. Teoretický limit, ktorý predpokladá ideálnu izotermickú kompresiu: ak sa 1 m³ okolitého vzduchu pomaly stlačí do 5-litrovej nádrže pri 200 milibaroch, množstvo uloženej potenciálnej energie predstavuje 0,16 kWh v 1,2 kg vzduchu. V skutočnosti váži 5-litrová nádoba pri takomto tlaku približne 7,5 kg, ak je vyrobená z ocele, alebo 2 kg, ak je vyrobená z kevlaru alebo uhlíkového vlákna a celková energetická hustota dosahuje hodnôt medzi



Obrázok 20.42. TREV: **6 kWh na 100 km**.
Fotografia od
www.unisa.edu.au.



Obrázok 20.43. Toyota RAV4 EV.
Fotografia Kenneth Adelman
www.solarwarrior.com.



Obrázok 20.44. Vectrix: **2,75 kWh na 100 km**. Fotografia
www.vectrix.com.

11-28 Wh na kg. Teoretická energetická hustota sa nemení, bez ohľadu na objem nádrže.

130 ...*Arnolda Schwarzeneggera, za Hummer poháňaný vodíkom. Nature 438*, 24. november 2005. Nehovorím, že vodík nikdy nebude užitočný pre dopravu, ale dúfal by som, že taký renomovaný časopis ako *Nature* bude informovať o vodíkovej technológii s určitým kritickým pohľadom, nie iba s eufóriou.

Vodík a palivové články nie sú tou správnou cestou. Rozhodnutie Bushovej administratívy a štátu Kalifornia vydať sa na cestu vodíkovou diaľnicou je tým najhorším rozhodnutím posledných rokov.

James Woolsey, riaditeľ Rady Americkej nadácie pre čisté palivá, 27. november 2007.

V septembri 2008 časopis *The Economist* napísal: „Takmer nikto nespochybnuje, že... väčšinu áut budú nakoniec poháňať iba akumulátory.“

Na druhej strane, ak chcete počuť viac od zástancov dopravy na báze vodíka, pozrite stránky Inštitútu Rocky Mountains o „Hyperaute“ na www.rmi.org/hypercar/.

- *Z projektu Clean Urban Transport for Europe vyplynulo, že autobusy poháňané vodíkom spotrebovali o 80 až 200 % viac energie ako bežný autobus s naftovým motorom.* Zdroj: CUTE (2006); Binder a kol. (2006).
- *Na pohon auta poháňaného vodíkom firmy BMW je potrebných až 3-krát viac energie, ako v prípade priemerného európskeho auta.* Polovica batožinového priestoru BMW „Hydrogen 7“ zaberá 170 litrová vodíková nádrž s kapacitou 8 kg vodíku, umožňujúca dojazd 200 km [news.bbc.co.uk/1/hi/business/6154212.stm]. Kalorická hodnota vodíka je 39 kWh na kg a pri najlepšom dostupnom spôsobe výroby vodíka je to 63 kWh na kg (52 kWh zo zemného plynu a 11 kWh elektriny) (CUTE, 2006). Takže naplnenie 8 kg nádrže má energetické náklady 508 kWh; a ak táto nádrž naozaj dopraví auto na vzdialenosť 200 km, potom sú energetické náklady **254 kWh na 100 km**.

Hydrogen 7 a jeho príbuzní s palivovými článkami sú v mnohých ohľadoch jednoducho iba noblesnou zábavou.

David Talbot, MIT Technology Review

<http://www.technologyreview.com/Energy/18301/>

Vodíkové auto Honda, FCX Clarity, má hmotnosť 1625 kg, uskladní 4,1 kg vodíka pri tlaku 345 barov a mala by dosiahnuť vzdialenosť 280 míľ, teda 57 míľ (91 km) na jeden kg vodíku (91 km) pri kombinovanom šoférovaní v meste a mimo mesto [czjjo], [5a3ryx]. Ak použijeme hore uvedené náklady na výrobu vodíka s predpokladom, že hlavný zdroj pochádza zo zemného plynu, energetické náklady tohto auta sú **69 kWh na 100 km**.

Honda môže oklamať novinárov, aby si mysleli, že vodíkové autá majú „nulové emisie“, ale, nanešťastie, podnebie oklamať nemôže.

Merrick Godhaven

132 *Lítium iónovú batériu tvorí z 3 % lítium.* Zdroj: Fisher a kol. (2006).

- *Špecialista na lítium R. Keith Evans hovorí, že „obavy o dostupnosť lítia... sú nepodložené.“* – Evans (2008).

133 *Dve holandské lode známe ako „Ekonomické dvojčky.“* www.ssmaritime.com/rijndam-maasdam.htm.

QE2: www.qe2.org.uk.

134 *Magnetický vlak Transrapid.* <http://www.transrapid.de>.

21 Lepšie vykurovanie

V poslednej kapitole sme sa naučili, že elektrifikácia dokáže znížiť energetické náklady dopravy na jednu pätinu súčasnej úrovne, a že verejná doprava a bicyklovanie môžu byť približne 40-násobne energeticky účinnejšie ako jazda autom. Ako je to s vykurovaním? Aký druh energetických úspor môžu priniesť technológie alebo zmena v správaní?

Energiu potrebnú na vykurovanie budovy určuje aritmetická kombinácia troch veličín:

$$\text{energia} = \frac{\text{priemerný rozdiel teploty} \times \text{priepustnosť budovy}}{\text{účinnosť vykurovacieho systému}}$$

Dovoľte mi vysvetliť tento vzorec (ktorý sa detailne rozoberá v kapitole E) na príklade. Bývam v trojizbovom dvojdomo, postavenom v roku 1940 (obrázok 21.1). **Priemerný rozdiel teploty** medzi vnútrojškým a vonkajškom domu závisí od nastavenia termostatu a na počasí. Ak je termostat trvalo nastavený na 20 °C, priemerný rozdiel teploty by mohol byť 9 °C. **Priepustnosť budovy** opisuje, ako rýchlo sa teplo dostáva cez steny, okná, trhliny, v závislosti od rozdielu teploty. Priepustnosť sa niekedy nazýva koeficient straty tepla. Meria sa v kWh za deň na stupeň rozdielu teploty. V kapitole E som vypočítal, že priepustnosť môjho domu v roku 2006 bola 7,7 kWh/d/°C. Výsledok

$$\text{priemerný rozdiel teploty} \times \text{priepustnosť budovy}$$

je rýchlosť, akou teplo uniká z domu vedením a ventiláciou. Napríklad ak je priemerný rozdiel teploty 9°C, potom je strata tepla

$$9^{\circ}\text{C} \times 7,7 \text{ kWh/d/}^{\circ}\text{C} \approx 70 \text{ kWh/d.}$$

Nakoniec, pre výpočet požadovanej energie vydáme túto stratu tepla účinnosťou vykurovacieho systému. V mojom dome mám plynový kotol s účinnosťou 90 %, takže zistíme, že:

$$\text{energia} = \frac{9^{\circ}\text{C} \times 7,7 \text{ kWh/d/}^{\circ}\text{C}}{0,9} = 77 \text{ kWh/d.}$$

To je viac ako spotreba na vykurovanie, ktorú sme vypočítali v kapitole 7. Väčšia je pre dve hlavné príčiny: za prvé, vzorec predpokladá, že všetko teplo dodáva kotol, zatiaľ čo v skutočnosti sa teplo získava viacerými spôsobmi, od obyvateľov domu, spotrebičov, Slnka; za druhé, v kapitole 7 sme predpokladali, že dom bol vykurovaný na 20 °C iba v dvoch miestnostiach; mať pri tejto teplote celý dom vyžaduje tepla viac.

Dobre, ako môžeme znížiť výkon, spotrebovaný pri vykurovaní? Existujú tri zjavné spôsoby, ako to doceliť.



Obrázok 21.1. Môj dom.

1. Znížením **priemerného rozdielu teploty**. To môžeme dosiahnuť tak, že nastavíme termostat na nižšiu teplotu (alebo ak máte známych na vysokých postoch, tak zmenou počasia).
2. Znížením **priepustnosti budovy**. To je možné dosiahnuť zlepšením izolácie budov – napríklad trojité okná, zabezpečenie proti prievanu, a zaizolovanie podkrovia chlpatými dekami – alebo, a to je radikálnejšie riešenie, budovu zbúrať a vymeniť ju za budovu s lepšou izoláciou; alebo možno bývať v budove s menším priestorom na jedného obyvateľa. (Priepustnosť býva väčšia, ak je väčší pôdorys, pretože sa zároveň zvyšuje plocha vonkajších stien, okien a strechy).
3. Zvýšením **účinnosti vykurovacieho systému**. Mohli by ste si myslieť, že 90 % sa dá prekonať len ťažko, ale v skutočnosti to môže byť oveľa viac.

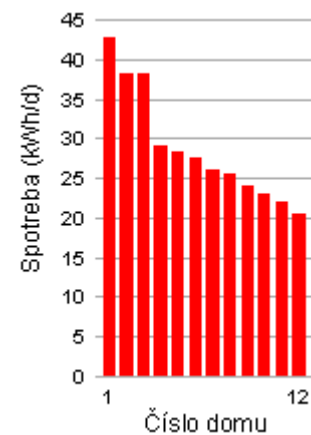
Termostat: „cool“ technológia

Keď príde na hodnotnú technológiu za málo peňazí, je veľmi ťažké poraziť termostat (za pomoci vlnených svetrov). Vypnete ho a vaša budova spotrebuje menej energie: Zázrak! Ak znížite v Británii termostat o jeden stupeň, strata tepla klesne o 10 %. Pri znížení termostatu z 20 °C na 15 °C sa znížia straty tepla takmer o polovicu. Vďaka občasným tepelným ziskom budú úspory elektriny na vykurovanie dokonca ešte väčšie, ako by sme dosiahli iba týmto samotným znížením teploty.

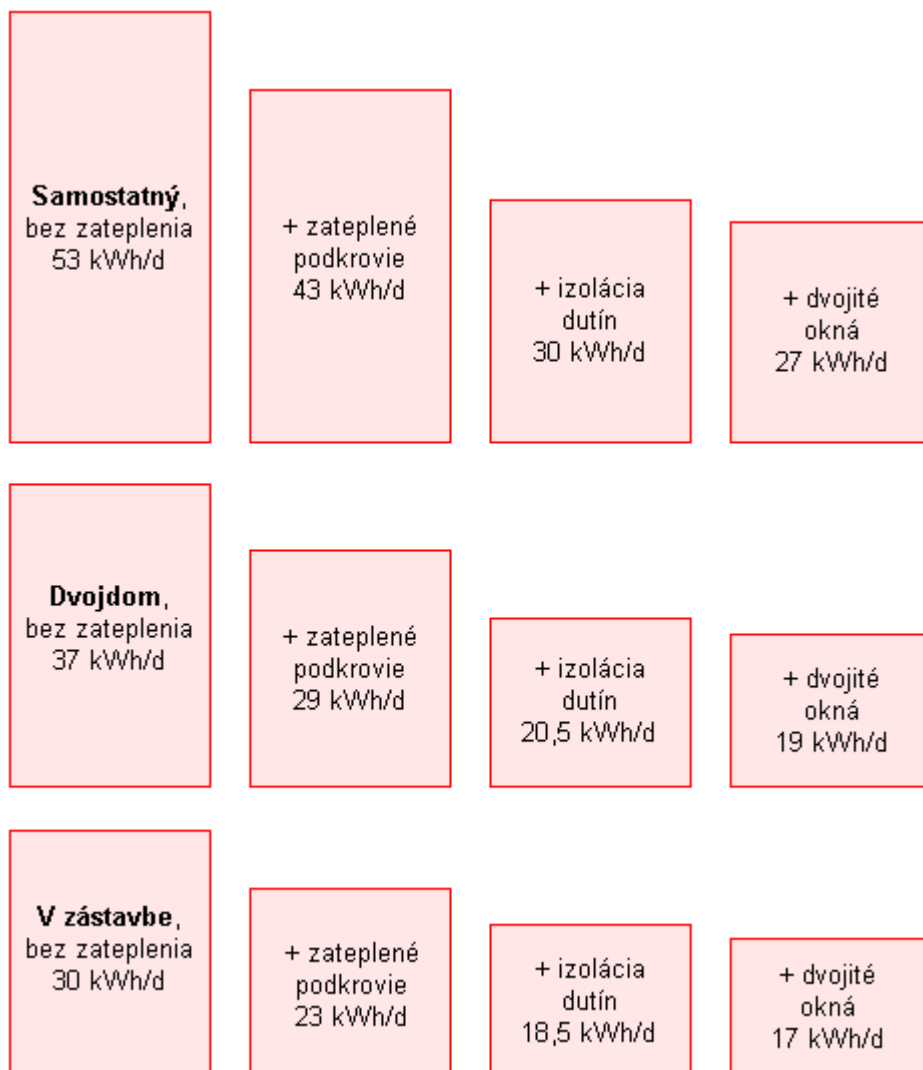
Nanešťastie má táto obdivuhodná technológia šetrenia svoje vedľajšie účinky. Pre niektorých ľudí je zníženie teploty termostatu zmenou v správaní, čím nie sú nadšení. Neskôr sa budem venovať tomu, ako obísť takúto zmenu v životnom štýle. Ako dôkaz toho, že „najdôležitejšou inteligentnou zložkou budovy s inteligentným vykurovaním je jeho obyvateľ“, si medzitým pozrite údaje na obrázku 21.2 ukazujúce štúdiu od spoločnosti Carbon Trust, ktorá porovnala spotrebu energie na vykurovanie v dvanástich rovnakých moderných domoch. Táto štúdia nám umožňuje pozrieť sa na rodinu pri čísle 1, u ktorej je dvojnásobná spotreba tepla v porovnaní s pani a pánom Zababušenými pri čísle 12. Ak je to šok, počkajte – nevypočítal som pred chvíľkou, že môj dom môže spotrebovať ešte viac? Naozaj, moja priemerná spotreba plynu od roku 1993 do roku 2003 bola niečo cez 43 kWh za deň (obrázok 7.10, strana 50), a to som si myslel, že patrí medzi tých skromnejších! Problém spočíva v dome. Všetky moderné domy v štúdiu Carbon Trust mali priepustnosť 2,7 kWh/d/°C, ale môj dom mal priepustnosť 7,7 kWh/d/°C! Ľudia, ktorí žijú v priepustných domoch...

Vojna s priepustnosťou

Čo je možné spraviť s priepustnými starými domami bez toho aby sme ich zbúrali? Obrázok 21.3 ukazuje výpočty tepla potrebného pre vykurovanie



Obrázok 21.2. Aktuálna spotreba tepla v 12 rovnakých domoch s rovnakým spôsobom vykurovania. Všetky domy mali rozlohu podlahy 86 m² a boli dizajnované na rovnakú priepustnosť 2,7 kWh/d/°C. Zdroj: Carbon Trust (2007).



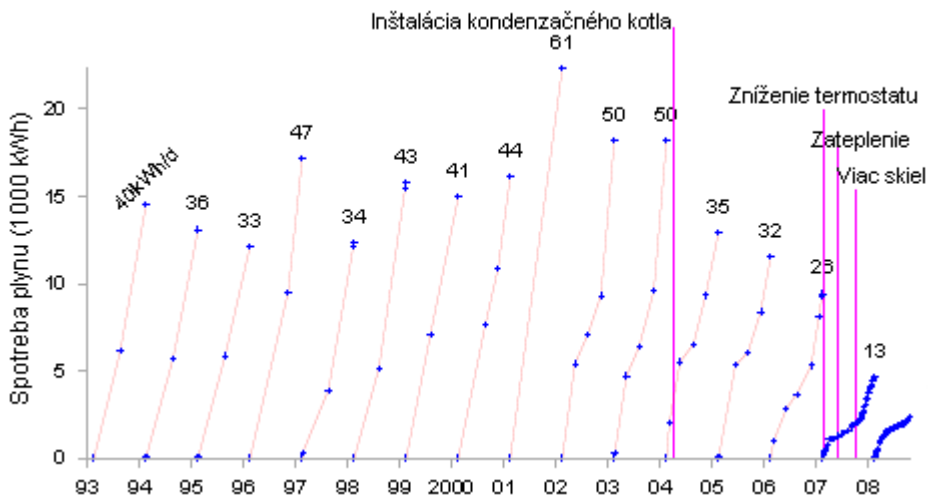
Obrázok 21.3. Energia potrebná na vykurovanie priestoru pre rozličné typy domov v Británii. Podľa Edena a Bendinga (1985).

v starých samostatných domoch, alebo dvojdomoch, alebo domoch v radovej zástavbe. Ak pridáme izoláciu podkrovia a trhlín v stenách, zníži to stratu tepla v priemere o 25 %. Vďaka príležitostným ziskom tepla sa toto zníženie o 25 % prejaví ako 40 % zníženie v spotrebe tepla.

Podme sa pozrieť, ako to môže fungovať v praxi.

Rozbor problému na príklade

Svoj dom som vám predstavil na strane 50. Pozrime sa na tento príbeh. V roku 2004 som nainštaloval kondenzačný kotol, ktorým som vymenil starý plynový kotol. (Kondenzačné kotly využívajú tepelný výmenník na prenos tepla z odpadových plynov na prichádzajúci vzduch.) Zároveň som odstránil nádrž na horúcu vodu (takže horúcu vodu mám len keď je potreba), a dal som termostaty na všetky radiátory v izbách. Spolu s novým kondenzačným kotlom prišla aj nová kontrolka, umožňujúca nastaviť počas dňa rôznu teplotu vody. S týmito zmenami poklesla moja spotreba z priemerných 50 kWh/d na približne 32 kWh/d.



Obrázok 21.4. Moja spotreba plynu, každý rok od roku 1993 do roku 2007. Každá čiara ukazuje kumulatívnu spotrebu počas roka v kWh. Číslo na konci každého roka je priemerná rýchlosť spotreby pre daný rok, v kWh za deň. Modré body znázorňujú merania. Je zrejmé, že čím častejšie meriam, tým nižšiu mám spotrebu!

Toto zníženie z 50 na 32 kWh/d je pomerne uspokojivé, ale nie je dostatočné, ak je cieľom znížiť stopu fosílnych palív pod jednu tonu CO₂ za rok. 32 kWh/d získaných z plynu zodpovedá viac ako 2 tonám CO₂ za rok.

V roku 2007 som začal dávať väčší pozor na svoju spotrebu energie. Nechal som si zaizolovať dutiny v stenách (obrázok 21.5) a zlepšil som tiež izoláciu podkrovia. Nahradil som zadné vchodové dvere s jedným sklom za dvere s dvojitým sklom a pridal som ďalšie dvere s dvojitým sklom na prednú terasu (obrázok 21.6). Ale najdôležitejšie zo všetkého bolo, že som začal dávať väčší pozor na nastavenie mojich termostátov. Táto pozornosť spôsobila, že som svoju spotrebu plynu znížil ešte o polovicu. Posledná ročná spotreba bola iba 13 kWh/d!

Pretože táto prípadová štúdia je chaotická zmes úprav budovy a zmien správania, je ťažké určiť, ktoré zmeny boli najdôležitejšie. Podľa mojich výpočtov (v kapitole E) znížili zlepšenia izolácie priepustnosť o 25 %, zo 7,7 kWh/d/°C na 5,8 kWh/d/°C. To je stále ešte horšie, ako ktorýkoľvek moderný dom. Je frustrujúco ťažké znižovať priepustnosť v už postavanom dome!

Takže môj hlavný tip je inteligentné riadenie termostátu. K akým hodnotám by sme sa mali priblížiť pri nastavení termostátu? Dnes sa zdá, že mnoho ľudí považuje 17 °C za príliš málo. Hoci skutočnosť je taká, že priemerná teplota v zime v britských domoch v roku 1970 bola 13 °C! To, ako človek vníma svoju teplotu, závisí od toho, čo práve robí a čo robil poslednú hodinu. Moje odporúčenie znie: *nerozmýšľajte o tom, ako nastaviť termostat*. Lepšie ako nastaviť termostat na jednu teplotu je lepšie nastaviť ho na veľmi nízku teplotu po väčšinu času (povedzme 13 alebo 15 °C), a zvýšte ho dočasne, ak sa vám zdá, že vám je zima. Je to ako so svetlami v knižnici. Ak sa sami seba opýtate „aká je správna hladina svetla v policiach na knihy?“, potom nepochybné odpoviete „dostatočné svetlo na



Obrázok 21.5. Upchávanie dier v stenách.



Obrázok 21.6. Nové vchodové dvere.

to, aby sa dali čítať nadpisy kníh,“ a budete mať celý čas zapnuté jasné svetlá. Ale tá otázka predpokladá, že musíme určiť presnú hladinu svetla; a to nemusíme. Môžeme prispôbiť zapínanie svetiel tak, aby ich mohol ovládať čitateľ, a nastaviť automatické vypínanie po určitom čase. Podobne ani termostaty nemusia byť celý čas zapnuté na 20 °C.

Než opustíme tému nastavovania termostátov, mal by som spomenúť klimatizáciu. Nerozčuľuje vás, ak uprostred leta vkročíte do budovy, kde je nastavených 18 °C? Títo blázniví údržbári budov vystavujú všetkých teplotu, ktorá by sa im v zime zdala príliš nízka! V Japonsku odporúča vládna smernica „Cool-Biz“, aby bola klimatizácia nastavená na 28 °C (82 F).

Lepšie budovy

Ak dostanete šancu postaviť novú budovu, potom existuje veľa spôsobov, ako zabezpečiť nižšiu spotrebu tepla, než ako je to v prípade starých budov. Obrázok 21.2 dokazuje, že novšie budovy majú oveľa vyššie štandardy izolácie, ako tie zo 40-tych rokov. Napriek tomu by tieto štandardy mohli byť ešte vyššie ako ukazuje kapitola E. Tri kľúčové myšlienky pre dosiahnutie najlepších výsledkov sú: (1) zabezpečte si veľmi dobrú izoláciu podlahy, stien, a strechy; (2) zabezpečte, aby bola budova kompletne utesnená s aktívnym vetraním, ktoré zabezpečí čerstvý vzduch a odstráni vydýchaný a vlhký vzduch. Pasívne tepelné výmenníky zabezpečia, že väčšina tepla z vyvetraného vzduchu vám zostane k dispozícii; (3) snažte sa využiť maximálne množstvo slnečného žiarenia.

Energetické náklady tepla

Doteraz sa táto kapitola zameriavala na **kontrolovanie teploty** a **priepustnosť**. Teraz obrátíme pozornosť na tretí faktor v rovnici:

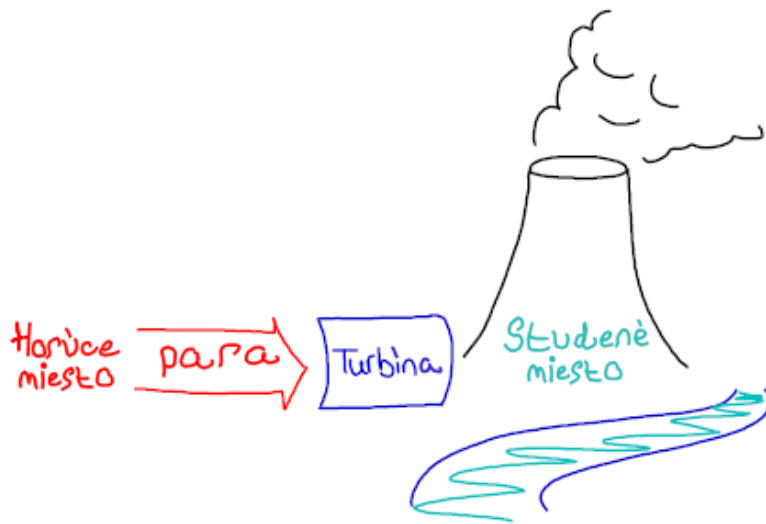
$$\text{energia} = \frac{\text{priemerný rozdiel teploty} \times \text{priepustnosť budovy}}{\text{účinnosť vykurovacieho systému}}$$

S akou účinnosťou je možné vyrábať teplo? Môžeme získať teplo lacno? Dnes zabezpečuje vykurovanie budov v Británii spaľovanie fosílnych palív a zemného plynu v kotloch s účinnosťou v rozsahu 78-90 %. Môžeme sa zbaviť fosílnych palív, a zároveň dosiahnuť účinnejšie vykurovanie?

Jedna technológia, ktorá by mohla ponúknuť odpoveď na problém vykurovania, sa nazýva “kombinovaná výroba tepla a elektriny“ (CHP), alebo jej príbuzná, “mikro-CHP.“ Vysvetlím princíp kombinovanej výroby tepla a elektriny, ale dospel som k záveru, že je to nevhodné riešenie, pretože existuje aj lepšia technológia pre vykurovanie, nazývaná tepelné čerpadlá, ktoré opíšem o pár strán ďalej.



Obrázok 21.7. Eggborough. Nepatrí medzi elektrárne, ktoré sa podieľajú na inteligentnom vykurovaní.



Obrázok 21.8. Ako funguje elektrárň. Musí byť prítomné chladné miesto, kde sa zráža para, aby sa zabezpečil chod turbíny. Chladným miestom býva zvyčajne chladiaca veža alebo rieka.

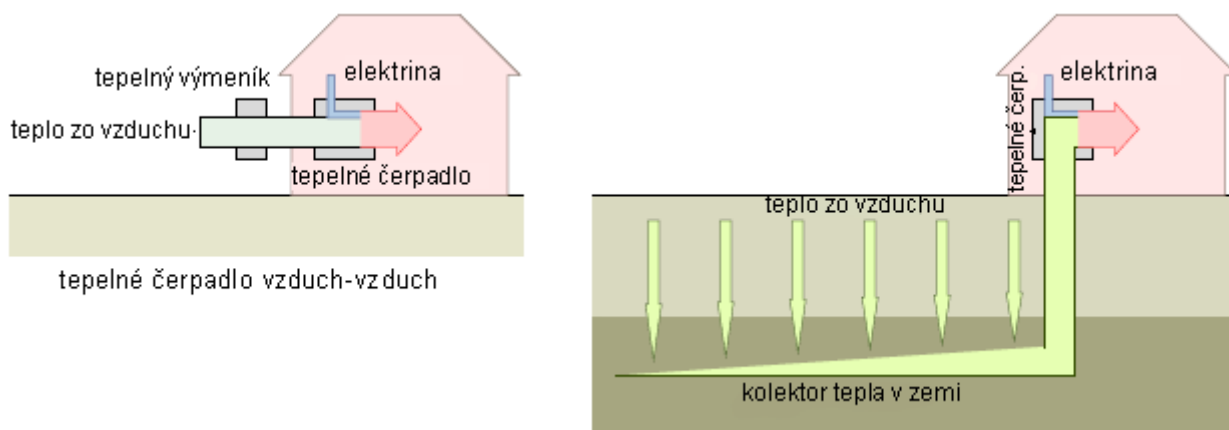
Kombinovaná výroba tepla a elektriny (kogenerácia)

Štandardná predstava o klasických veľkých centralizovaných elektrárňach je, že sú príšerne neúčinné, hala-bala mrhajú teplom, ktoré uniká von komínom a chladiacimi vežami. Tí uvedomejší ale rozoznávajú, že premena tepla na elektrinu si nevyhnutne vyžaduje presun tepla na chladné miesto (obrázok 21.8). To je princíp fungovania tepelných strojov. *Musí* byť prítomné aj chladné miesto. Ale potom sa niekto môže spýtať: nemohli by sme využívať *budovy* ako spôsob chladenia tohto „odpadu“, namiesto chladiacich veží, alebo morskej vody? Táto myšlienka sa nazýva „kombinovaná výroba tepla a elektriny“ (CHP) alebo kogenerácia a vo veľkom sa využíva v kontinentálnej Európe už desaťročia – v mnohých mestách sú veľké elektrárne integrované do miestneho systému vykurovania. Zástancovia moderného vyhotovenia kogenerácie, teda „mikro-CHP“ sa domnievajú, že malé elektrárne by mohli vznikáť v rámci niekoľkých budov, alebo malých štvrtí a zásobovali by tieto budovy teplom a elektrinou, pričom časť energie by dodávali do siete.



Obrázok 21.19. Kogenerácia. Lokálne vyhrievanie absorbuje teplo, ktoré by inak skončilo v chladiacej veži.

Určite je niečo pravdy na tom, že Británia je svojim spôsobom pozadu, čo sa týka lokálneho vykurovania a kogenerácie, ale diskusia na túto tému brzdí všeobecná neznalosť čísel a dve špecifické chyby. Po prvé, ak porovnávame rôzne spôsoby používania paliva, používa sa nesprávny ukazovateľ „účinnosti“, konkrétne ten, ktorý považuje tepelnú energiu za rovnakú ako



Obrázok 21.10. Tepelné čerpadlá.

elektrickú energiu. Pravda je taká, že elektrina je cennejšia ako teplo. Po druhé, všeobecne sa predpokladá, že “odpadové” teplo by sa dalo užitočne zachytiť v klasickej elektrárni *bez použitia elektrickej energie vyrobenej v elektrárni*. Toto bohužiaľ nie je pravda, ako nám ukázu čísla. Dodávanie užitočného tepla pre zákazníka vždy znižuje do určitej miery množstvo vyrobenej elektriny. Skutočné celkové zisky kogenerácie sú často ďaleko menšie, ako by vychvaľovanie tejto technológie naznačovalo.

Poslednou prekážkou v racionálnej debata o kogenerácii je pomerne nový mýtus, že decentralizácia technológie ju akýmsi spôsobom robí zelenšou. Takže zatiaľ čo veľké centralizované fosílné elektrárne sú “zlé”, fľačky lokálnych mikro-elektrární sú naplnené božskou dobrotou. Ak je v skutočnosti myšlienka decentralizácie dobrá, potom by sa to “malé je krásne” malo prejaviť aj v číslach. Decentralizácia by mala byť schopná stáť na vlastných nohách. Ale skutočné čísla ukazujú, že centralizovaná energia má mnoho výhod, ako ekonomických, tak aj energetických. Iba v prípade veľkých budov sa oplatí lokálna výroba, pričom tento prospech predstavuje približne 10 % alebo 20 %.

Cieľom vlády je zabezpečenie rastu kogenerácie na 10 GW elektrickej kapacity do roku 2010, ale domnievam sa, že takýto rast poháňaný výrobou z plynu, je chybný. Takáto výroba energie nie je zelená: spotrebúva fosílné palivo a predurčuje nás k jeho pokračujúcemu používaniu. Ak vieme, že tepelné čerpadlá sú lepšie, domnievam sa, že by sme mali preskočiť cez kombinovanú výrobu tepla a elektriny pomocou plynu a okamžite začať využívať tepelné čerpadlá.

Tepelné čerpadlá

Tak ako miestna výroba tepla a kogenerácia, aj tepelné čerpadlá sa v kontinentálnej Európe využívajú hojne, ale zriedkavo v Británii. Tepelné čerpadlá sú vlastne obrátené chladničky. Skúste chytiť zadnú stranu vašej chladničky: je *teplá*! Chladnička presúva teplo z jedného miesta (z vnútra)

na druhé (na zadnú stranu). Takže jeden spôsob vyhrievania budovy je otočiť chladničku naruby – dať jej *vnútrajšok* do záhrady, čím sa ochladí, a nechať jej zadnú časť vo vašej kuchyni, čím sa dom ohreje. Čo nie je zrejme na tejto bláznivej myšlienke je to, že ide o veľmi účinný spôsob vyhrievania domu. Na každý kilowatt výkonu, ktorý sa odoberie z elektrickej siete, obrátená chladnička dokáže prečerpať tri kilowatty tepla zo záhrady, takže do domu sa celkovo dostanú 4 kilowatty. Takže tepelné čerpadlá sú asi štvornásobne účinnejšie ako klasické elektrické rošty. Zatiaľ čo účinnosť elektrického roštu je 100 %, v prípade tepelného čerpadla je to 400 %. Účinnosť tepelného čerpadla sa zvyčajne nazýva *vykurovací faktor* alebo CoP. Ak je účinnosť 400 %, faktor má hodnotu 4.

Tepelné čerpadlá je možné nastaviť rôznymi spôsobmi (obrázok 21.10). Čerpadlo môže chlaďiť vzduch vo vašej záhrade s použitím tepelného výmenníku (obvykle 1 meter vysoká biela debna, obrázok 21.11), a vtedy hovoríme o vzdušnom tepelnom čerpadle [pozn. prekl. – typ vzduch-voda resp. vzduch-vzduch]. Alebo môže čerpadlo ochladzovať *zem* za použitia veľkých podzemných oblúkov potrubia (dlhých niekoľko desiatok metrov), a v tomto prípade hovoríme o zemnom tepelnom čerpadle [pozn. prekl. – typ zem-voda]. Teplo je možné čerpať aj z riek alebo jazier.

Niektoré čerpadlá dokážu čerpať teplo v oboch smeroch. Ak vzdušné tepelné čerpadlo beží opačne, spotrebúva elektrinu na zohriatie vonkajšieho vzduchu a ochladenie vzduchu *vnútri* budovy. Vtedy hovoríme o klimatizácii. Mnohé klimatizácie sú naozaj tepelné čerpadlá, ktoré pracujú presne týmto spôsobom. Zemné tepelné čerpadlá tiež dokážu fungovať ako klimatizácia. Takže ten istý kus zariadenia možno použiť na vykurovanie v zime aj na chladenie v lete.

Niekedy ľudia hovoria, že zemné čerpadlá využívajú “geotermálnu energiu,” ale nie je to správny názov. Ako sme videli v kapitole 16, geotermálna energia ponúka iba málo energie na jednotku plochy (približne 50 mW/m²) vo väčšine oblastí sveta; tepelné čerpadlá s týmto teplom nemajú nič spoločné a je možné používať ich na chladenie aj na ohrievanie. Tepelné čerpadlá jednoducho využívajú zem ako miesto, z ktorého je možné teplo získať alebo ho tam odovzdať. Ak toto teplo pravidelne odčerpávajú, toto odobrané teplo dodáva Slnko.

Ešte nám zostávajú v tejto kapitole dve veci. Potrebujeme porovnať tepelné čerpadlá s kogeneráciou. Potom potrebujeme prediskutovať, aké sú limity zemných tepelných čerpadiel.

Tepelné čerpadlá v porovnaní s kogeneráciou

Až doteraz som si myslel, že kogenerácia je jasná záležitosť. “Je zrejme, že by sme mali využívať odpadové teplo z elektrární na vyhrievanie budov namiesto vháňania do chladiacich veží!” Avšak keď sa pozrieme pozorne na čísla, ktoré opisujú výkonnosť skutočných CHP systémov, dospel som k záveru, že existujú lepšie spôsoby poskytovania tepla a elektriny pre budovy.

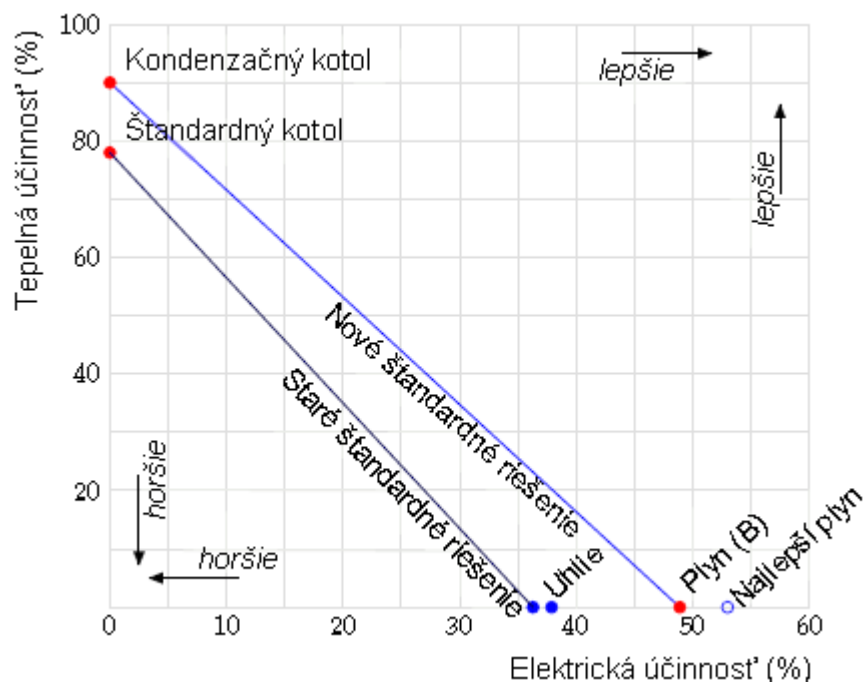


Obrázok 21.11. Vnútorne a vonkajšie časti čerpadla vzduch-vzduch s vykurovacím faktorom 4. Na vnútornej časti je zavesené guľčkové pero, pre porovnanie veľkosti. Jedna z týchto jednotiek firmy Fujitsu dokáže zabezpečiť 3,6 kW tepla, pri spotrebe iba 0,845 kW elektriny. Môže fungovať aj opačne, zabezpečujúc 2,6 kW chladu, pri spotrebe 0,655 kW elektriny.

Vytvorím diagram v troch krokoch. Ten ukáže, koľko elektrickej alebo tepelnej energie možno získať z chemickej energie. Horizontálna os ukazuje elektrickú účinnosť a vertikálna os ukazuje tepelnú účinnosť.

Štandardné riešenie bez CHP

V prvom kroku si ukážeme jednoduché elektrárne a tepelné systémy, ktoré dokážu zabezpečiť čistú elektrinu alebo teplo.

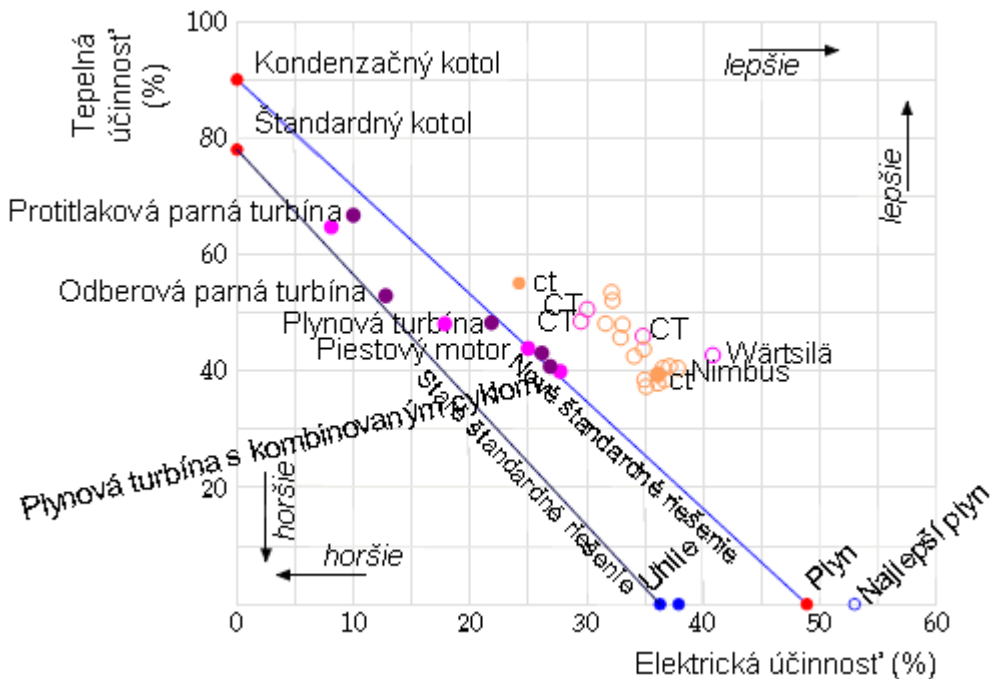


Kondenzačné kotle (krúžok A, vľavo hore) majú účinnosť 90 %, pretože 10 % tepla uniká hore komínom. Dnešné britské plynové elektrárne (krúžok B, vpravo dole) majú účinnosť 49 % pri premene chemickej energie plynu na elektrinu. Ak chcete skombinovať elektrinu a teplo zo zemného plynu, môžete ich získať spaľovaním vhodného množstva plynu v elektrárni a v kotli. Takže nové štandardné riešenie dokáže zabezpečiť rozsah elektrickej a tepelnej účinnosti na čiare A-B výrobou elektriny a tepla s použitím dvoch samostatných zariadení.

Aby sme videli porovnanie s históriou, diagram tiež ukazuje staré štandardné riešenia výroby tepla (klasický nekondenzačný kotol, s účinnosťou 79 %) a štandardné spôsoby výroby elektriny pred niekoľkými desaťročiami (uhoľná elektráreň s elektrickou účinnosťou približne 37 %).

Kombinovaná výroba tepla a elektriny

V ďalšom kroku pridáme do diagramu systém kombinovanej výroby tepla a elektriny. Ten vyrába z chemickej energie zároveň elektrinu aj teplo.



Každý z plných krúžkov ukazuje súčasné priemerné výkonnosti systémov CHP v Británii, zoskupených podľa typu. Prázdne krúžky označené ako „CT“ ukazujú výkonnosti CHP v ideálnych podmienkach podľa Carbon Trust; prázdne krúžky označené ako „Nimbus“ označujú parametre podľa výrobcov. Krúžky označené ako „ct“ sú výkonnosti podľa Carbon Trust pre dva skutočné systémy (v nemocnici Freeman and Dome Elisabeth).

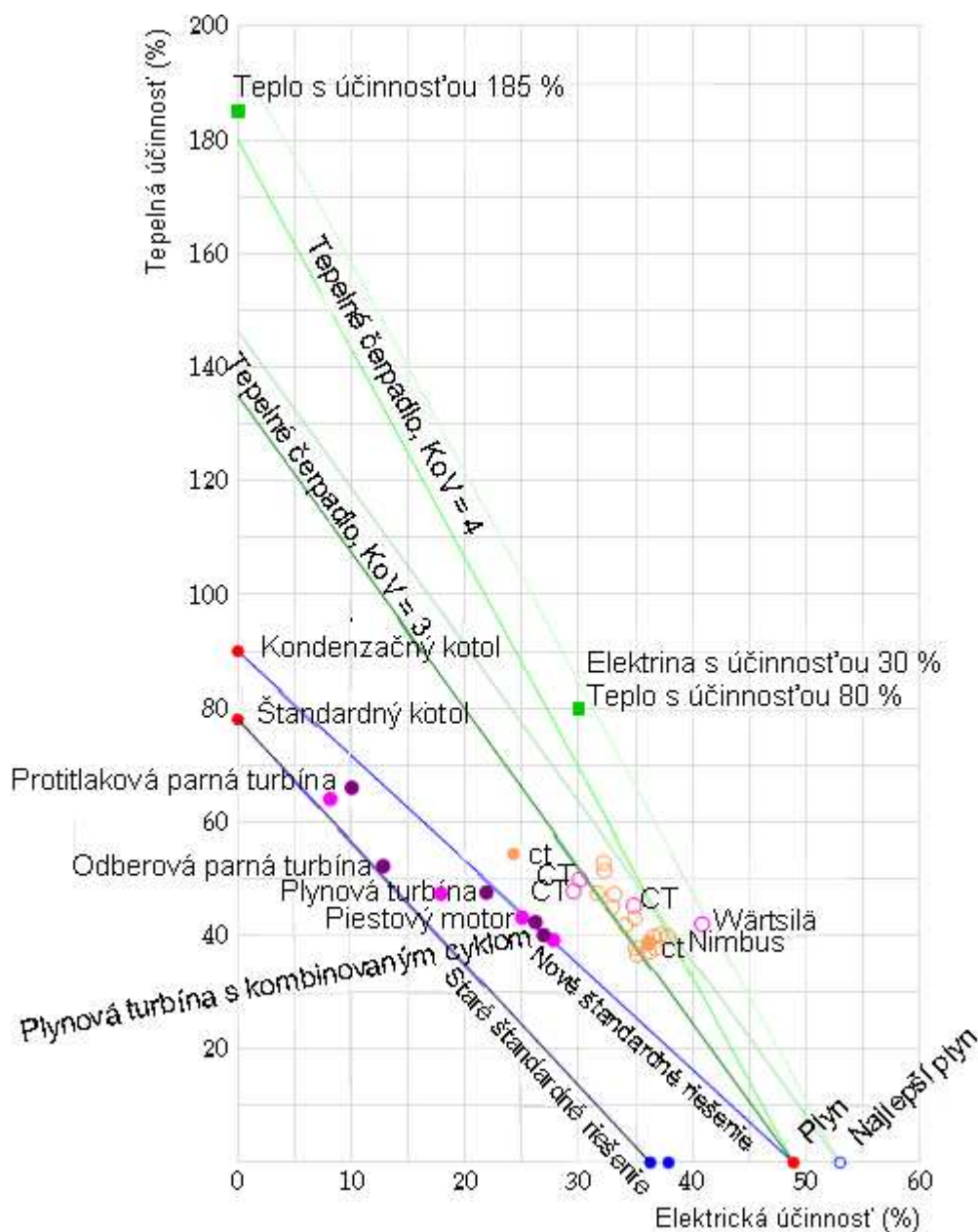
Hlavná vec, ktorú si možno všimnúť na diagrame je, že elektrické účinnosti systémov CHP sú významne nižšie ako účinnosť 49 %, ktorú zabezpečuje nekombinovaný systém – plynové elektrárne. Takže teplo nie je iba vedľajší „voľný produkt.“ Zvyšovanie výroby tepla znižuje výrobu elektriny.

Medzi časté praktiky patrí spojenie dvoch čísel dokopy (účinnosť výroby elektriny a tepla) do jednej „celkovej účinnosti“; napríklad protitlakové parné turbíny vyrábajúce 10 % elektriny a 66 % tepla by mali „účinnosť 76 %,“ ale myslím, že ide o zavádzajúce hodnotenie. Podľa takéhoto hodnotenia by bol nakoniec kondenzačný kotol s 90 % účinnosťou „účinnnejší“ ako všetky CHP systémy! V skutočnosti je ale elektrická energia cennejšia ako teplo.

Veľa z CHP bodov na obrázku vychádza výborne v porovnaní so „staršími štandardmi“ (výroba elektriny z uhlia a tepla zo štandardných kotlov). Musíme však mať na pamäti, že táto mierna výnimočnosť má určité nedostatky – CHP systémy dokážu zabezpečiť teplo iba na miesta, ktoré sú prepojené, zatiaľ čo kotly je možné inštalovať kdekoľvek s prístupom k plynu; v porovnaní so staršími štandardmi systémy CHP nie sú tak flexibilné v zmesi elektriny a tepla, ktoré vyrábajú; systém CHP bude najlepšie pracovať, iba ak zabezpečuje určitý mix; toto obmedzenie

flexibility vedie k neúčinnosti napríklad v čase, keď sa vyrába nadbytok tepla; v typickom dome prichádza väčšina spotreby elektriny v relatívne krátkych periódach, bez nejakého vzťahu k spotrebe tepla. Posledný problém s mikro-CHP systémami je, že ak majú k dispozícii nadbytok elektriny, môžu mať nižšiu účinnosť pri prenose výkonu do siete.

Nakoniec pridáme do diagramu tepelné čerpadlá, ktoré využívajú elektrinu zo siete na čerpanie okolitého tepla do budov.



Strmé zelené čiary ukazujú kombinácie elektriny a tepla, ktorú je možné získať za predpokladu, že tepelné čerpadlá majú vykurovací faktor 3 alebo 4, a že dodatočná elektrina pre čerpadlá sa vyrába v priemernej, lebo v tej najlepšej plynovej elektrárni, pričom umožníme 8 % straty v sieti pri prenose medzi elektrárnou a budovou, kde čerpadlá teplo čerpajú.

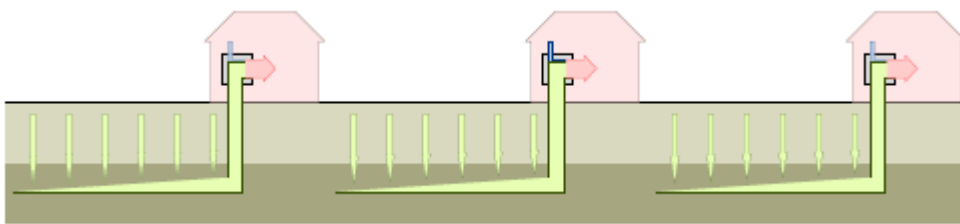
Účinnosť tých najlepších plynových elektrární je 53 %, ak predpokladáme, že fungujú optimálne. (Domnievam sa, že Carbon Trust a Nimbus vychádzali z podobných predpokladov, keď udávali čísla v diagramoch pre systémy CHP.) V budúcnosti budú čerpadlá pravdepodobne ešte výkonnejšie, než ako predpokladám tu. V Japonsku, vďaka dobrej legislatíve podporujúcej zvyšovanie účinnosti, sú dnes dostupné čerpadlá s vykurovacím faktorom 4,9.

Všimnite si, že tepelné čerpadlá poskytujú systém, ktorý môže byť „účinný na viac ako 100 %“. Napríklad najlepšia plynová elektrárňa, dodávajúca čerpadlu elektrinu môže zabezpečiť kombináciu 30 % účinnej elektriny a 80 % účinného tepla s „celkovou účinnosťou“ 110 %. Žiadny z CHP systémov by takúto účinnosť nedosiahol.

Dovoľte mi to objasniť. Tepelné čerpadlá majú úžasnú účinnosť v porovnaní s kondenzačnými kotlami, aj v prípade, ak čerpadlá poháňa elektrina vyrobená spaľovaním zemného plynu. Ak chcete vykurovať veľa budov zemným plynom, môžete inštalovať kondenzačné kotly s „účinnosťou 90 %“, alebo by ste mohli poslať ten istý plyn do novej elektrárne a vybaviť všetky budovy tepelnými čerpadlami, ktoré by poháňala elektrina z plynu; účinnosť druhého riešenia by sa pohybovala niekde v rozsahu 140 % až 185 %. Nie je nutné kopať v záhrade veľké diery a inštalovať podlahové kúrenie, aby ste využili výhody čerpadiel; najlepšie vzdušné čerpadlá (ktoré potrebujú iba malú vonkajšiu debnu, podobne ako klimatizácia) zabezpečia horúcu vodu pre normálne radiátory s koeficientom výkonnosti nad 3. Vzdušné čerpadlá na obrázku 21.11 (strana 137) dodávajú teplý vzduch priamo do kancelárie.

Môj záver preto znie, že kombinovaná výroba tepla a elektriny, hoci to vyzerá ako dobrý nápad, pravdepodobne nie je ten najlepší spôsob, ako vykurovať budovy a vyrábať elektrinu zo zemného plynu za predpokladu, že môžeme vybaviť budovy tepelnými čerpadlami. Riešenia za pomoci čerpadiel majú ďalšie výhody, ktoré je treba vyzdvihnúť: čerpadlá je možné umiestniť všade tam, kde je prívod elektriny; fungujú na akýkoľvek elektrický pohon, takže fungujú aj v prípade, že sa plyn minie, alebo jeho cena prudko vzrastie; čerpadlá sú flexibilné: môžeme ich vypnúť a zapnúť podľa potrieb obyvateľov domu.

Zdôrazňujem, že toto kritické porovnanie neznamena, že CHP systém je vždy horšia voľba. Tu som porovnával spôsoby na vykurovanie obyčajných budov, ktoré potrebujú iba menej kvalitné teplo. CHP je možné využiť pre vysoko kvalitné teplo pre priemyselných odberateľov (napríklad pri 200 °C). V takýchto podmienkach tepelné čerpadlá pravdepodobne neobídu lepšie, pretože ich vykurovací faktor by bol nižší.



Obrázok 21.12. Ako natesno môžeme naskladať vzdušné tepelné čerpadlá?

Limity rastu (tepelných čerpadiel)

Pretože je teplota pár metrov pod zemou niekde blízko 11 °C, či už v lete, alebo v zime, zem predstavuje teoreticky lepšie miesto pre odčerpávanie tepla ako vzduch, ktorý môže mať cez zimu o 10 alebo 15 °C menej ako zem. Takže špecialisti na tepelné čerpadlá odporúčajú zvoliť si radšej čerpadlá typu zem-vzduch ako čerpadlá typu vzduch-vzduch. (Čerpadlá fungujú menej účinne pri väčšom teplotnom rozdieli).

Na druhej strane zem nepredstavuje neobmedzený zdroj tepla. Teplo sem musí odniekiaľ prísť a zem nie je veľmi dobrý tepelný vodič. Ak odoberáme teplo príliš rýchlo, zem sa ochladí na teplotu ľadu a výhody zemných čerpadiel sa stratia.

V Británii by bol hlavný účel tepelných čerpadiel získať teplo pre budovy počas zimy. Jediný zdroj tohto tepla je Slnko, ktoré teplo v zemi obnovuje jednak priamym žiarením, ale aj vedením vzduchom. Rýchlosť, akou čerpáme toto teplo musí vyhovovať dvom obmedzeniam: teplota zeme nesmie cez zimu klesnúť príliš nízko, a odčerpané teplo v zime sa musí počas leta nahradiť. Ak existuje akékoľvek riziko, že *prírodné* obnovovanie tepla v lete nenahradí odber v zime, potom je nutné túto náhradu uskutočniť *aktívne* – napríklad otočením systému v lete, čím sa teplo do zeme vráti (a zároveň by sme mali klimatizáciu).

Pozrime sa na čísla. Aký veľký kus zeme potrebuje zemné čerpadlo? Predpokladajme, že máme spoločenstvo s pomerne vysokou hustotou populácie – povedzme 6200 ľudí na km² (160 m² na osobu), teda hustotu typického predmestia v Británii. Môže *každý* používať čerpadlá, bez aktívneho obnovovania tepla v lete? Výpočet v kapitole E (strana 303) dáva predbežnú odpoveď nie: ak by sme chceli, aby mohol každý získať 48 kWh/d na osobu (môj odhad typickej spotreby v zime), zem by sme zmrazili. Aby sme sa tomu vyhli, rýchlosť odčerpávania nesmie prekročiť 12 kWh/d na osobu. Takže ak chceme používať čerpadlá, musíme v pláne zahrnúť aj obnovu tepla počas leta. To by bolo možné zabezpečiť prostredníctvom letnej klimatizácie, alebo tepla zo slnečných kolektorov na ohrev vody. (Letné slnečné teplo zostane uskladnené v zemi na neskoršie použitie v zime pomocou technológie spoločnosti Drake Landing Solar Community v Kanade [www.dlsc.ca].) Prípadne môžeme uvažovať aj o použití zemných čerpadiel, a tak dokážeme získať všetko teplo, ktoré potrebujeme – pokiaľ budeme mať elektrinu na jeho čerpanie. Vo Veľkej Británii neklesajú teploty príliš pod bod mrazu, takže obavy o slabú

plocha na osobu	(m ²)
Bangalore	37
Manhattan	39
Paríž	40
Chelsea	66
Tokio	72
Moskva	97
Taipei	104
Hag	152
San Francisco	156
Singapúr	156
Cambridge MA	164
Sydney	174
Portsmouth	213

Obrázok 21.13. Niekoľko vybraných mestských plôch na osobu.

výkonnosť čerpadiel, ktoré sú oprávnené v Severnej Amerike alebo Škandinávii, sa našej krajiny netýkajú.

Môj záver: môžeme znížiť energiu spotrebovanú na vykurovanie? Áno. Môžeme sa zároveň zbaviť fosílnych palív? Áno. Okrem izolácie budov a manipulovania s termostatom – teda tých najjednoduchších možností – by mali sme nahradiť všetky naše ohrievače na fosílnu palivá čerpadlami na elektrický pohon; môžeme tak znížiť množstvo spotrebovanej energie na 25 % oproti dnešku. Samozrejme, takýto elektrifikačný plán by vyžadoval viac elektriny. Ale aj v prípade, že by táto elektrina pochádzala z elektrární na plyn, stále by to bol oveľa lepší spôsob vykurovania ako máme dnes. Tepelné čerpadlá sú istotou budúcnosti, pretože umožňujú vykurovať budovy účinne, za použitia elektriny z akéhokoľvek zdroja.

Odporcovia povedia, že vykurovací faktor čerpadiel typu vzduch-vzduch je nízky – iba 2 alebo 3. Ale ich informácia už neplatí. Ak si dáme pozor a kúpime tie najlepšie tepelné čerpadlá, dosiahneme oveľa lepší výsledok. Legislatíva japonskej vlády, prijatá pred desiatimi rokmi, prispela ku zvýšeniu účinnosti klimatizácií; vďaka tomu existujú dnes čerpadlá typu vzduch-vzduch s vykurovacím faktorom až 4,9; tie dokážu vyrobiť horúcu vodu, aj horúci vzduch.

Iná námietka týkajúca sa čerpadiel znie “och, nemôžeme súhlasiť, aby si ľudia obstarali účinné čerpadlá, pretože ich môžu používať v lete ako klimatizáciu.“ Ale no tak – nenávidím bezdôvodné používanie klimatizácie ako ktokoľvek iný, ale tieto čerpadlá sú 4-násobne účinnejšie ako akýkoľvek iný spôsob vykurovania! Ukážte mi lepší spôsob. Drevná štiepka? Iste, zopár drevných požieračov drevo spaľovať môže. Ale nemáme dostatok dreva, aby tak mohol robiť každý. Pre obyvateľov lesa drevo je, pre ostatných tu sú tepelné čerpadlá.



Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

142 *Ak pridáme izoláciu podkrovia a puklín v stenách, zníži to stratu tepla v priemere o 25 %.* (Eden a Bending, 1985).

143 *...priemerná teplota v zime v britských domoch v roku 1970 bola 13°C!* Zdroj: Ministerstvo obchodu a priemyslu (2002a, časť 3.11).

145 *Británia je svojim spôsobom pozadu, čo sa týka lokálnej kogenerácie.* Odpadové teplo britských elektrární by pokrylo celú spotrebu krajiny (Wood, 1985). V Dánsku v roku 1985 dodávali systémy lokálneho vykurovania 42 % celkového vykurovania, pri prenose tepla na 20 a viac km, vo forme horúcej vody pod tlakom. V západnom Nemecku v roku 1985 získalo až 4 milióny príbytkov 7 kW z lokálneho vykurovania. Dve tretiny tepla zabezpečovali elektrárne. V meste Vasteras vo Švédsku v roku 1985 zabezpečovali až 98 % tepla elektrárne.

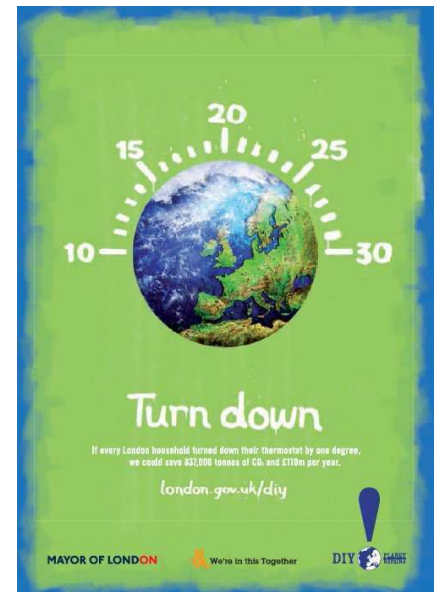
147 *Takže tepelné čerpadlá sú asi 4-násobne účinnejšie ako klasické elektrické rošty.* Pozri www.gshp.org.uk.

Niektoré tepelné čerpadlá dostupné v Británii už majú vykurovací faktor viac ako 4,0 [yok2nw]. Dokonca existujú vládne dotácie na tepelné čerpadlá typu voda-voda, alebo voda-vzduch ktoré majú vyšší vykurovací faktor ako 4,4 [2dtx8z].

Komerčné tepelné čerpadlá typu zem-vzduch pre vykurovanie sú dostupné s faktorom 5,4 a 4,9 [2fd8ar].

153 Čerpadlá typu vzduch-vzduch s vykurovacím faktorom 4,9; Podľa HPTCJ (2007), sú tepelné čerpadlá s vykurovacím faktorom 6,6 v Japonsku dostupné od roku 2006. Ich účinnosť sa zvýšila za desať rokov z 3 na 6 vďaka podpore vlády. HPTCJ (2007) opisuje tepelné čerpadlo vzduch-voda na ohrev vody nazývané Eco Cute s vykurovacím faktorom 4,9. Čerpadlo Eco Cute prišlo na trh v roku 2001. www.ecosystem-japan.com.

Ďalšie čítanie o tepelných čerpadlách: Európska sieť tepelných čerpadiel ehpn.fiz-karlsruhe.de/en/,
www.kensaengineering.com,
www.heatking.co.uk,
www.iceenergy.co.uk.



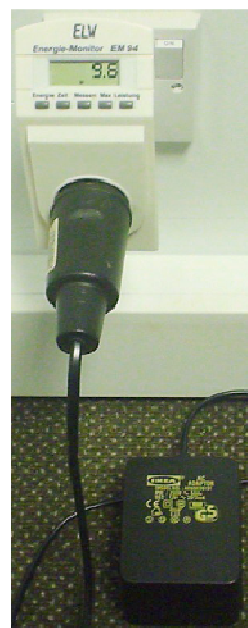
Obrázok 21.14. Kampaň starostu Londýna „DIY planet repairs“ v roku 2007. Z textu možno prečítať „**Stlmte**. Keby každá domácnosť v Londýne stlmila svoj termostat o jeden stupeň, ušetrili by sme 873 000 ton CO₂ a 110 mil. libier ročne.“ [london.gov.uk/diy]. Vyjadrené v úsporách na osobu je to 0,12 t CO₂ za rok na osobu. To je približne 1 % celkových emisií (11 t), takže toto je dobrá rada. Dobrá práca, Ken!

22 Efektívne používanie elektrickej energie

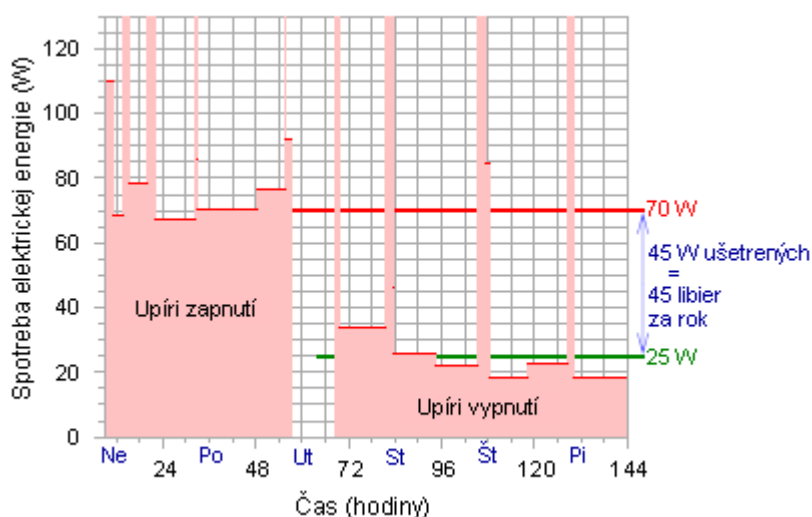
Dokážeme znížiť spotrebu elektrickej energie? Áno, vypnúť spotrebiče, keď ich práve nepoužívame, je jednoduchý spôsob, ako to dosiahnuť. Úsporné žiarovky takisto šetria elektrickú energiu.

Elektrickým spotrebičom sme sa už venovali v 11. kapitole. Niektoré sú z pohľadu spotreby elektrickej energie bezvýznamné, iné ju doslova hltajú. Tak napríklad laserová tlačiareň v mojej kancelárii, ktorá práve netlačí, zhltnie 17 W – to je takmer 0,5 kWh za deň. Kamarát si kúpil v predajni IKEA lampu. Jej nenásytný adaptér (obr. 22.1) spotrebuje celých 10 W (0,25 kWh za deň), či už je lampa zapnutá, alebo nie. Keď spočítate spotrebu vašich niekoľkých stereo zariadení, DVD prehrávačov, káblových modemov a bezdrôtových spotrebičov, poľahky zistíte, že ich vypnutím ušetríte dokonca až polovicu vašej spotreby elektrickej energie.

Podľa Medzinárodnej energetickej agentúry (International Energy Agency) sa pohotovostný (stand-by) režim našich spotrebičov podieľa zhruba 8 % na celkovej spotrebe elektrickej energie v domácnostiach. Vo Veľkej Británii a Francúzsku sa priemerne v každej domácnosti spotrebuje na pohotovostný režim spotrebičov okolo 0,75 kWh elektrickej energie za deň. Samozrejme, problémom nie je pohotovostný režim ako taký, no skôr spôsob, akým ho vo väčšine prípadov výrobcovia lacno imitujú. Bez problémov sa dá dosiahnuť to, aby spotrebič v pohotovostnom režime spotreboval maximálne 0,01 W, avšak výrobcovia, v snahe prilákať zákazníkov nízkymi cenami, šetria vo veľkovýrobe každé cent.



Obr. 22.1. Nenásytný AC adaptér lampy z obchodného domu IKEA – spotrebuje takmer 10 W dokonca aj vtedy, keď je lampa vypnutá!



Obr. 22.2. Účinnosť na obzore. Zmeral som úspory v spotrebe elektrickej energie po vypnutí upírov v priebehu týždňa, keď som bol v práci väčšinu každého dňa, takže dni aj noci boli takmer zbavené užitočnej spotreby elektriny, okrem chladničky. Malé nárasty v spotrebe boli spôsobené zapnutím mikrovlnnej rúry, toastovača, práčky, alebo vysávača. V utorok som vypol väčšinu svojich upírov: dve stereá, DVD-prehrávač, káblový modem, bezdrôtový router a záznamník. Červená čiara ukazuje trend spotreby ak „nikto nie je doma“ po tejto zmene. Spotreba klesla o 45 W, alebo o 1,1 kWh za deň.

Pokus s „vypnutím upírov“

Obrázok 22.2 ukazuje výsledok pokusu, ktorý som si urobil doma. Najprv som v priebehu prvých dvoch dní meral úroveň spotreby elektrickej

energie v čase, keď som nebol doma alebo som spal. V priebehu ďalších troch dní som meranie zopakoval s tým rozdielom, že som spotrebiče bežne zapnuté v pohotovostnom režime odpojil. Zistil som, že celková úspora elektrickej energie sa vyšplhala až na 45 W – čo predstavuje pri cene 11 pencí za kWh úsporu 45 libier za rok.

Odkedy som začal svojim meračom spotreby venovať väčšiu pozornosť, moja celková spotreba elektriny sa znížila na polovicu (Obr. 22.3). Svoje šetrenie som si utužil návykom kontrolovať merače každý týždeň, čím sa mi nakoniec podarilo „elektrických upírov“ zneškodniť (vyhostiť). Ak by túto zázračnú fintu mohli opakovať v každom dome a na každom pracovisku, mohli by sme sa jednoznačne prepracovať k výrazným úsporám elektrickej energie. Preto so skupinou svojich kolegov z Cambridge pripravujeme internetovú stránku venovanú pre záujemcov o pravidelné odčítavanie spotreby a osvete v tejto oblasti. Táto stránka, nazvaná ReadYourMeter.org, má za cieľ pomôcť ľuďom uskutočniť podobné pokusy ako tie moje, správne interpretovať výsledné hodnoty a získať hrejivý pocit na duši dosiahnutými úsporami.

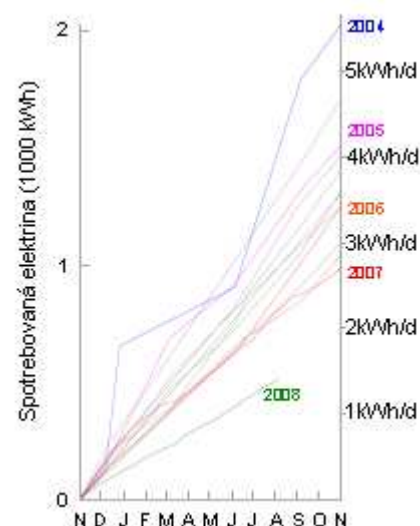
Verím tomu, že takéto šikovné sledovanie vlastnej spotreby má význam. Napriek tomu sú však predstavy o budúcnosti Británie v roku 2050 spojené s mojím predpokladom, že všetky takéto snahy šetriť elektrickú energiu budú zmarené zázrakom rastu. Rast je jedna z doktrín našej spoločnosti: ľudia budú stále bohatší, a tým pádom sa budú môcť zabávať s čoraz väčším množstvom spotrebičov. Nároky na stále dokonalejšie počítačové hry ženu spotrebu počítačov stále vyššie a vyššie. Pred desiatimi rokmi sme si o počítačoch mysleli, že sú takmer dokonalé, avšak v podmienkach súčasných nárokov sú takmer nepoužiteľné a je potrebné ich nahradiť rýchlejšími a dokonalejšími strojmi.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

155 ...*pohotovostný (stand-by) režim našich spotrebičov sa podieľa zhruba 8 % na celkovej spotrebe elektrickej energie v domácnostiach.* Zdroj: Medzinárodná energetická agentúra (2001).

Ďalšie informácie o zásadách týkajúcich sa pohotovostného režimu nájdete na stránke: www.iea.org/textbase/subjectqueries/standby.asp.



Obr. 22.3. Kumulatívna spotreba elektrickej energie mojej domácnosti, v kWh, každý rok v období 1993 až 2003. Sivé krivky znázorňujú spotrebu v období rokov 1993 až 2003. (Kvôli prehľadnosti grafu som jednotlivé roky neoznačil číslicami) Farebné krivky ukazujú vývoj kumulatívnej spotreby po roku 2004, vrátane. Stupnica na pravej strane predstavuje priemernú dennú spotrebu elektrickej energie v kWh. Pokus s upírmí začal 2. októbra 2007. Spoločná kombinácia vypnutia „upírov“ a zavedenia úsporných žiaroviek sa prejavili v znížení dennej spotreby energie z 4 kWh na 2 kWh.

23 Trvalo udržateľné fosílné palivá?

Je neúprosný fakt, že aj v nastávajúcich desaťročiach budú fosílné palivá významným zdrojom energie.

hovorca britskej vlády, apríl 2008

Podmienky nášho súčasného radostného pokroku sú záležitosťou obmedzeného trvania.

William Stanley Jevons, 1865

V posledných troch kapitolách sme rozoberali hlavné technológie a zmeny životného štýlu znižujúce spotrebu energie. Zistili sme, že v doprave by sme mohli znížiť spotrebu energie na polovicu (a zbaviť ju CO₂) prechodom na elektrické vozidlá. Zistili sme tiež, že ešte výraznejšie úspory by sme dosiahli vykurovaním budov (a zbaviť ich CO₂) s lepším zateplením a využívaním elektrických tepelných čerpadiel namiesto fosílnych palív. Takže áno, dokážeme znížiť našu spotrebu. Napriek tomu je zosúladenie takto zníženej spotreby s možnosťami obnoviteľných zdrojov doma stále veľkou výzvou (obrázok 18.7, strana 109). Nastal čas rozobrať možnosti výroby energie z neobnoviteľných zdrojov.

Zoberme si známe zásoby fosílnych palív, medzi ktorými dominuje uhlie: 1600 Gt. Rozdeľte toto množstvo rovnomerne medzi 6 miliárd ľudí, a spaľujte ho „trvalo udržateľne“. Čo tým máme na mysli, keď hovoríme o využívaní konečných zdrojov „trvalo udržateľne“? Tu je moja definícia, ktorú budem používať: spaľovanie je „trvalo udržateľné“ ak by zdroje fosílného paliva vydržali **1000 rokov**. Spálením jednej tony uhlia získame 8000 kWh chemickej energie, to znamená, že spálením 1600 Gt uhlia rovnomerne rozdelených medzi 6 miliárd ľudí na obdobie 1000 rokov získame **6 kWh za deň na osobu**. Priemerná uhoľná elektrárň by premenila túto chemickú energiu na elektrickú s účinnosťou približne 37 % - to znamená okolo **2,2 kWh(e) za deň na osobu**. Ak však budeme brať ohľad na podnebie, tak podľa všetkého nebudeme používať klasické elektrárne. Radšej využijeme tzv. „čisté uhlie“, alebo inak „uhlie so zachytávaním a uskladnením uhlíka“ [CCS technológie – pozn. prekl.] – ide o zatiaľ takmer nepoužívanú technológiu, ktorá oddeľuje v komínoch elektrární oxid uhličitý od ostatných plynov a vháňa ho do prázdnych priestorov v zemi. Čistenie emisií z elektrární týmto spôsobom je však energeticky značne náročné – znížilo by celkové množstvo získanej elektrickej energie o približne 25 %. Takže nakoniec by sme „trvalo udržateľne“ získali približne iba **1,6 kWh(e) za deň na osobu**.

„Trvalo udržateľnú“ rýchlosť spaľovania uhlia – 1,6 Gt za rok – môžeme porovnať so súčasťou celosvetovou spotrebou tohto fosílného zdroja: 6,3 Gt za rok a rastie.

A čo samotná Británia? Británia má podľa súčasných odhadov v zásobe ešte 7 Gt uhlia. Dobré, ak 7 Gt uhlia rozdelíme medzi 60 miliónov



Obr. 23.1. Uhlie dopravované do elektrárne v Kingsnorthe (výkon 1940 MW) v roku 2005. Autor fotografií: Ian Boyle
www.simplonpc.co.uk.

Uhlie: 6 kWh/d

Obr. 23.2. „Trvalo udržateľné fosílné palivá“

Ľudí, dostaneme 100 ton na osobu. V horizonte 1000 rokov to znamená spotrebu **2,5 kWh za deň na osobu**. V prípade uplatnenia „zachytávania a uskladnenia uhlíka“ by sme trvalo udržateľne v Británii získali **0,7 kWh(e) za deň na osobu**.

Náš záver je preto jasný:

Čisté uhlie je iba dočasné.

Ak vyvineme technológiu „čistého uhlia“ za účelom zníženia emisií skleníkových plynov, musíme byť opatrní, a skôr ako sa budeme búchať do prs, musíme počítať dôsledne. Spaľovanie uhlia nevypúšťa skleníkové plyny len v uhoľných elektrárňach, ale aj v uhoľných baniach. Pri ťažbe uhlia sa uvoľňuje metán, oxid uhoľnatý aj oxid uhličitý a to jednak priamo pri odkrývaní uhoľných slojov, ako aj následne z odpadových bridlíc a ílovcov. Tieto dodatočné emisie zvyšujú uhlíkovú stopu každej klasickej uhoľnej elektrárne o približne o 2 %, takže v prípade „čistých“ uhoľných elektrární sa tieto emisie prejavujú nakoniec významne. Podobný problém nastáva aj v prípade zemného plynu. Povedzme, že 5 % zemného plynu unikne do ovzdušia pri doprave z miesta ťažby do elektrárne, potom tieto úniky metánu (z hľadiska skleníkového efektu) pridávajú ďalších 40 % k oxidu uhličitému vypúšťaného elektrárnou.

Nové uhoľné technológie

Stanfordská spoločnosť directcarbon.com v súčasnosti vyvíja technológiu DCFC (*Direct Carbon Fuel Cell*), ktorá premieňa palivo a vzduch priamo na elektrickú energiu a CO₂ bez použitia vody alebo parných turbín. Podľa nich je tento spôsob výroby elektrickej energie z uhlia dvakrát účinnejší ako v klasických elektrárňach.

Kedy príde koniec „vývoja ako doposiaľ“?

V roku 1865 ekonóm Jevons urobil jednoduchý výpočet. Ľudia uvažovali o tom, ako dlho by mohlo uhlie Británii vydržať. Zväčša odpovedali na túto otázku jednoduchým delením zvyšných zásob uhlia priemernou rýchlosťou jeho spotreby a dostali odpoveď asi „1000 rokov“. Avšak Jevons argumentoval tým, že spotreba uhlia *nie je* konštantná. V tom čase sa spotreba zdvojnásobovala každých 20 rokov a „pokrok“ by mal k takémuto rastu smerovať aj naďalej. Takže „delenie zásob uhlia priemernou rýchlosťou spotreby“ prináša nesprávnu odpoveď.

Miesto toho Jevons extrapoloval exponenciálny rast spotreby uhlia a odhadol čas, počnúc ktorým celkové množstvo spotrebovaného uhlia presiahne odhadované množstvo jeho zásob. Dospel tak k oveľa kratšiemu času. Jevons jednoducho nepredpokladal, že by spotreba uhlia rástla rovnakou rýchlosťou; skôr tvrdil to, že tento rast je trvalo neudržateľný. Jeho výpočet tak stanovil pre britskú verejnosť nevyhnutné limity jej rastu, a tiež krátke obdobie, v priebehu ktorého sa tieto limity naplno prejavujú.



Obrázok 23.3. Stroj spásajúci staré lístie. Fotografia: Peter Gunn.

Jevons urobil odvážny výpočet toho, že koniec britského „pokroku“ by mohol nastať už v priebehu 100 rokov (vtedy bol rok 1865). Nakoniec mal Jevons pravdu. Ťažba uhlia v Británii dosiahla svoje maximum v roku 1910 a do roku 1965 už Veľká Británia nepatrila v ťažbe uhlia medzi svetové supervelmoci.

Zopakujme teraz jeho výpočet pre celý svet. V roku 2006 dosiahla ročná svetová spotreba uhlia rýchlosť 6,3 Gt. Počítajúc s predpokladanými zásobami uhlia 1600 Gt, ľudia často hovoria, že „uhlia nám zostáva ešte na ďalších 250 rokov“. Ak však predpokladáme, že scenár „vývoj ako doposiaľ“ znamená rastúcu spotrebu, dopracujeme sa k odlišnému výsledku. Ak by rýchlosť rastu spotreby uhlia pokračovala na úrovni 2 % za rok (čo dobre zodpovedá úrovni rastu v období 1930 až 2000), potom by došlo k vyčerpaniu celosvetových zásob uhlia do roku 2096. Ak rýchlosť rastu spotreby zvýšime na 3,4 % za rok (teda hodnota odpovedajúca rastu v poslednom desaťročí), koniec „vývoja ako doposiaľ“ možno očakávať ešte pred rokom 2072. Teda nie 250 rokov, ale 60!

Ak by bol Jevons ešte nažive, som si istý, že by s istotou predpovedal, že v prípade, ak nezvolíme inú cestu ako podľa scenára vývoj ako doposiaľ, roky 2050 alebo 2060 budú znamenať koniec nášho spokojného radostného pokroku.



Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

157 *1000 rokov – moja definícia “trvalej udržateľnosti.”* Predo mnou prirovnal Hansen a kol. (2007) “viac ako 500 rokov” k “večnosti.”

- *ekvivalent 1 tony uhlia = 29,3 GJ = 8000 kWh* chemickej energie. Táto hodnota nezahŕňa náklady na energiu spojené s ťažbou, prepravou a uskladnením uhlíka.
- *Záchyt a uskladnenie uhlíka (CCS).* Existuje niekoľko CCS technológií. Odsávanie CO₂ z plynov prítomných v komínoch je jedna možnosť; ďalšou možnosťou je splyňovanie uhlia a separovanie CO₂ pred samotným spaľovaním. Pozri Metz a kol. (2005). Prvý prototyp uhoľnej elektrárne s technológiou CCS bol spustený do prevádzky 9. septembra 2008 švédskou spoločnosťou Vattenfall [5kpkj8].
- *Britské uhlie.* V decembri roku 2005 sa odhadovali celkové zásoby uhlia v *existujúcich baniach* na 350 miliónov ton. V novembri roku 2005 sa odhadovali potenciálne povrchové zásoby uhlia odhadnuté na 620 miliónov ton a potenciál zásob podpovrchového uhlia vhodného na splyňovanie sa odhadoval na minimálne 7 miliárd ton. [yebuk8]

158 *Ťažba uhlia vedie ku uvoľňovaniu skleníkových plynov.* Informácie o metáne uvoľňovanom pri ťažbe uhlia pozri www.epa.gov/cmop/, Jackson a Kershaw (1996), Thakur a kol. (1996). Celosvetové emisie metánu vznikajúce pri ťažbe

uhlia sa odhadujú na 400 MtCO₂ za rok. Toto množstvo približne zodpovedá 2 % celkových emisií skleníkových plynov vznikajúcich pri spaľovaní uhlia. Priemerný obsah metánu v briských uhoľných slojoch je 4,7 m³ na tonu uhlia (Jackson a Kershaw, 1996); tento metán po uvoľnení do atmosféry má rovnaký potenciál globálneho otepľovania ako približne 5 % množstva CO₂ vznikajúceho pri spaľovaní uhlia.

158 Ak 5 % zemného plynu unikne do ovzdušia, pridáva to ďalších 40 % k oxidu uhličitému vypúšťaného elektrárnou. Nepredvídateľné znečistenie metánom prispieva ku globálnemu otepľovaniu osemnásobne väčším podielom ako celkové množstvo CO₂ uvoľňovaného pri spaľovaní metánu; ide o osemnásobok, nie klasický „23-násobok“ pretože tento „23-násobok“ vyjadruje podiel účinnosti ohrievania atmosféry pri porovnaní rovnakého množstva metánu a CO₂. Každá tona CH₄ sa pri spaľovaní premení na 2,75 ton CO₂, ak však unikne bez spaľovania, jeho ekvivalent vrastie na 23 ton CO₂. A 23/2,75 je 8,4.

Ďalšie čítanie: Svetový energetický kongres [yhxf8b].

Ďalšie informácie o podzemnom splyňovaní uhlia: [e2m9n].

24 Jadrová energia?

Urobili sme chybu spájaním jadrovej energie a jadrových zbraní, ako keby všetky veci spojené s jadrom boli len zlé. Myslím, že je to rovnaká chyba, ako spájanie jadrovej medicíny a jadrových zbraní.

Patrick Moore,
bývalý riaditeľ Greenpeace International

Jadrovú energiu možno využiť dvoma spôsobmi. Jadrové štiepenie je spôsob, ktorým využívame jadrovú energiu v elektrárňach a štiepenie vyžaduje ako palivo urán, výnimočne ťažký chemický prvok. Jadrová fúzia je spôsob, ktorý zatiaľ v elektrárňach využiť nedokážeme a fúzia vyžaduje ako palivo ľahké prvky, hlavne vodík. Štiepne reaktory delia ťažké atómové jadrá na stredne ťažké jadrá za vzniku energie. Fúzne reaktory spájajú ľahké jadrá na stredne ťažké jadrá za vzniku energie.

Obe formy jadrovej energie, štiepenie a fúzia, majú dôležitú vlastnosť: množstvo jadrovej energie v jednom atóme je približne miliónkrát väčšie ako množstvo chemickej energie v jednom atóme bežných palív. To znamená, že aj vzniknuté množstvo paliva a odpadu jadrového reaktora, môže byť až miliónkrát menšie ako množstvo paliva a odpadu vznikajúce v ekvivalentných elektrárňach na pohon z fosílnych zdrojov.

Skúsme si tieto úvahy priblížiť. Množstvo fosílnych palív, ktoré spotrebuje „priemerný obyvateľ Británie“ je asi 16 kg za deň (4 kg uhlia, 4 kg ropy a 8 kg plynu). To znamená, že počas jediného dňa na jedného Brita pripadá vyťaženie, doprava, spracovanie a spálenie množstva fosílného paliva, ktoré je rovné 14 litrom mlieka. Takto priemerný Brit vyprodukuje ročne 11 ton odpadu oxidu uhličitého; teda 30 kg za deň. V predošlej kapitole sme prišli s myšlienkou zachytávania emisií CO₂ a jeho stláčania do tekutého alebo pevného skupenstva a následnej prepravy na úložisko. Teraz si predstavte, že by bol každý človek zodpovedný za zachytenie a uloženie vlastného oxidu uhličitého. 30 kg CO₂ je veľký ruksak plný každý deň - rovnaká váha ako takmer 30 litrov mlieka!

Naopak, množstvo uránu potrebného na rovnaké množstvo energie ako získame z 16 kg fosílnych palív, v klasickom štiepnom reaktore, sú 2 gramy; a množstvo odpadu predstavuje len štvrtinu gramu (mimochodom, tieto 2 g uránu nepredstavujú 1 milióntinu zo 16 kg denne, pretože súčasné reaktory využijú menej ako 1 % uránu). Na získanie 2 g prírodného uránu denne je potrebné spracovať v uránových baniach približne 200 g rudy každý deň.

Takže toky materiálu vstupujúce a vystupujúce z jadrového reaktora sú v porovnaní s tokmi fosílnych palív relatívne malé. “Malé je pekné”, ale fakt, že celkové množstvo jadrového odpadu je relatívne malé ešte neznamená, že to nepredstavuje problém; je to len “pekné malé” problém.



Obrázok 24.1. Množstvo elektrickej energie vyrobenej na osobu jadrovým štiepením v roku 2007, v kWh za deň na osobu v krajinách s jadrovou energetikou.

“Trvalo udržateľná” energia z jadrového štiepenia

Obrázok 24.1 ukazuje množstvo elektriny vyrobenej v jadrových reaktoroch na svete v roku 2007 podľa jednotlivých krajín.

Mohla by byť jadrová energia „trvalo udržateľná“? Ak necháme na chvíľu otázky bezpečnosti a uloženia jadrového odpadu, kľúčovou otázkou je, či by dokázalo ľudstvo žiť z jadrovej energie veľa generácií. Aké veľké sú zásoby uránu a iných štiepateľných palív? Budú nám stačiť iba niekoľko desaťročí, ale ich máme dosť na celé tisícročia?

Na odhad “trvalo udržateľnej” energie z uránu som použil celkové množstvo uránu vyťažiteľného zo zeme a z morskej vody, spravodlivo rozdelené medzi 6 miliárd ľudí a položil som si otázku “ako rýchlo ho môžeme spotrebovať, aby nám vydržalo nasledujúcich 1000 rokov?”

Takmer všetok vyťažiteľný urán je v morskej vode, nie v zemi: morská voda obsahuje 3,3 mg uránu na m³ vody, čo celosvetovo znamená 4,5 miliardy ton uránu. Urán v oceánoch som nazval “vyťažiteľný”, ale nie je to celkom presné – pretože väčšia časť morskej vody je pre nás nedostupná a vody oceánov sa premiešajú len asi raz za 1000 rokov; a navyše zatiaľ nikto neprišiel so spôsobom ťažby uránu z morskej vody na priemyselnej úrovni. Takže bude lepšie urobiť dva samostatné odhady: prvý pre urán v zemi a druhý pre urán z morskej vody.

Uránová ruda ekonomicky vyťažiteľná zo zeme pri cene 130 dolárov za kg čistého uránu predstavuje len jednu tisícinu jeho celkových zásob. Ak by ceny za kg presiahli 130 dolárov, stali by sa návratnými aj ložiská fosfátov, ktoré tiež obsahujú urán. Obnovenie ťažby uránu z fosfátov je celkom možné, už sa tak stalo v Amerike a v Belgicku pred rokom 1998. Zahrnutím konvenčnej uránovej rudy a fosfátových ložísk do odhadu celkových vyťažiteľných zásob uránu sa nakoniec dostaneme k hodnote 27 miliónov ton uránu (Tabuľka 24.2).

Budeme uvažovať o dvoch spôsoboch využívania uránu v jadrových reaktoroch: (a) široko používané tlakovodné reaktory využívajú najmä energiu z uránu 235U (tvorí len 0,7 % celkového množstva uránu), pričom zvyšný urán 238U sa nevyužíva; (b) rýchly množivý reaktor s vyššími konštrukčnými nákladmi premieňa urán 238U na ďalej štiepateľné plutónium-239, z ktorého je možné získať až 60-krát viac energie, ako zo samotného uránu.

Tlakovodné reaktory, využitie uránu zo zeme

Jeden-gigawattový tlakovodný reaktor “spáli” **162 ton uránu za rok**. Takže známe zásoby vyťažiteľného uránu, rozdelené medzi 6 miliárd obyvateľov a na dobu 1000 rokov môžeme spotrebovať rýchlosťou **0,55 kWh energie za deň na osobu**. Táto udržateľná rýchlosť je rovná výkonu 136 jadrových elektrární a predstavuje polovicu súčasnej výroby energie jadrovými elektrárnami. Je možné, že som energetický potenciál uránu podhodnotil aj preto, že vzhľadom na súčasný dostatok uránu

	milióny ton uránu
Austrália	1,14
Kazachstan	0,82
Kanada	0,44
USA	0,34
Južná Afrika	0,34
Namíbia	0,28
Brazília	0,28
Ruská federácia	0,17
Uzbekistan	0,12
Celkovo na svete (konvenčných zásob v zemi)	4,7
Zásoby vo fosfáte	22
V morskej vode	4 500

Tabuľka 24.2. Veľkosť známych vyťažiteľných zásob uránu. Horná časť tabuľky ukazuje “pomerné isté zásoby” a “odhadované zásoby” s cenou menej ako 130 dolárov za kg uránu, k 1. januáru roku 2005. Ide o odhadované zásoby vo všetkých preskúmaných oblastiach. K tomu je potrebné pripočítať ďalších 1,3 mil. ton uskladneného ochudobneného uránu, ktorý vzniká ako vedľajší produkt predošlého spracovania uránu.



Obrázok 24.3. Pracovníci zasúvajú uránové valce do grafitového reaktora X-10.

neexistujú od 80. rokov žiadne významnejšie podnety na prieskum nových nálezísk; takže možno objavíme uránu viac. Potvrďuje to aj jeden článok publikovaný v roku 1980, ktorý odhaduje zásoby nízko-kvalitnej uránovej rudy na viac ako 1000-násobok nami uvažovanej hodnoty 27 miliónov ton.

Mohlo by byť súčasné používanie tlakovových reaktorov skutočne „trvalo udržateľné“? Ťažko povedať, najmä pre neistoty ohľadom prieskumov ložísk. Samozrejme, pri súčasnej spotrebe môže technológia tlakovodných reaktorov vydržať niekoľko stoviek rokov. No ak chceme zvýšiť jadrový výkon 40-násobne, aby sme prestali používať fosílna palivá a zabezpečili rast životnej úrovne, mohli by sme sa obávať, že tlakovodné reaktory nie sú trvalo udržateľnou technológiou.

Rýchle množivé reaktory využívajúce urán v zemi

Urán je možné využívať 60-krát účinnejšie v rýchlych množivých reaktoroch, ktoré využijú všetok urán – teda ^{238}U ako aj ^{235}U (na rozdiel od tlakovodných reaktorov, ktoré využívajú len urán ^{235}U). Pokiaľ nezlikvidujeme použité palivo vznikajúce v tlakovodných reaktoroch, môžeme tento zdroj ochudobneného uránu znovu použiť, takže urán pre tlakovodné reaktory nevyjde nazmar. Ak by sme použili všetok vyťažiteľný urán (a aj ochudobnený urán) v 60-krát účinnejších rýchlych množivých reaktoroch, množstvo energie by bolo **33 kWh za deň na osobu**. Názory na rýchle množivé reaktory sú rôzne, od “ide o nebezpečný a neúspešný pokus s technológiou, o ktorej sa neoplatí ani hovoriť” až po “dokážeme to a mali by sme reaktory začať budovať okamžite”. Nie som kompetentný vyjadrovať sa k rizikám tejto technológie, a nechcem ani spolu miešať etické a faktické tvrdenia. Mojim cieľom je len pomôcť vám porozumieť číslam. Jediné etické tvrdenie, ktoré by som rád pripomenul je “mali by sme mať plán, ktorý dáva zmysel”.

Tlakovodné reaktory využívajúce urán v oceánoch

Z celkového množstva uránu získateľného z morskej vody a využiteľného v tlakovodných reaktoroch by sme mohli získať energiu rovnajúcu sa:

$$\frac{4,5 \text{ miliárd ton na planéte}}{162 \text{ ton uránu na GW-rokov}} = 28 \text{ miliónov GW-rokov na planéte.}$$

Ako rýchlo dokážeme ťažiť urán z oceánov? Oceány cirkulujú pomaly: polovica všetkej vody v Pacifiku spolu s hlbokooceánskymi vodami cirkuluje k povrchu vďaka existencii veľkému oceánskemu “dopravníku” len asi raz za 1600 rokov. Predstavme si teda, že dokážeme vytážiť 10 % uránu za toto obdobie. Predstavovalo by to rýchlosť 280 000 ton uránu ročne. V tlakovodných reaktoroch by sme získali celkovú energiu:

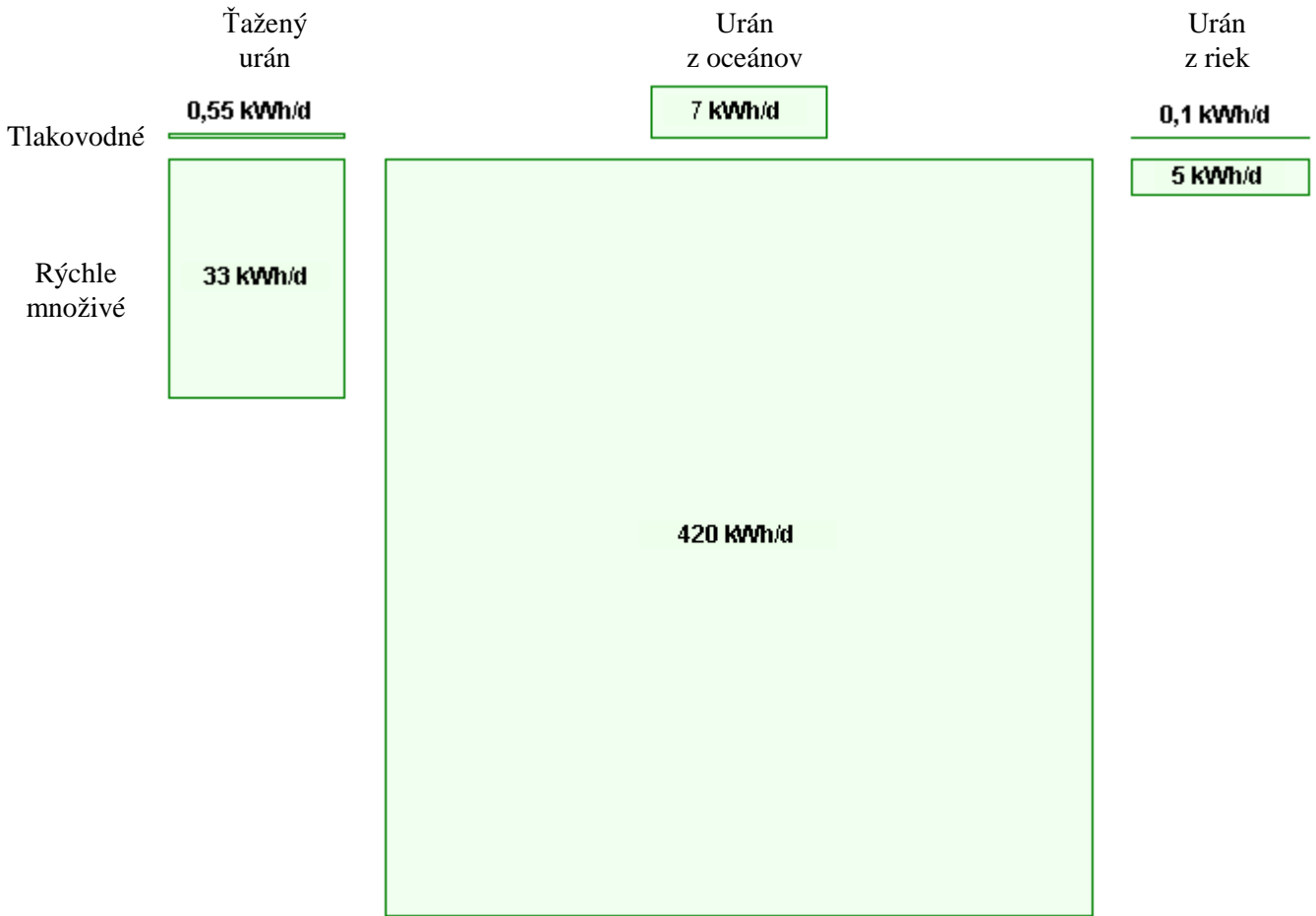
$$2,8 \text{ miliónov GW-roky} / 1600 \text{ rokov} = 1750 \text{ GW,}$$



Obrázok 24.4. Jadrová elektrárň v lokalite Three Mile Island.



Obrázok 24.5. Jadrové vývojové zariadenie v Dounreay, ktorého hlavným účelom bolo vyvíjanie technológie rýchleho množivého jadrového reaktora. Foto: John Mullen.



Obrázok 24.6. „Trvalo udržateľná“ energia z uránu. Pre porovnanie, súčasná svetová výroba energie z jadra dosahuje 1,2 kWh/d na osobu. Výroba energie z jadra v Británii je približne na úrovni 4 kWh/d na osobu a v súčasnosti klesá.

čo po rozdelení 6 miliárd obyvateľov znamená **7 kWh za deň na osobu**. (V súčasnosti máme k dispozícii 369 GW jadrového výkonu, takže uvedená hodnota by predstavovala 4-násobné zvýšenie oproti dnešku). Usudzujem, že ťažba uránu z morskej vody by zmenila súčasnú technológiu tlakovodných reaktorov na „trvalo udržateľnú“ možnosť – avšak iba za predpokladu, že by reaktory pokryli aj energetické náklady ťažby uránu v oceánoch.

Rýchly množivý reaktor, využitie uránu z oceánov

Za predpokladu, že rýchle množivé reaktory sú 60-krát účinnejšie, využívaním uránu z morskej vody by sme mohli získať **420 kWh za deň na osobu**. Konečne „trvalo udržateľná“ hodnota, ktorá prekonáva súčasnú spotrebu! – ale len so spoločnou pomocou dvoch technológií, ktoré nie sú veľmi v móde a zároveň sú len slabo rozvinuté, teda pomocou ťažby uránu z morskej vody a rýchlych množivých jadrových reaktorov.

Využitie uránu z riek

Zdrojom uránu v oceánoch sú rieky, ktoré ho dopĺňajú rýchlosťou približne 32 000 ton za rok.. Ak by sme dokázali 10 % tohto množstva zachytiť, získali by sme tak dostatok paliva pre tlakovodné reaktory s výkonom 20 GW, alebo pre rýchle množivé reaktory s výkonom 1200 GW. Rýchle množivé reaktory by tak mohli poskytovať **5 kWh za deň na osobu**.

Všetky uvedené čísla sú zhrnuté na obrázku 24.6

A čo náklady?

Ako zvyčajne v celej tejto knihe, pri mojich základných výpočtoch venujem ekonomickej stránke iba malú pozornosť. Hoci potenciálne využívanie uránu získavaného z oceánov je zatiaľ tou najlepšou možnosťou v našom zozname „trvalo udržateľných“ technológií, zdá sa, že je na čase začať sa zaoberať aj otázkou, či je tento model využívania jadrovej energie aj ekonomicky prijateľný.

Japonskí vedci objavili technológiu ťažby uránu z morskej vody pri cene 100 – 300 dolárov za kilogram. Súčasnú náklady ťažby uránu z rudy sú 20 dolárov/kg. Pretože urán obsahuje oveľa viac energie v jednej tone ako tradičné palivá, takýto 5- alebo 15-násobný nárast ceny uránu by mal iba malý vplyv na cenu jadrovej energie: cena jadrovej energie dominuje cena stavby elektrárne a jej odstavenie, ale nie cena paliva. Dokonca aj cena 300 dolárov/kg by zvýšila cenu jadrovej energie iba o 0,3 pencí za kWh. Náklady ťažby uránu by bolo možné znížiť kombináciou s ďalším využitím slanej vody – napríklad na chladenie elektrárne.

Ešte stále sme nevyhrali: je možné japonskú technológiu zaviesť na priemyselnú úroveň? Aké sú energetické náklady spracovania všetkej slanej vody? Japonci v jednom z experimentov použili tri nádoby plné látky adsorbujúcej urán vážiace 350 kg, a zozbierali “viac ako 1 kg žltej hmoty za 240 dní”. To zodpovedá množstvu 1,6 kg za rok. Nádoby mali plošný prierez 48 m². Na pohon 1 GW tlakovodného reaktora potrebujeme 160 000 kg za rok, že je rýchlosť spotreby 100 000-krát vyššia ako v prípade japonského experimentu. Ak by sme jednoducho rozšírili túto japonskú technológiu, ktorá pasívne zbiera urán z mora, 1 GW reaktor by vyžadoval nádoby so zbernou plochou 4,8 km² s váhou adsorbenta 350 000 ton – čo je viac ako váha ocele v samotnom reaktore. Aby sme si tieto čísla vedeli lepšie predstaviť, ak by urán dodával povedzme 22 kWh za deň na osobu, každý 1 GW reaktor by bolo potrebné rozdeliť medzi 1 milión ľudí a na každého z nich by pripadala spotreba 0,16 kg uránu za rok. Takže každý človek by potreboval jednu desatinu zariadenia Japoncov s váhou 35 kg na osobu a plochou 5 m² na osobu. Návrh, že je potrebné vyrobiť takéto zariadenia na ťažbu uránu sa tak svojimi rozmermi podobá návrhu, podľa ktorého by “každý človek mal vlastniť 10 m² slnečných panelov” a “každý človek by mal vlastniť jednotonové auto s príslušným miestom na parkovanie.” Áno, ide o veľkú investíciu, ale nie úplne mimo

predstavivosť. A to bol výpočet pre tlakovodné reaktory. V prípade rýchlych množivých reaktorov by sme potrebovali 60-násobne menej uránu, takže hmotnosť kolektorov uránu na osobu by bola 0,5 kg.

Tórium

Tórium je rádioaktívny prvok podobný uránu. V minulosti sa používal na výrobu plynových pancušiek a je približne 3-násobne hojnejší prvok v zemskej kôre ako urán. Pôda ho obsahuje v priemere 6 častíc na jeden milión častíc, a niektoré minerály obsahujú až 12 % oxidu tóričitého. Morská voda obsahuje iba málo tória, pretože oxid tóričitý je nerozpustný. Tórium je možné tiež v jednoduchých reaktoroch spáliť úplne (na rozdiel od klasických uránových reaktorov, ktoré spotrebujú iba 1 % uránu). Tórium sa už dnes využíva v jadrových reaktoroch v Indii. Ak začne dochádzať urán, z tória sa pravdepodobne stane hlavné jadrové palivo.

Tóriové reaktory zabezpečia 3,6 miliardy kWh tepla z jednej tony tória, čo znamená, že 1 GW reaktory spotrebujú približne 6 ton tória za rok, pri predpoklade 40 % účinnosti reaktorov. Celosvetové zásoby tória sa odhadujú na 6 milión ton, štvornásobne viac ako známe zásoby uvedené v tabuľke 24.7. Rovnako ako v prípade zásob uránu je pravdepodobné, že tieto zásoby sú podhodnotené, pretože možnosti tória sa dnes nehodnotia príliš vysoko. Ak predpokladáme, tak ako v prípade uránu, že tieto zásoby spotrebujeme za 1000 rokov a rovnomerne ich rozdelíme medzi 6 miliárd ľudí, dostaneme hodnotu „trvalo udržateľnej“ výroby energie na úrovni **4 kWh/d na osobu**.

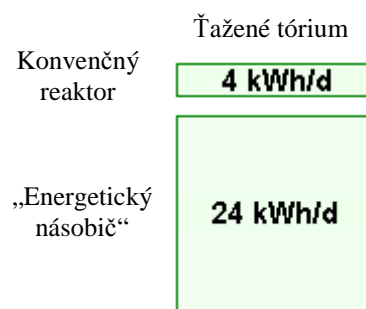
Alternatívny jadrový reaktor na spaľovanie tória, tzv. „energetický násobič“ alebo „systém riadený urýchľovačom“ navrhnutý nositeľom Nobelovej ceny Carlom Rubbim a jeho kolegami, by podľa ich odhadov dokázal premeniť 6 milión ton tória na 15 000 TWh energie, alebo na 60 kWh/d na osobu počas 1000 rokov. Ak predpokladáme účinnosť premeny energie 40 %, znamenalo by to množstvo **24 kWh/d na osobu** počas 1000 rokov. A odpad z energetického násobiča by bol navyše oveľa menej rádioaktívny. Autori nápadu tvrdia, že postupom času by sa ekonomicky dostupnými stalo oveľa viac tória ako dnešných 6 milión ton. Ak je ich odhad – 300-násobne viac – správny, potom by tórium a energetický násobič dokázal poskytnúť 120 kWh/d na osobu počas 60 000 rokov.

Využitie krajiny

Predstavme si, že Británia sa rozhodne seriózne zaoberať závislosťou na fosílnych palivách a vybuduje veľa nových jadrových reaktorov, hoci ani tento prístup nemusí byť „trvalo udržateľný“. Ak postavíme dostatok reaktorov, ktoré by výrazne prispeli k zníženiu uhlíkovej stopy dopravy a vykurovania budov, dokážeme odhadnúť potrebný počet takýchto reaktorov pre Britániu? Číslo, ktoré potrebujeme vedieť, je výkon na

Krajina	Zásoby (1000 ton)
Turecko	380
Austrália	300
India	290
Nórsko	170
USA	160
Kanada	100
Južná Afrika	35
Brazília	16
Iné krajiny	95
Spolu	1580

Tabuľka 24.7. Známe svetové zásoby tória v monazite (ekonomicky využiteľné zásoby).



Obrázok 24.8. Energetické možnosti tória.

jednotku plochy jadrového reaktora, čo je približne 1000 W/m^2 (obrázok 24.10). Predstavme si výrobu 22 kWh za deň na osobu jadrovej energie – to je ekvivalent 55 GW (približne výkon jadrovej energie vo Francúzsku), ktoré by mohlo zabezpečiť 55 jadrových elektrární a každá by zaberala asi 1 kilometer štvorcový. To je približne 0,02 % plochy krajiny. Všetne elektrárne dodávajúce rovnaký výkon, by potrebovali 500-násobne viac krajiny: 10 % z celkovej rozlohy. Ak umiestnime jadrové elektrárne v pároch okolo pobrežia (dĺžka 3000 km pri rozlíšení 5 km), potom by na každých 100 km pripadali dve elektrárne. Zatiaľ čo celková plocha elektrární je pomerne malá, plocha pobrežia, ktorú by elektrárne zabrali by bola väčšia, približne 2 % (2 kilometre na každých 100 km).

Ekonomika likvidácie

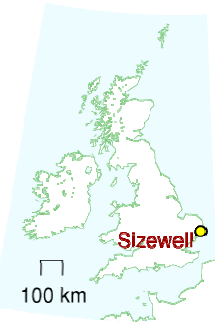
Aké sú náklady na vyčistenie priestorov po jadrových elektrárnach? Úrad pre odstavovanie jadrových elektrární má ročný rozpočet 2 miliardy libier na ďalších 25 rokov (platí aj pre vojenskú výrobu jadrových bômb). Jadrový priemysel predal každému v Británii 4 kWh/d približne za obdobie 25 rokov, takže náklady úradu pre odstavovanie jadrových elektrární predstavujú 2,3 pence na kWh. To je slušná dotácia – ale treba povedať, že nie taká slušná ako súčasná dotácia pre vietor na mori (7 penci na kWh).

Bezpečnosť

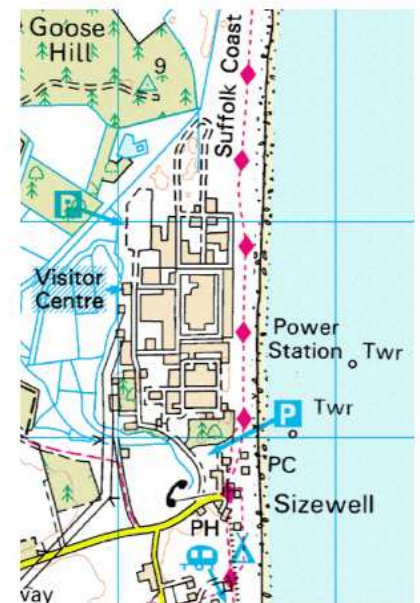
Obavy o bezpečnosť prevádzky jadrových elektrární pretrvávajú. V spracujúcom zariadení THORP v Sellafielde postavenom v roku 1994 za 1,8 miliardy libier došlo k rastúcemu úniku z poškodeného potrubia v období od augusta 2004 do apríla 2005. V priebehu 8 mesiacov uniklo až **85 000 litrov** tekutiny bohatej na urán do žumpe, ktorá bola vybavená bezpečnostným zariadením slúžiacim na detekciu akéhokoľvek presakovania uránu v takmer zanedbateľnom množstve **15 litrov**. Ale toto presakovanie zostalo bez povšimnutia, pretože operátori nedokončili kontrolu, ktorá by zaistila, že bezpečnostné systémy pracujú správne. A navyše operátori mali aj tak vo zvyku ignorovať bezpečnostné alarmy.

Bezpečnostné systémy boli veľmi starostlivé. Nezávisle od zlyhania bezpečnostného alarmu, rutinné bezpečnostné merania tekutiny v žumpe mali byť schopné zaznamenať neobvyklú prítomnosť uránu už v priebehu mesiaca od začiatku jeho úniku; ale zodpovedné osoby sa často neobťažovali urobiť tieto rutinné merania, pretože sa cítili príliš zaneprázdnení. Aj keď sa tieto merania uskutočnili a zaznamenali neobvyklú prítomnosť uránu v žumpe (dňa 28. augusta 2004, 26. novembra 2004 a 24. februára 2005), neboli podniknuté potrebné kroky.

Do apríla roku 2005 uniklo **22 ton** uránu, ale žiadny z bezpečnostných systémov tento únik nezaznamenal. Únik nakoniec zaznamenali až pri účtovaní, keď si rýžovači peňazí všimli, že k nim prichádza o 10 % menej uránu, ako tvrdili ich klienti, že do systému dodávajú. Vďaka bohu, že



Obrázok 24.9. Elektrárne v Sizewell. Sizewell A, v popredí mala výkon 420 MW, bola odstavená na konci roku 2006. Sizewell B, vzadu, dosahuje výkon 1,2 GW. Foto: William Connolley.



Obrázok 24.10. Elektrárne v Sizewell zaberá plochu menej ako 1 km^2 . Modré mriežky majú odstup 1 km. © Crown Copyright; Ordnance Survey.

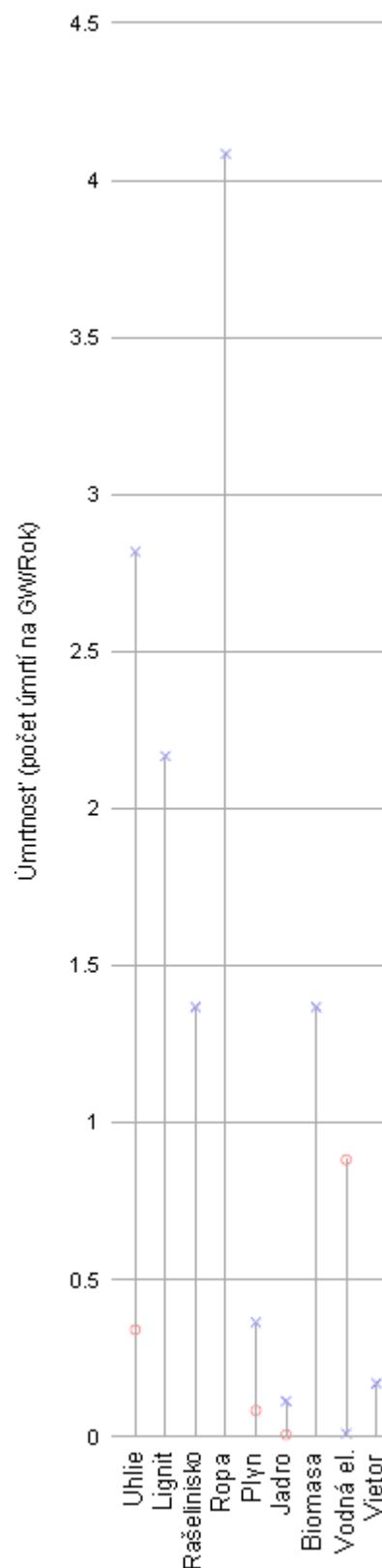
súkromná spoločnosť mala motív zisku, nie je tak? Kritika hlavného vyšetrovateľa jadrových zariadení bola zničujúca: “Elektrárň fungovala v prostredí, ktoré podľa všetkého umožňovalo zariadeniam pracovať v poplašnom stave namiesto toho, aby sa tento poplach zaznamenal a vyšetrili sa jeho príčiny”.

Ak necháme stavbu nových reaktorov na súkromné spoločnosti, ako zabezpečíme aj vyššie bezpečnostné štandardy? To neviem.

Zároveň však nesmieme v panike strácať hlavu pri nebezpečenstvách jadrovej energie. Jadrová energia nie je nekonečne nebezpečná. Je iba taká nebezpečná ako uhoľné bane, sklady s benzínom, spaľovanie fosílnych palív, alebo veterné turbíny. Dokonca aj v prípade keď nemáme záruky, že v budúcnosti nedôjde k nehodám, myslím, že najsprávnejší prístup je objektívne porovnať tento zdroj s ostatnými spôsobmi získavania energie. Napríklad uhoľné elektrárne vystavujú obyvateľstvo rádioaktívnemu žiareniu, pretože popol z uhlia bežne obsahuje urán. Podľa štúdie publikovanej v časopise *Science*, ľudia žijúci v Amerike v blízkosti uhoľných elektrární sú vystavení vyšším dávkam radiácie ako ľudia žijúci pri jadrových elektrárnach.

Na meranie rizika, ktoré pre verejnosť vyplýva z jednotlivých zdrojov energie, potrebujeme novú jednotku. Je ňou počet úmrtí na GWr (gigawatt-rok). Čo teda znamená, ak má nejaký zdroj energie rýchlosť úmrtí 1 úmrtie na GWr? Jeden gigawatt-rok je energia vyrobená 1 GW elektrárnou, ak vyrába elektrinu neustále po celý rok. Spotreba elektriny v Británii je 45 GW, alebo ak chcete tak 45 gigawatt-rokov za rok. Takže ak získavame elektrinu zo zdrojov s mierou úmrtí 1 smrť na GWr, znamená to, že výroba elektriny zabíja každý rok 45 ľudí. Pre porovnanie, na britských cestách zahynie každoročne 3000 ľudí. Takže ak *nie ste* za zrušenie ciest, môžete vyvodiť, že hoci je 1 úmrtie na GWr smutné, dá sa s tým žiť. 0,1 úmrtí na GWr by bolo lepšie, ale stačí iba okamih, aby ste si uvedomili, že využívanie fosílnych palív musí mať vyššiu mieru úmrtí: len pomyslíte na nehody ropných veží, helikoptéry stratené v mori, požiare na ropovodoch, výbuchy v rafinériách, či nehody v uhoľných elektrárnach: v Británii zaznamenávame desiatky úmrtí ročne v reťazi výroby energie z fosílnych zdrojov.

Takže aké sú jednotlivé miery úmrtí pre rôzne spôsoby získavania elektriny? Jednotlivé miery úmrtí sa veľmi líšia v závislosti na krajine. Napríklad v Číne je miera úmrtí v uhoľných baniach až 50-násobne vyššia ako vo väčšine iných krajín. Obrázok 24.11 ukazuje čísla zo štúdie Inštitútu Paula Scherrera a projektu Európskej únie s názvom ExternE, ktoré dôsledne zhodnotili všetky dopady výroby energie. Podľa údajov EÚ majú najvyššie miery úmrtí uhlie, lignit a ropa, nasledované energiou z rašelinísk a biomasy, ktorých miera úmrtí sa pohybuje niečo nad 1 úmrtie na GWr. Najlepšie sú na tom jadro a vietor s menej ako 0,2 úmrtiami na GWr. Podľa štúdie EÚ je vôbec najlepšie získavanie energie z vody, ale najhoršie v štúdiu Inštitútu Paula Scherrera, pretože robili výskum v iných krajinách.



Obrázok 24.11. Miera úmrtnosti v závislosti od použitej technológie produkcie elektrickej energie ×: odhady v rámci EÚ podľa projektu ExternE. ○: podľa Inštitútu Paula Scherrera.

Nevyhnutne bezpečná jadrová energia

Poháňaní obavami z jadra vymysleli inžinieri veľa typov nových jadrových reaktorov so zlepšenou bezpečnosťou. Napríklad o elektrárni GT-MHR sa hovorí, že je nevyhnutne bezpečná; a navyše má vyššiu účinnosť premeny tepla na elektrinu ako konvenčné jadrové elektrárne [gt-mhr.ga.com].

Mýty

Dva často citované nedostatky jadrovej energie sú stavebné náklady a odpad. Pozrime sa na niektoré aspekty týchto problémov.

Vybudovanie jadrovej elektrárne si vyžaduje značné množstvo betónu a ocele, teda materiálov, ktorých výroba znamená značné znečistenie CO₂.

Oceľ a betón v 1 GW jadrovej elektrárni majú uhlíkovú stopu približne 300 000 ton CO₂.

Ak toto “obrovské” číslo prepočítame na 25-ročnú životnosť reaktora, môžeme vyjadriť jeho príspevok k uhlíkovej intenzite v štandardných jednotkách (g CO₂ na kWh(e)),

$$\begin{aligned} \text{uhlíková intenzita} &= \frac{300 \times 10^9 \text{ g}}{106 \text{ kW(e)} \times 220\,000 \text{ h}} \\ \text{súvisiaca so stavbou} &= 1,4 \text{ g/kWh(e)}, \end{aligned}$$

čo je oveľa menej ako hodnota 400 g CO₂/kWh(e) v prípade fosílnych palív. Podľa odhadov IPCC je celková uhlíková intenzita jadrovej energie (vrátane stavby, spracovania paliva a odstavenia elektrárne) menej ako 40 g CO₂/kWh(e) (Sims a kol., 2007).

Prosím, aby ste ma zle nechápali: nesnažím sa byť zástancom jadra. Snažím sa byť zástancom aritmetiky.

Nie je odpad z jadrových reaktorov obrovský problém?

Ako sme poznamenali na začiatku kapitoly, objem odpadu z jadrových reaktorov je pomerne malý. Zatiaľ čo popol z desiatich uhoľných elektrární by vážil štyri milióny ton ročne (čo zodpovedá objemu približne 40 litrom na osobu za rok), jadrový odpad z desiatich jadrových elektrární Británie má objem iba 0,84 litra na osobu za rok – predstavte si to ako jednu fľašu vína na osobu za rok (obrázok 24.13).

Väčšina tohto odpadu je nízko aktívny odpad, 7 % je stredne aktívny odpad a iba 3 % – 25 ml za rok – tvorí vysoko aktívny odpad.

Vysoko aktívny odpad je naozaj nepríjemný. Tento typ odpadu sa bežne udržiava pri reaktore prvých 40 rokov. Chladí sa a uskladňuje sa v bazénoch s vodou. Po 40 rokoch sila rádioaktivity klesá 1000-násobne. Rádioaktivita klesá aj potom; v prípade, že sa znovu spracuje odpad, oddelí



Obrázok 24.12. Jadrová elektrárň v Černobyle (hore) a opustené mesto Prypiat', slúžiace k obsluhu elektrárne (dole). Foto: Nik Stanbridge.

sa plutónium a urán na použitie v novom palive, potom je po 1000 rokoch rádioaktivita vysoko aktívneho odpadu približne rovnaká ako v prípade uránovej rudy. Takže inžinieri uskladňujúci odpad potrebujú vymyslieť plán na zabezpečenie vysoko aktívneho odpadu na obdobie približne 1000 rokov.

Je to závažný problém? 1000 rokov je nepochybne dlhý čas v porovnaní so životom vlád a krajín, no objemy odpadu sú také malé, že sú podľa mňa iba malým problémom v porovnaní so všetkými inými formami odpadu, ktoré predávame budúcim generáciám. Pri 25 ml za rok by bol celoživotný objem odpadu menej ako 2 litre. Dokonca aj keď vynásobíme toto množstvo 60 miliónmi, objem odpadu jednej generácie sa nezdá byť nezvládateľný: 105 000 kubických metrov. Je to rovnaký objem ako má 35 olympijských bazénov. Ak by sme tento odpad rozprestrelí do výšky jeden meter, zakrýval by iba jednu desatinu kilometra štvorcového.

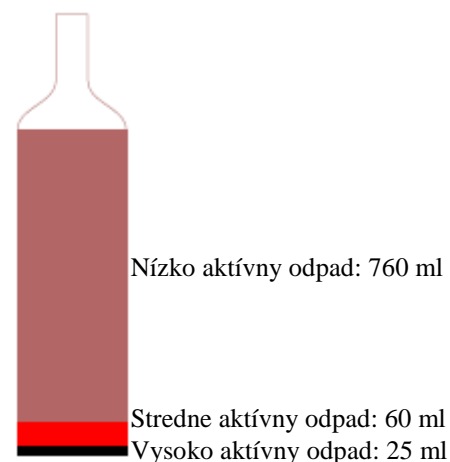
Už teraz existuje veľa miest, ktoré sú pre ľudí neprístupné. Do vašej záhrady sa nedostanem. A ani vy by ste sa nemali dostať do mojej. Ani jeden z nás nie je vítaný v Balmorale [zámok v Škótsku a obľúbená rezidencia kráľovského rodu – pozn. prekl.]. Značky “nevstupovať” sú všade. Downing Street, letisko Heathrow, vojenské zariadenia, nepoužívané bane – to všetko je nedostupné. Je nemožné predstaviť si ďalší kilometer štvorcový – možno hlboko v zemi – nedostupný po tisíc rokov?

Porovnajme týchto 25 ml na osobu vysoko aktívneho jadrového odpadu s tradičnými formami odpadu, ktorý dnes vytvárame: komunálny odpad – 517 kg za rok na osobu; nebezpečný odpad – 83 kg za rok na osobu.

Občas sa porovnáva potenciálny nový jadrový odpad s jadrovým odpadom, ktorý už máme vďaka starým reaktorom. Tu sú čísla pre Britániu. Predpokladaný objem “vysoko aktívnych odpadov” do roku 2120 s predpokladaným odstavením existujúcich jadrových elektrární je 478 000 m³. Z tohto objemu budú 2 % (asi 10 000 m³) vysoko aktívny odpad (1290 m³) a vyhoreté palivo (8150 m³), ktoré spolu tvoria 92 % aktivity. Stavba 10 nových jadrových reaktorov (10 GW) by pridala k tomuto množstvu ďalších 31 900 m³ vyhoretého paliva. Je to objem rovný desiatim bazénom.

Ak by sme veľmi veľké množstvo energie získavali z jadrového štiepenia alebo fúzie, nemohlo by to prispieť ku globálnemu otepľovaniu kvôli rastúcemu množstvu tepla, ktoré by sa uvoľňovalo do prostredia?

To je zábavná otázka. A pretože sme všetko v tejto knihe poctivo vyjadrovali rovnakými jednotkami, odpoveď je pomerne jednoduchá. Najprv si zrekapitulujme kľúčové čísla a globálnej energetickej rovnováhy zo strany 20: priemerné množstvo slnečnej energie absorbovanej atmosférou, krajinou a oceánmi je 238 W/m²; zdvojnásobenie atmosférickej koncentrácie CO₂ by zvýšilo celkové ohrievanie o 4 W/m². Toto zvýšenie o 1,7 % sa zdá byť zlou správou pre podnebie. Zmeny vo výkone Slnka v priebehu 11-ročného cyklu kolíšu v rozmedzí 0,25 W/m².



Obrázok 24.13. Ročný objem jadrového odpadu pripadajúceho v Británii na osobu je len o niečo väčší ako objem jednej fľaše vína.

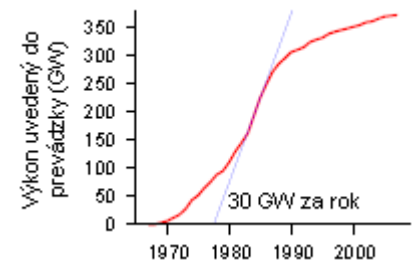
Takže teraz predpokladajme, že v priebehu približne 100 rokov bude svetová populácia 10 miliárd, a každý obyvateľ žije na úrovni priemerného Európana a za deň spotrebuje 125 kWh z fosílnych palív, jadra, alebo geotermálnej energie. Plocha Zeme na osobu by bola 51 000 m². Vydelením energie na osobu plochou na osobu zistíme, že energia navyše ako dôsledok spotreby energie ľuďmi je 0,1 W/m². To je jedna štyridsatina zo 4 W/m², s ktorými porovnáваме vplyv na podnebie a je to o niečo menej ako 0,25 W/m² vplyvom zmien slnečného žiarenia. Takže áno, pri týchto predpokladoch by sa výroba energie prejavila ako jeden z prispievateľov ku globálnej klimatickej zmene.

Počul som, že jadrovú energiu nie je možné stavať dostatočne rýchlo tak, aby dokázala užitočne prispieť.

Problém s dostatočne rýchlou stavbou bol zveličený za pomoci zavádzajúcej prezentácie faktov, ktoré nazývam “magické ihrisko”. Pomocou tejto metódy sa zdánlivo porovnávajú dve veci, ale základ tohto porovnania skončí na polceste. Editor z Guardianu pri hodnotení správy od *Oxfordskej výskumnej skupiny (Oxford Research Group)* napísal: “Aby jadrová energia významne prispela k zníženiu globálnych emisií uhlíku v priebehu dvoch generácií, bolo by potreba postaviť takmer 3000 nových reaktorov – alebo jeden týždenne po dobu 60 rokov. Civilný jadrový program na tejto úrovni je nereálny a úplne nevhodný. Najvyššia historická rýchlosť je 3,4 nových reaktorov ročne.” 3000 vyzerá oveľa viac ako 3,4, že áno! V tomto použití metódy “magického ihriska” autor preskočil nielen **v čase**, ale aj **v priestore**. Zatiaľ čo prvý údaj (3000 nových reaktorov **za 60 rokov**) je číslo potrebné **pre celú planétu**, druhý údaj (3,4 reaktorov **za rok**) je maximálna rýchlosť výstavby **v jedinej krajine** (Francúzsku)!

Čestnejšia prezentácia by zachovala porovnanie na úrovni planéty. Francúzsko má 59 zo svetových 429 fungujúcich jadrových reaktorov, takže je pravdepodobné, že najvyššia rýchlosť výstavby reaktorov pre celú planétu mohla byť desaťnásobok rýchlosti Francúzska, teda 34 nových reaktorov ročne. A požadovaná rýchlosť (3000 nových reaktorov za 60 rokov) znamená 50 reaktorov ročne. Takže tvrdenie, že “civilný jadrový program na tejto úrovni je nereálny a úplne nevhodný” je nezmysel. Áno, je to vysoká rýchlosť konštrukcie, ale je to v rovnakom rozsahu ako historické rýchlosti konštrukcie.

Moj predpoklad znie, že maximálna historická rýchlosť výstavby jadrových elektrární na svete mohla byť okolo 34 nových reaktorov ročne. Je realistický? Pozrime sa na údaje. Obrázok 24.14 ukazuje výkon jadrových elektrární na svete v čase pre reaktory funkčné aj v roku 2007. Rýchlosť výstavby bola najvyššia v roku 1984 dosiahla hodnoty (prosím fanfáry...) približne 30 GW za rok – teda približne 30 1-GW reaktorov. Takže tak!



Obrázok 24.14. Celkový globálny výkon dnes fungujúcich jadrových elektrární postavených od roku 1967. Výkon nových elektrární uvedených do prevádzky dosiahol vrchol v roku 1984 (30 GW).

A čo jadrová fúzia?

Hovoríme, že schováme Slnko do škatule. Myšlienka je to pekná. Problémom je, že nevieme tú škatuľu vyrobiť.

Sébastien Balibar, Riaditeľ výskumu, CNRS

Energia fúzie je špekulatívna a experimentálna. Myslím, že je unáhlené predpokladať, že problém fúzie *bude* vyriešený, ale veľmi rád vypočítam koľko energie nám môže fúzia zabezpečiť, *ak* problém vyriešime.

Dve fúzne reakcie považované za najslubnejšie sú:

DT reakcia, pri ktorej sa zlučuje deutérium s trícium za vzniku hélia; a

DD reakcia, pri ktorej sa zlučuje deutérium s deutériom.

Deutérium, prirodzene sa vyskytujúci ťažký izotop vodíka je možné získať zo slanej vody; trícium, ťažší izotop vodíka sa vo väčších množstvách v prírode nenachádza (pretože jeho polčas rozpadu je iba 12 rokov), ale je možné vyrobiť ho z lítia.

ITER je medzinárodný projekt, ktorý má za cieľ vymyslieť fungujúci a stabilný fúzny reaktor. Prototyp ITER bude využívať reakciu DT. Tá je uprednostňovaná pred reakciou DD, pretože uvoľňuje viac energie a pretože vyžaduje teplotu "iba" 100 miliónov °C aby mohla fungovať, zatiaľ čo DD vyžaduje 300 miliónov °C. (Maximálna teplota na Slnku je 15 miliónov °C).

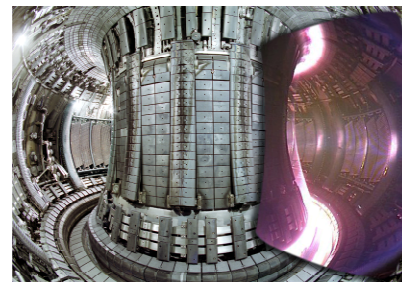
Podme fantazírovať a predpokladajme, že projekt ITER bude úspešný. Koľko trvalo-udržateľnej energie by nám fúzia zabezpečila? Elektrárne využívajúce DT reakciu, poháňané lítiom, prestanú fungovať, keď nebude lítium. Dúfajme, že ešte predtým bude k dispozícii druhý fantastický vynález: fúzne reaktory využívajúce samotné deutérium.

Budem volať tieto dva fantazijné zdroje energie "fúzia lítia" a "fúzia deutéria", pričom názov vychádza z primárneho paliva, o ktoré máme v danom prípade záujem.

Fúzia lítia

Svetové zásoby lítia sa odhadujú na 9,5 milióna ton v ložiskách rúd. Ak by sme všetky tieto zásoby venovali fúzii v priebehu 100 rokov, získaná energia by bola **10 kWh/d na osobu**.

Existuje ešte iný zdroj lítia: morská voda, kde má lítium koncentráciu 0,17 ppm. Na výrobu lítia rýchlosťou 100 miliónov kg za rok z morskej vody sa odhaduje potreba energie na 2,5 kWh(e) na gram lítia. Ak reaktory vyrobia 2300 kWh(e) na gram lítia, takto vyrobená energia by zodpovedala **105 kWh/d na osobu** (pri predpoklade 6 miliárd ľudí). Pri takejto rýchlosti by zásoby lítia v oceánoch vydržali na viac ako milión rokov.



Obrázok 24.15. Pohľad do vnútra experimentálneho fúzneho reaktora. Kombinácia prekrývajúcich sa fotografií ukazuje vnútro JET vakuového tunela (vľavo) a JET plazmy (vpravo) zachytenej počas skúšobných textov kamerovým systémom. Foto: EFDA-JET.



Obrázok 24.16. Fúzia na báze lítia používaná spravodlivo a „trvalo udržateľne“, by dokázala zabezpečiť našu súčasnú úroveň spotreby. Lítium získané ťažbou by zabezpečilo 10 kWh/d na osobu po dobu 1000 rokov; lítium získané z morskej vody by zabezpečilo 105 kWh/d na osobu po dobu viac ako milión rokov.



Obrázok 24.17. Ak by sa podarilo získavať deuterium na báze fúzie, mali by sme množstvo trvalo udržateľnej energie milióny rokov. Mierka tohoto diagramu je zmenšená 10 násobne v každom rozmere tak, aby bol viditeľný potenciál fúzie na jednej strane. Červené a zelené stĺpce z obrázku 18.1. sú pre porovnanie rovnako zmenšené.

Fúzia deutéria

Ak si predstavíme, že vedci a inžinieri zvládnu problém a rozbehnú fungujúcu DD reakciu, pôjde o veľmi dobrú správu. Každá tona vody obsahuje 33 g deutéria a energia, ktorá by sa uvoľnila fúziou iba jedného gramu deutéria by bola úžasných 100 000 kWh. Keď si uvedomíme, že hmotnosť oceánov je 230 miliónov ton na osobu, máme dostatok deutéria na zásobovanie každého obyvateľa pri 10-násobnom zvýšení súčasnej populácie sveta energiou rovnou 30 000 kWh za deň (to je viac ako 100 násobok priemernej spotreby Američana) po dobu 1000 rokov (obrázok 24.17).

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

161 *Obrázok 24.1.* Zdroj: Svetová jadrová asociácia (World Nuclear Association) [5qntkb]. Celkový výkon funkčných jadrových reaktorov je 372GW(e), s ročnou spotrebou uránu 65 000 ton. USA vyrába 99 GW, Francúzsko 63,5 GW, Japonsko 47,6 GW, Rusko 22 GW, Nemecko 20 GW, Južná Kórea 17,5 GW, Ukrajina 13 GW, Kanada 12,6 GW, a Británia 11 GW. V roku 2007 vyrobili všetky reaktory sveta 2608 TWh elektriny, čo je v priemere 300 GW, alebo 1,2 kWh za deň na osobu.

162 *Rýchly množivý reaktor získava z uránu 60 násobne viac energie.* Zdroj: www.world-nuclear.org/info/inf98.html. V súčasnosti vedie vo vývoji rýchlych množivých reaktorov Japonsko.

– *Jeden-gigawattový tlakovodný reaktor „spáli“ 162 ton uránu za rok.* Zdroj: www.world-nuclear.org/info/inf03.html. 1GW(e) elektrárňeň s tepelnou účinnosťou 33 % a využitelnosťou 83 % má nasledovnú stopu: ťažba – 16 600 ton 1 % uránovej rudy; drvenie – 191 t smolince (ktorý obsahuje 162 t prírodného uránu); obohacovanie a výroba paliva – 22,4 t smolince (ktorý obsahuje 20 t obohateného uránu). Obohatenie vyžaduje 115 000 SWU; pozri stranu 102 pre energetické náklady SWU (jednotiek separačnej práce).

163 ...ktorý odhaduje zásoby nízko-kvalitnej uránovej rudy na viac ako 1000-násobok nami uvažovanej hodnoty 27 miliónov ton. Deffeyes a MacGregor (1980) odhadli, že zdrojov uránu s koncentráciou 30 ppm alebo viac je 3×10^{10} ton. (Priemeraná uránová ruda spracovaná v Južnej Afrike v roku 1985 a 1990 mala 150 ppm. Fosfáty dosahujú obvykle priemer 150 ppm.)

Svetová jadrová asociácia ohľadom zásob uránu v júni 2008 napísala:

“Z času na čas sa vyjadrujú obavy o tom, že známe zásoby uránu nemusia postačovať, ak sa jeho použitie v budúcnosti znásobí. Ide ale o omyl limitov rastu, ...ktorý neberie do úvahy veľmi obmedzenú znalosť toho, čo sa v zemskej kôre v skutočnosti nachádza. Poznatky geológie sú také, že si môžeme byť istí, že známe zásoby rúd kovov sú len zlomkom ich obsahu v kôre.

“Známe zdroje uránu, množstvo ekonomicky vyťažiteľné z hornín, je... závislé od intenzity prieskumov v minulosti, a v princípe ide o vyjadrenie toho, čo je známe, skôr ako toho, čo je v zemskej kôre.

“Súčasné známe zásoby uránu (5,5 Mt) ...postačujú na viac ako 80 rokov. To predstavuje viac rokov potvrdených zásob, ako je bežné pre väčšinu minerálov. Ďalší výskum a vyššie ceny určite, na základe súčasných geologických znalostí, prinesú ďalšie zdroje po vyčerpaní tých existujúcich.“

“Ekonomicky racionálni hráči investujú iba do nálezov týchto nových zásob, keď si sú najviac istí ich návratnosťou, čo vo všeobecnosti vyžaduje pozitívne cenové signály spôsobené nedostatkom zásobovania. Ak pracuje ekonomický systém správne a maximalizuje účinnosť kapitálového vkladu, nikdy by nemalo existovať viac ako pár desaťročí zásob akéhokoľvek zdroja v akomkoľvek čase.”

[Prieskum má svoje náklady; napríklad prieskum uránu stál 1 – 1,5 dolára na kg uránu (3,4 doláru/MJ), čo predstavuje 2 % z aktuálnej ceny 78 dolárov za kg U; naopak cena nájdenia ropy bola v priemere približne 6 dolárov za barel (1050 dolárov/MJ) (12 % z aktuálnej ceny) za najmenej posledné tri desaťročia.]

“Na rozdiel od kovov po ktorých existuje dopyt už niekoľko storočí, spoločnosť iba sotva začala využívať urán. Zatiaľ sa uskutočnil iba jeden cyklus prieskum – objav – výroba, iniciovaný predovšetkým cenovými skokmi koncom 70-tych rokov.

“Je predčasné hovoriť o dlhodobom nedostatku uránu, keď je celý jadrový priemysel taký mladý, že zatiaľ vyžadoval iba jeden cyklus obnovy zdrojov.” www.world-nuclear.org/info/inf75.html

Ďalšie čítanie: Herring (2004); Price a Blaise (2002); Cohen (1983).

IPCC citujúc OECD, predpokladá že na úrovni spotreby z roku 2004 vydržia konvenčné zásoby uránu a fosfátov na 670 rokov v tlakovodných reaktoroch, 20 000 rokov v rýchlych reaktoroch s recykláciou plutónia a 160 000 rokov v rýchlych reaktoroch s recykláciou uránu a všetkých aktinidov (Sims a kol., 2007).

165 *Japonskí vedci objavili technológiu ťažby uránu z morskej vody.* Odhad 100 dolárov za kg pochádza od Seko a kol. (2003) a [y3wnzr]; odhady ceny 300 dolárov za kg pochádza z Jadrovej energetickej agentúry OECD (OECD Nuclear Energy Agency) (2006, strana 130). Technika ťažby uránu zahŕňa namočenie tkaniva do oceánu na niekoľko mesiacov; tkanivo je vyrobené z polymérových vlákien, ktoré ešte pred namočením zlepkavejú pri ožiarení; lepkavé vlákna zbierajú urán v množstve 2 g uránu na jeden kilogram vlákna.

– *Náklady ťažby uránu by bolo možné znížiť kombináciou s ďalším využitím slanej vody – napríklad na chladenie elektrárne.* Myšlienku ostrova na jadrový pohon, ktorý by vyrábal vodík, priniesol C. Marchetti. Množivé reaktory by chladila morská voda a z nej by reaktory ťažili urán rýchlosťou 600 t uránu na 500 000 Mt morskej vody.

166 *Tóriové reaktory zabezpečia 3,6 miliardy kWh tepla z jednej tony tória.* Zdroj: www.world-nuclear.org/info/inf62.html. Zostáva priestor na zlepšenie tóriových reaktorov, takže tento údaj sa môže v budúcnosti zmeniť.

– *Alternatívny jadrový reaktor na spaľovanie tória, tzv. “energetický násobič”...* Pozri Rubbia a kol. (1995), web.ift.uib.no/~lillestol/Energy_Web/EA.html, [32t5zt], [2qr3yr], [ynk54y].

– *Známe svetové zásoby tória v monazite.* Zdroj: Americká geologická služba (US Geological Survey), Mineral Commodity Summaries, January 1999 - [yl7tkm] citovaná v UIC Nuclear Issues Briefing Paper #67 November 2004.

“Iné minerálové rudy s vyšším obsahom tória, ako napríklad torit (kremičitan tóričitý), by sa pravdepodobne stali zdrojmi, ak by výrazne vzrástol dopyt“. [yju4a4] vynecháva údaj pre Turecko, ktorý možno nájsť tu: [yeyr7z].

167 *Jadrový priemysel predal každému v Británii 4 kWh/d približne za obdobie 25 rokov.* Celková výroba k roku 2006 bola asi 2200 TWh. Zdroj: Energetický prehľad Stephena Saltera pre Škótsku Národnú Stranu..

- *Úrad pre odstavovanie jadrových elektrární má ročný rozpočet 2 miliardy libier.* V skutočnosti sa zdá, že tento rozpočet stále rastie. Posledné údaje celkových nákladov potrebných na odstavenie jadrových elektrární sú 73 miliárd liber. news.bbc.co.uk/1/hi/uk/7215688.stm.

168 *Kritika hlavného vyšetrovateľa jadrových zariadení bola zničujúca...* (Weightman, 2007).

- *Jadrová energia nie je nekonečne nebezpečná. Je iba nebezpečná.* Ďalšie čítanie o riziku jadrovej energie: Kammen a Hassenzahl (1999).
 - *Ludia žijúci v Amerike v blízkosti uhoľných elektrární sú vystavení vyšším dávkam radiácie ako ľudia žijúci pri jadrových elektrárnach.* Zdroj: McBride a kol. (1978). V uhlí majú urán a tórium koncentrácie približne 1 ppm a 2 ppm. Ďalšie čítanie: gabe.web.psi.ch/research/ra/rares.html, www.physics.ohiostate.edu/~wilkins/energy/Companion/E20.12.pdf.xpdf.
 - *Jadrová a veterná energia majú najnižšie miery úmrtí.* Pozri aj Jones (1984). Tieto údaje o miere umierania sú zo štúdií, ktoré predpovedajú budúcnosť. Môžeme sa pozrieť aj do minulosti. Británia vyrobila vďaka jadrovej energii 200 GWr elektriny a jadrový priemysel hlásil jedno úmrtie, tento pracovník zomrel pri Chapelcrosse v roku 1978 [4f2ekz]. Jedna smrť na 200 GWr je neuveriteľne málo v porovnaní s uhoľným priemyslom. Odhadnúť mieru úmrtí pre jadrový priemysel celosvetovo je veľmi ťažké. Havária na Three Mile Island nezabila nikoho a následné prieskumy podľa odhadov zabili najviac jedného človeka v čase havárie. Nehoda v Černobyle najprv zabila 62 ľudí, ktorí zomreli priamo na následok ožiarenia a 15 miestnych ľudí zomrelo na rakovinu štítnej žľazy; podľa odhadov v blízkosti elektrárne zomrelo na následky rakoviny asi 4 000 ľudí a na celom svete ich bolo asi 5 000 (zo 7 miliónov, ktorí boli vystavení žiareniu) (Williams a Baverstock, 2006); ale počet úmrtí nie je možné určiť, pretože zo všetkých prípadov rakoviny v Európe až 25 % spôsobuje prirodzené žiarenie. Jeden zo spôsobov ako určiť úmrtia na následky ožiarenia z jadrovej energie celosvetovo je rozdelenie počtu úmrtí pri Černobyle (9 000) celkovým množstvom elektriny v rokoch 1969 až 1996, teda 3685 GWr. To znamená 2,4 úmrtí na GWr. Čo sa týka veternej energie Informačné fórum elektrárne v Caithness www.caithnesswindfarms.co.uk zaznamenalo celosvetovo 49 úmrtí v rokoch 1970 do 2007 (35 pracovníkov veterného priemyslu a 14 civilných osôb). V roku 2007 Paul Gipe napočítal 34 úmrtí na celom svete [www.wind-works.org/articles/BreathLife.html]. Uprostred 90. rokov bola miera úmrtí v dôsledku veternej energie 3,5 úmrtí na GWr. Podľa Paula Gipea klesla miera úmrtí na 1,3 úmrtia na GWr do konca roku 2000. Takže historická miera umierania v dôsledku využívania jadrovej a veternej energie je vyššia, ako sa predpokladá do budúcnosti.
- 169 *Oceľ a betón v 1 GW jadrovej elektrárni majú uhlíkovú stopu približne 300 000 ton CO₂.* 1GW jadrová elektrárňa je postavená z 520 000 m³ betónu (1,2 milióna ton) a z 67 000 ton ocele [2k8y7o]. Ak predpokladáme 240 kg CO₂ na m³ betónu [3pvf4j], potom je uhlíková stopa betónu približne 100 000 ton CO₂. Podľa spoločnosti Blue Scope Steel [4r7zpg] je uhlíková stopa ocele približne 2,5 tony CO₂ na tonu ocele. Takže 67 000 ton ocele má uhlíkovú stopu približne 170 000 ton CO₂.
- 170 *Diskusia o jadrovom odpade.* Zdroje: www.world-nuclear.org/info/inf04.html, [49hcnw], [3kduo7]. *Nový jadrový odpad v porovnaní so starým.* Výbor na spracovanie rádioaktívneho odpadu (Committee on Radioactive Waste Management) (2006).
- 172 *Svetové zásoby lítia sa odhadujú na 9,5 milióna ton v ložiskách rúd.* Hlavné zdroje lítia je možné nájsť v Bolívii (56,6 %), Čile (31,4 %) a USA (4,3 %). www.dnmp.gov.br
- *Existuje ešte iný zdroj lítia: morská voda...* Študovaných bolo niekoľko metód ťažby lítia (Steinberg a Dang, 1975; Tsuruta, 2005; Chitrakar a kol., 2001).
 - *Fúzia na báze lítia.* Energetická hustota prírodného lítia je približne 7500 kWh na gram (Ongena a Van Oost, 2006). Existuje pomerne široký rozptyl v odhadoch toho, ako účinne by fúzne reaktory dokázali premeniť lítium na elektrickú energiu, pričom odhady kolíšu od 310 kWh(e)/g (Eckhartt, 1995) do 3400 kWh(e)/g prírodného lítia (Steinberg a Dang, 1975). Ja som predpokladal hodnotu 2300 kWh(e)/g, ktorá vychádza z tohto často citovaného súhrnného údaju: “1 GW fúzna elektrárňa spotrebuje približne 100 kg deutéria a 3 tony prírodného lítia za rok a vyrobí približne 7 miliárd kWh”. [69vt8r], [6oby22], [6312lp].

Ďalšie čítanie o štiepení: Hodgson (1999), Nuttall (2004), Rogner (2000), Williams (2000). Uránové informačné centrum (Uranium Information Center) – www.uic.com.au. www.world-nuclear.org, [wnchw].

O nákladoch: Zaleski (2005).

O ukladaní jadrového odpadu: [shrln].

O množivých reaktoroch a tóriu: www.energyfromthorium.com.

Ďalšie čítanie o fúzii: www.fusion.org.uk, www.askmar.com/Fusion.html.

25 Pomoc obnoviteľných zdrojov z iných krajín?

Či sa v 21. storočí zo Stredozemia stane oblasť spolupráce alebo konfrontácie, bude mať pre našu bezpečnosť strategický význam.

Joschka Fischer, nemecký minister zahraničia, Február 2004

Zistili sme, že je ťažké zbaviť sa fosílnych palív pomocou vlastných obnoviteľných zdrojov. Jadrová energia má tiež svoje vlastné problémy. Takže čo ešte môžeme urobiť? No, čo tak využiť obnoviteľné zdroje zo zahraničia? (Samozrejme, nie preto, že by sme na to mali nejaké právo, ale možno by tieto krajiny mali záujem nám svoje zdroje predávať).

Väčšina zdrojov potrebných pre udržateľný život sa viaže na plochu: ak chcete mať slnečné panely, potrebujete plochu, na ktorú ich umiestnite; ak chcete pestovať obilie, znovu potrebujete plochu. Jared Diamond v knihe *Kolaps* zistil, že hoci ku kolapsu civilizácií prispelo veľa faktorov, spoločným znakom všetkých bolo, že hustota populácie bola príliš vysoká.

Štáty ako Británia a Európa majú problém, pretože hustota populácie je vysoká a všetky dostupné obnoviteľné zdroje sú difúzne – majú nízke hustoty výkonu (Tabuľka 25.1). Keď hľadáme pomoc, mali by sme hľadať krajinu splňujúcu tri podmienky: a) nízka hustota populácie; b) veľká rozloha, a c) obnoviteľný zdroj výkonu s vysokou hustotou.

Región	Populácia	Rozloha (km ²)	Hustota (obyvateľov na km ²)	Rozloha na obyvateľa (m ²)
Líbya	5 760 000	1 750 000	3	305 000
Kazachstan	15 100 000	2 710 000	6	178 000
Saudská Arábia	26 400 000	1 960 000	13	74 200
Alžírsko	32 500 000	2 380 000	14	73 200
Sudán	40 100 000	2 500 000	16	62 300
Svet	6 440 000 000	148 000 000	43	23 100
Škótsko	5 050 000	78 700	64	15 000
Európska Únia	496 000 000	4 330 000	115	8 720
Wales	2 910 000	20 700	140	7 110
Veľká Británia	59 500 000	244 000	243	4 110
Anglicko	49 600 000	130 000	380	2 630

Tabuľka 25.2 zobrazuje niektoré krajiny, ktoré požiadavkám vyhovujú. Napríklad hustota populácie Líbye je 70-násobne nižšia ako má Británia, a jej rozloha je 7-násobne vyššia. Iné veľké krajiny sú Kazachstan, Saudská Arábia, Alžírsko a Sudán.

VÝKON NA JEDNOTKOVÚ ROZLOHU KRAJINY ALEBO VODY	
Vietor	2 W/m ²
Oceánsky vietor	3 W/m ²
Prílivová nádrž	3 W/m ²
Prílivová elektrárňa	6 W/m ²
Slnečné FV panely	5-20 W/m ²
Rastliny	0,5 W/m ²
Dažďová voda (vysočiny v Škótsku)	0,24 W/m ²
Vodné elektrárne	11 W/m ²
Komínová elektrárňa	0,1 W/m ²
Slnečná elektrárňa s koncentračnými panelmi (púšť)	15 W/m²

Tabuľka 25.1 Zariadenia obnoviteľných zdrojov musia mať rozmery krajiny, pretože všetky obnoviteľné zdroje sú také difúzne (rozptýlené).

Tabuľka 25.2 Vybrané oblasti, usporiadané podľa hustoty populácie vzostupne. Pozri stranu 338 pre ďalšie hustoty populácie.

Myslím, že vo všetkých týchto krajinách je najslubnejším obnoviteľným zdrojom slnečná energia, obzvlášť tá s technológiou koncentrovania, ktorá využíva zrkadlá alebo šošovky pre nasmerovanie slnečných lúčov. Slnečné stanice s technológiou koncentrovania majú niekoľko výhod, lebo dokážu usporiadať svoje pohyblivé zrkadlá do rozličných tvarov a majú možnosť využitia rozličných technológií – napríklad Stirlingových motorov, tlakovanej vody alebo roztavenej soli – a všetky zabezpečujú veľmi podobné množstvá priemernej energie na jednotku plochy, približne 15 W/m^2 .

Zmysluplná technológia

„Všetku spotrebu energie sveta by pokryl štvorec na Sahare s rozlohou 100 krát 100 km.“ Je to pravda? Koncentrovaná slnečná energia na púšťach zabezpečuje v priemere na jednotku plochy približne 15 W/m^2 . Ak by sme v tomto priestore nemali umiestnené nič iné, dodávaná energia by predstavovala 150 GW. To ale nie je to isté množstvo ako súčasná svetová spotreba energie. Neblíži sa to dokonca ani svetovej spotrebe *elektrickej energie*, ktorá je 2000 GW. Dnešná svetová spotreba energie je 15 000 GW. Takže správne znenie by bolo, že súčasnú spotrebu energie by pokryl štvorec na Sahare s rozlohou *1000 krát 1000 km*, celkom pokrytý koncentrovanou slnečnou energiou. To je štvornásobok rozlohy Británie. A ak chceme žiť v rovnoprávnom svete, mali by sme smerovať k vyššej spotrebe ako je tá *dnešná*. Aby sme zabezpečili každému na svete spotrebu energie priemerného Európana, potrebovali by sme plochu *dvoch* štvorcov s rozlohou 1000 krát 1000 km na púšti.

Našťastie Sahara nie je jediná púšť, takže možno je vhodnejšie rozdeliť svet na niekoľko menších regiónov a spýtať sa, akú plochu v každom z týchto regiónov potrebujeme. Takže ak sa zameriame na Európu, „akú rozlohu potrebujeme v severnej Sahare, aby sme zásobovali *každého v Európe a severnej Afrike* priemerným množstvom európskej spotreby energie?“ Pri populácii Európy a severnej Ameriky okolo 1 miliardy, požadovaná rozloha klesá na 340 000 km², čo zodpovedá štvorcu **600 krát 600 km**. Ide o plochu s rozlohou Nemecka, 1,4 Veľkej Británie alebo **16 Walesov**.

Na Britániu by z rozlohy 16 Walesov pripadal jeden Wales: štvorec s rozlohou 145 krát 145 km na Sahare by zásoboval Britániu všetkou potrebnou primárnou energiou. Štvorce znázorňuje obrázok 25.5. Všimnite si, že žltý štvorec môže v porovnaní s celou Afrikou vyzerieť „malý“, má ale rozlohu Nemecka.

Plán DESERTEC

Organizácia s názvom DESERTEC [www.desertec.org] presadzuje plán využiť koncentrovanú slnečnú energiu v slnečných krajinách Stredozemia s prenosovými káblami s vysokonapäťovým jednosmerným prúdom

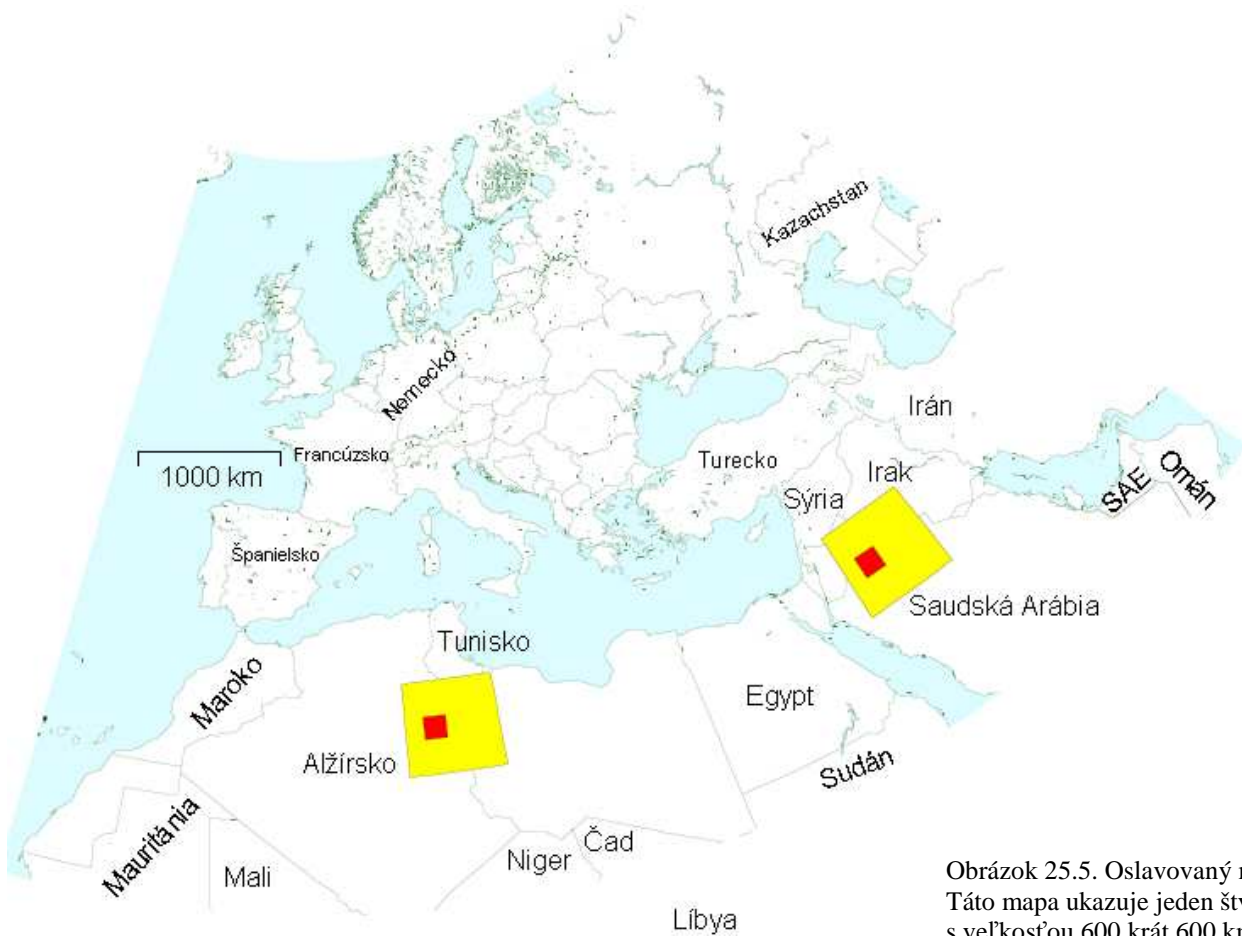


Obrázok 25.3 Stirlingov tanierový motor. Tieto nádherné koncentrátoory dodávajú plošný výkon 14 W/m^2 [kombinácia solárnych kolektorov a Stirlingových motorov – pozn. prekl.]. Fotografia s láskavým povolením od Stirling Energy Systems. www.stirlingenergy.com



Obrázok 25.4. Andasol – rozostavaná „100 MW“ slnečná elektrárň v Španielsku. Nadbytočná tepelná energia vyrobená cez deň sa uloží v nádržiach s tekutou soľou až na sedem hodín, zabezpečujúc tak sieť nepretržitým a stabilným zásobovaním elektrickým výkonom. Elektrárň by mala podľa predpokladov vyrábať 350 GWh za rok (40 MW). Parabolické oblúky zaberajú 400 hektárov, takže výkon na jednotku plochy krajiny bude 10 W/m^2 .

Horná fotografia: ABB. Nižšia



Obrázok 25.5. Oslavovaný malý štvorec. Táto mapa ukazuje jeden štvorec s veľkosťou 600 krát 600 km v Afrike, a druhý v Saudskej Arábii, Jordánsku, a Iraku. Elektrárne s koncentrovaným slnečným výkonom vyplňajúce tento priestor by dokázali zabezpečiť dostatok výkonu pre 1 miliardu ľudí s priemernou spotrebou Európana 125 kWh/d. Rozloha jedného štvorca je taká istá, ako rozloha Nemecka, a 16 krát väčšia ako má Wales. V každom veľkom štvorci je menší s rozlohou 145 krát 145 km a ukazuje rozlohu na Sahare – jeden Wales – potrebnú pre zabezpečenie spotreby Británie.

(high-voltage direct current, HVDC) (obrázok 25.7), ktorá by zabezpečovala elektrickú energiu pre oblačné severné časti Európy. Technológia HVDC sa používa od roku 1954 na prenos elektrickej energie pomocou jednak nadzemného vedenia, aj pomocou podmorských káblov (akým je napríklad spojenie medzi Francúzskom a Anglickom). Už dnes sa používa na prenos elektriny na vzdialenosti 1000 km v južnej Afrike, Číne, Amerike, Kanade a Kongu. Typický 500 kV kábel dokáže prenášať výkon 2 GW. Dva HVDC káble v Brazílii prenášajú 6,3 GW.

Prenos HVDC sa uprednostňuje pred tradičnými vysokonapäťovými AC káblami [AC znamená striedavý prúd – pozn. prekl.], pretože vyžaduje menej zariadení, menšiu rozlohu a straty pri prenose sú menšie. Straty výkonu na 3500 km dlhú vzdialenosť pomocou HVDC, vrátane premeny zo striedavého na jednosmerný prúd a naspäť, sú približne 15 %. Ďalšou výhodou systémov HVDC je, že pomáhajú stabilizovať elektrické siete, na ktoré sú napojené.

V plánoch projektu DESERTEC by sa prednostne mali využívať pobrežné oblasti, pretože slnečné elektrárne blízko morí môžu vyrábať ako vedľajší produkt odsolenú vodu – cennú pre ľudí, aj pre poľnohospodárstvo.

Krajina	Ekonomický potenciál (TWh/rok)	Potenciál pobrežia (TWh/rok)
Alžírsko	169 000	60
Líbya	140 000	500
Saudská Arábia	125 000	2 000
Egypt	74 000	500
Irak	29 000	60
Maroko	20 000	300
Omán	19 000	500
Sýria	10 000	0
Tunisko	9 200	350
Jordánsko	6 400	0
Jemen	5 100	390
Izrael	3 100	1
UAE	2 000	540
Kuwait	1 500	130
Španielsko	1 300	70
Katar	800	320
Portugalsko	140	7
Turecko	130	12
Spolu	620 000 (70 000 GW)	6 000 (650 GW)

Tabuľka 25.6 ukazuje odhady potenciálneho výkonu podľa plánu DESERTEC, ktorý by bolo možné vyrábať v krajinách Európy a v severnej Afrike. „Ekonomický potenciál“ je schopný zabezpečiť viac ako dosť z požadovaných 125 kWh za deň pre 1 miliardu ľudí. Celkový „potenciál pobrežia“ dokáže zabezpečiť 16 kWh za deň na osobu pre 1 miliardu ľudí.

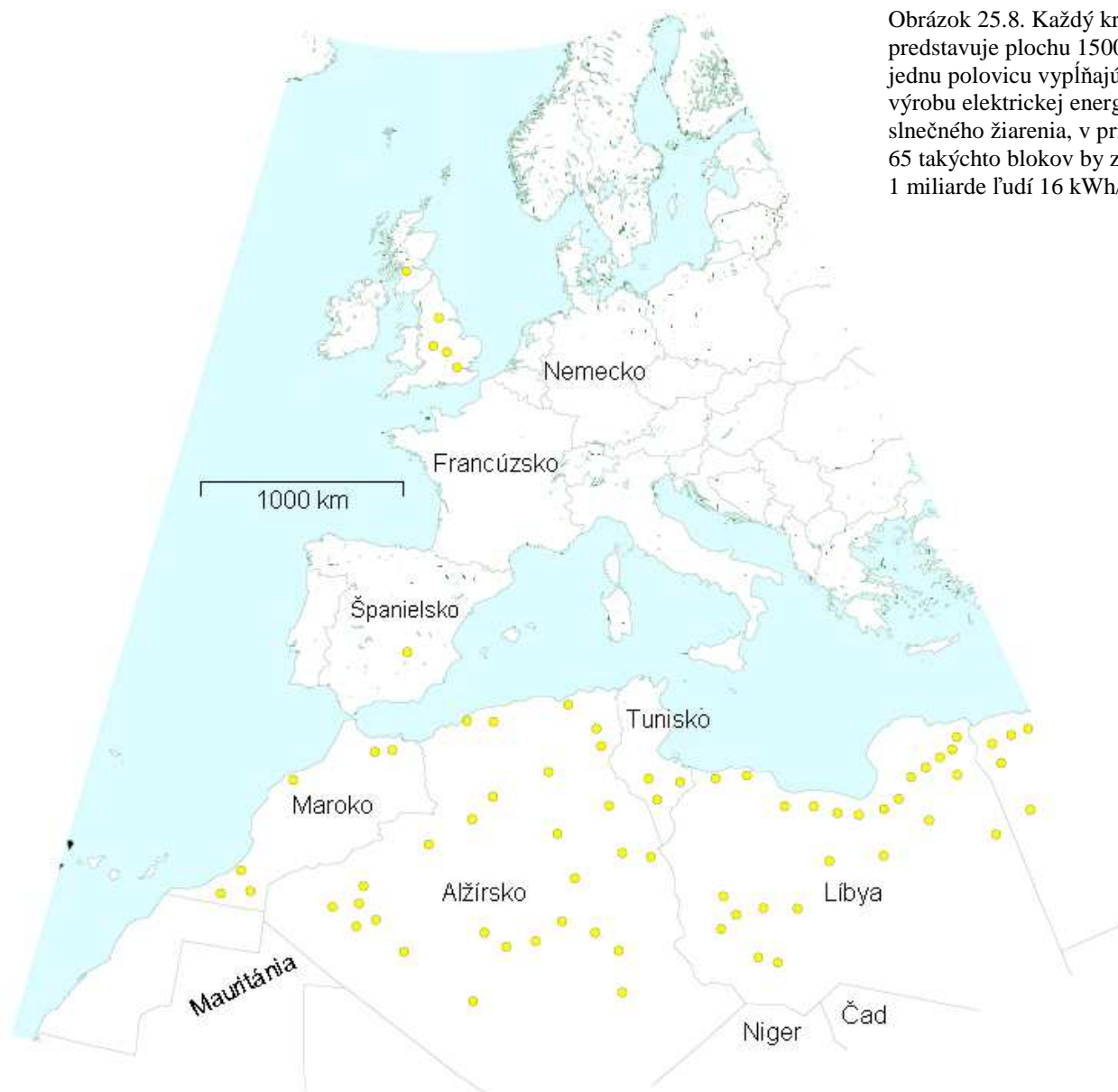
Skúsme znázorniť na mape, ako by mohol vyzeráť realistický plán. Predstavme si slnečné elektrárne s rozlohou 1500 km² – to je približne veľkosť Londýna. (Väčší Londýn má rozlohu 1580 km²; vnútorná rozloha obchvatu diaľnice M25 okolo Londýna má 2300 km².) Nazvime každé zariadenie „krúžok“. Ďalej si predstavme, že v každom z týchto krúžkov polovicu plochy zaberá koncentračná slnečná elektrárňa s priemernou hustotou výkonu 15 W/m², a časť miesta zostáva pre poľnohospodárstvo, budovy, železnice, cesty, potrubia a káble. So stratami výkonu pri prenose 10 % medzi elektrárnou a zákazníkom klesá hustota na 10 W/m². Obrázok 25.8 ukazuje krúžky na mape v skutočnej veľkosti. Aby sme mali predstavu rozlohy krúžku, pár som ich umiestnil aj do Británie. Štyri z nich by mali výkon rovný zhruba celkovej spotrebe elektriny Británie (16 kWh/deň na osobu pre 60 miliónov ľudí). Šesťdesiat päť krúžkov by poskytlo pre 1 miliardu ľudí v Európe a severnej Amerike 16 kWh/d na osobu. Obrázok 25.8 ukazuje 68 krúžkov v púšti.

Tabuľka 25.6. Potenciál slnečného výkonu v krajinách v blízkom okolí Európy. „Ekonomický potenciál“ je výkon, ktorý je možné vyrobiť na vhodných miestach, kde je normálna intenzita žiarenia 2000 kWh/m²/rok. Pobrežný potenciál je výkon, ktorý je možné vyrobiť v rozmedzí 20 (výškových) metrov od hladiny oceánu; takýto výkon je obzvlášť sľubný, pre potenciálnu kombináciu s odsolovaním.

Pre porovnanie, celkový požadovaný výkon 125 kWh za deň pre 1 miliardu ľudí je 46 000 TWh/rok (5200 GW). 6000 TWh/rok (650 GW) predstavuje 16 kWh za deň na osobu pre jednu miliardu ľudí.



Obrázok 25.7. Pokladanie vysoko napäťového DC spojenia medzi Fínskom a Estónskom. Dvojica týchto káblov prenáša výkon 350 MW. Fotografia: ABB.



Obrázok 25.8. Každý krížok predstavuje plochu 1500 km², z ktorej jednu polovicu vyplňajú zariadenia na výrobu elektrickej energie zo slnečného žiarenia, v priemere 10 GW. 65 takýchto blokov by zabezpečilo 1 miliardu ľudí 16 kWh/d na osobu.

Koncentračná fotovoltaika

Alternatívou ku koncentračnej tepelnej slnečnej energii v púšťach sú veľkoplošné koncentračné fotovoltaické systémy. Aby sme ich mohli vyrobiť, zameriame sa na vysoko kvalitné slnečné články vyrábajúce elektrinu pomocou lacných šošoviek alebo zrkadiel. Faiman a kol. (2007) hovoria, že “slnečná energia, koncentrovaná najrozličnejšími spôsobmi, dokáže pohodlne konkurovať fosílnym palivám [v púštnych štátoch, akým je Kalifornia, Arizona, Nové Mexiko a Texas] bez akejkoľvek potreby dotácií.”

Podľa Amonixu by takáto forma koncentrovaného slnečného výkonu mala priemerný výkon na plochu 18 W/m^2 .

Iný spôsob, ako získať predstavu o potrebnom zariadení, je vyjadrenie na osobu. Jeden z “25 kW” (maximum) článkov na obrázku 25.9 vyrába v priemere približne 138 kWh denne; životný štýl Američana dnes znamená spotrebu 250 kWh za deň na osobu. Takže aby sme zbavili fosílnych palív USA pomocou slnečnej energie, potrebujeme zhruba dva z týchto $15 \text{ m} \times 15 \text{ m}$ panelov na osobu.

Otázky

Som zmätený! V kapitole 6 ste povedali, že najlepšie fotovoltaické panely dodávajú v priemere 20 W/m^2 , a to na mieste ako je Británia, kde menej svieti slnko. Logicky by tie isté panely na púšti dodali 40 W/m^2 . Takže ako to, že elektrárne s koncentrovaným slnečným výkonom dodávajú iba $15\text{--}20 \text{ W/m}^2$? Ved' koncentrovaný výkon by mal byť ešte lepší ako obyčajné ploché panely.

Dobrá otázka. Krátka odpoveď je nie. Koncentrovaný slnečný výkon neznamená viac výkonu na jednotku plochy ako obyčajné ploché panely. Zariadenie pre koncentrovanie musí nasledovať Slnko, inak nebudú slnečné lúče nasmerované správne; len čo začnete po zemi rozkladať zariadenia pre koncentrovanie lúčov, musíte medzi nimi nechať medzery; veľa svetla týmito medzerami prejde a zostane nevyužitého. Dôvod, prečo sa dnes uprednostňuje koncentrovaný výkon pred obyčajným je ten, že panely sú drahšie ako zariadenia pre koncentrovanie lúčov. Úlohou ľudí, ktorí sa venujú koncentrovaniu, nie je zvyšovanie energetickej hustoty. Pôda je lacná (predpokladajú). Cieľ je vyrobiť čo najviac energie za investované peniaze.

Ale ak majú ploché panely vyššiu energetickú hustotu, prečo nehovoríte o tom, že by sme mali pokryť Saharu pomocou nich?

Pretože sa snažím diskutovať o praktických riešeniach pre veľkoplošnú výrobu výkonu z obnoviteľnej energie pre Európu a Severnú Afriku do roku 2050. Odhadujem, že do roku 2050 budú zrkadlá stále lacnejšie ako fotovoltaické panely, takže koncentračná slnečná technológia je tá, na ktorú by sme sa mali zamerať.



Obrázok 25.9. 25 kW (maximum) koncentračný fotovoltaický panel od kalifornského výrobcu spoločnosti Amonix. Jeho 225 m^2 obsahuje 5760 Fresnelových šošoviek s 260-násobnou optickou koncentráciou, z ktorých každá osvetľuje kremíkový článok s 25 % účinnosťou. Jeden takýto článok, na vhodnej lokalite na púšti, vyrobí denne 138 kWh – dosť pre pokrytie polovice spotreby energie priemerného Američana. Všimnite si človeka, pre znázornenie proporcie. Fotografia David Faiman.

A čo komínové elektrárne?

Komínové elektrárne alebo slnečné vzostupné veže využívajú slnečnú energiu veľmi jednoduchým spôsobom. Postaví sa obrovský komín v strede miesta zakrytého priehľadnou strechou zo skla alebo plastu; pretože teplý vzduch stúpa nahor, tak takto vytvorený teplý vzduch v skleníku prúdi hore komínom, a zároveň z okolia prichádza chladnejší vzduch. Energia sa získava z prúdenia vzduchu pomocou turbín v spodnej časti komína. Stavba komínových elektrární je pomerne jednoduchá, ale nezabezpečuje veľmi vysokú energetickú hustotu. Pilotný projekt v Manzanarese v Španielsku fungoval sedem rokov od roku 1982 do roku 1989. Komín mal výšku 195 m a priemer 10 m; kolektor mal priemer 240 m, a jeho strecha mala 6000 m² zo skla a 40 000 m² z priehľadného plastu. Vyrobil 44 MWh ročne, čo zodpovedá výkonu na plochu 0,1 W/m². Teoreticky, čím väčší kolektor a čím vyšší komín, tým sa dosahuje vyššia hustota výkonu. Inžinieri projektu v Manzanares dohadujú, že na lokalite so slnečným žiarením 2300 kWh/m² za rok (262 W/m²) by 1000 m vysoká veža, obklopená kolektorom s priemerom 7 km, dokázala vyrobiť 680 GWh za rok, teda v priemere výkon 78 MW. To znamená hustotu výkonu 1,6 W/m², čo je podobná hotnota ako dosahujú veterné elektrárne v Británii a asi desaťnásobne menej, ako by dodávali zariadenia na koncentrovanú slnečnú energiu. Tvrdí sa, že komínové elektrárne by dokázali vyrábať elektrinu pri cene porovnateľnej s klasickými fosílnymi elektrárnami. Domnievam sa, že krajiny, ktoré majú v zásobe dostatok pôdy a slnečného žiarenia, by mali vytvoriť prostredie pre konkurenčný boj medzi komínovými elektrárnami a koncentračnou fotovoltaikou, ktorý by zaplatili krajiny ťažiacie a spotrebúvajúce ropu.



Obrázok 25.10. Prototyp komínovej elektrárne v Manzanares. Fotografie od solarmillennium.de.

Čo tak získavať energiu z Islandu, kde je nadbytok geotermálnej energie a elektrickej energie z vody?

Áno, Island už dnes vyváža energiu tým, že poháňa priemysel, ktorý vyrába energeticky náročné výrobky. Island vyrába napríklad takmer jednu tonu hliníka na obyvateľa! Takže z pohľadu Islandu existujú veľké možnosti, ako vytvoriť zisk. Môže ale Island zachrániť Európu? Prekvapilo by ma, ak by výroba elektrickej energie na Islande mohla byť zvýšená natoľko, aby to mohlo znamenať výrazný vývoz čo i len pre samotnú Britániu. Ako príklad porovnajme britsko-francúzske prepojenie, ktoré dokáže zabezpečiť až do 2 GW cez Anglický kanál. Tento maximálny výkon zodpovedá 0,8 kWh za deň na osobu v Británii, čiže zhruba 5 % priemernej spotreby elektriny. Priemerná výroba geotermálnej elektrickej energie je iba 0,3 GW, čo je menej ako 1 % priemernej spotreby elektriny v Británii. Priemerná výroba elektriny na Islande je 1,1 GW. Takže pre vytvorenie spojenia, ktoré by malo kapacitu rovnakú ako spojenie s Francúzskom, by musel Island *strojnásobiť* svoju výrobu elektriny. Aby nám Island mohol poskytnúť 4 kWh za deň na osobu (teda zhruba toľko, ako si Británia zadováži z atómových elektrární), musel by svoju výrobu zvýšiť *desaťnásobne*. Pravdepodobne nie je zlá myšlienka vybudovať



Obrázok 25.11. Viac geotermálnej elektrickej energie na Islande. Fotografia Rossie Ward

prepojenie s Islandom, ale neočakávajme, že nám poskytne viac ako iba malý podiel našej spotreby.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

178 *Koncentrovaná slnečná energia na púšťach zabezpečuje v priemere na jednotku plochy približne 15 W/m².* Moje zdroje pre toto číslo sú dve spoločnosti vytvárajúce koncentrovanú slnečnú energiu na púšťach.

Podľa www.stirlingenergy.com jeden z jeho tanierových reflektorov s 25 kW Stirlingovým motorom v ohnisku dokáže vyrábať 60 000 kWh/rok, na vhodnej lokalite. Taniere je možné nahromadiť po jednom na plochu 500 m². To predstavuje priemerný výkon 14 W/m². Ďalej je podľa tejto spoločnosti Stirlingov slnečný tanier najlepším využitím plochy krajiny, čo sa týka množstva dodanej energie.

www.ausra.com používa ploché zrkadlá na ohrev vody na 285 °C a chod parnej turbíny. Pod tlakom zohriatu vodu je možné uskladniť podzemných nádržiach s kovovým obložením, čo umožňuje výrobu elektrickej energie aj v noci. Výrobcovia opisujúci „240 MW(e)“ elektrárne pre Austráliu (Mills a Liévre, 2004) tvrdia, že 3,5 km² zrkadiel by zabezpečilo 1,2 TWh(e), čo je 38 W/m² na plochu zrkadla. Aby sme zistili energetickú hustotu, musíme počítať aj s medzerami medzi zrkadlami. Podľa spoločnosti Ausra je potrebný štvorec 153 km × 153 km v púšti na zabezpečenie všetkej spotreby elektrickej energie v USA (Mills a Morgan, 2008). Celková spotreba elektriny v USA je 2600 TWh/rok, takže energetická hustota na jednotku plochy je 18 W/m². Táto technológia sa nazýva *kompaktný lineárny Fresnelov reflektor* (Mills a Morison, 2000; Mills a kol., 2004; Mills a Morgan, 2008). Mimochodom, radšej ako „koncentrovaný slnečný výkon“, spoločnosť Ausra uprednostňuje používať termín *slnečná termálna elektrina* (STE); zvyrazňujú tak výhody uskladňovania tepla, v kontraste s koncentračnou fotovoltaičkou, ktorá nemá takúto možnosť.

Trieb a Knies (2004), ktorí silno podporujú koncentrovaný slnečný výkon, určili, že alternatívne technológie využívajúce koncentrované slnečné zdroje majú výkony na jednotku plochy v nasledovnom rozsahu: parabolické žľaby, 14-19 W/m²; lineárny fresnelov kolektor, 19-28 W/m²; veža s heliostatmi, 9-14 W/m²; stirlingov tanier, 9-14 W/m².

Existujú tri európske demonštračné elektrárne na koncentrovaný slnečný výkon. Andasol – využíva parabolické žľaby; Solucar PS10, veža blízko Sevilly, a Solartres, veža využívajúca roztavenú soľ na uskladňovanie tepla. Systém parabolických žľabov Andasol na obrázku 25.4 by mal dodať 10 W/m². „11 MW“ veža Solucar má 624 zrkadiel, každé má 121 m². Zrkadlá koncentrujú slnečné žiarenie na hodnotu do 650 kW/m². Odberateľ získa maximálne 55 MW. Elektrárne dokáže uskladniť 20 MWh tepelnej energie, ktorá jej umožňuje fungovať aj keď je 50 minút zamračené. Podľa predpokladov mala vyrábať 24,2 GWh energie za rok na ploche 55 hektárov. To je priemerná hustota výkonu na plochu 5 W/m². (Zdroj: Výročná správa Abengoa 2003.) Solartres bude na ploche 142 hektárov a mal by vyrábať 96,4 GWh za rok; to je hustota výkonu 8 W/m². Andasol a Solartres budú obe využívať určité množstvo zemného plynu.



Obrázok 25.12. Dvaja inžinieri skladajúci koncentračnú slnečnú elektrárňu eSolar za použitia heliostatov (zrkadlá, ktoré sa otáčajú a nakláňajú za Slnkom). Esolar.com vyrába slnečné elektrárne strednej veľkosti: 33 MW (maximum) zariadenie na 64 hektároch. To je maximum 51 W/m², takže by som povedal, že na typickej lokalite na púšti by vyrobili približne jednu štvrtinu tohto množstva: 13 W/m².



Obrázok 25.13. Vysoko-napäťové zariadenie jednosmerného prúdu v Číne.

Fotografia: ABB.

179 Už dnes sa [HVDC] používa na prenos elektriny na vzdialenosti 1000 km v južnej Afrike, Číne, Amerike, Kanade, a Kongu. Zdroje: Asplund (2004), Bahrman a Johnson (2007). Ďalšie čítanie o HVDC: Carlsson (2002).

- *Straty výkonu na 3500 km dlhú vzdialenosť pomocou HVDC, vrátenie premeny zo striedavého prúdu na jednosmerný a naspäť, sú približne 15 %.* Zdroje: Trieb and Knies (2004); van Voorthuysen (2008).

182 Podľa Amonixu by takáto forma koncentrovaného slnečného výkonu mala priemerný výkon na plochu 18 W/m². Predpoklady z ktorých vychádza www.Amonix.com sú nasledovné: šošovky prepúšťajú 85 % svetla; články s účinnosťou 32 %; kolektor s účinnosťou 25 %; a 10 % ďalšie straty pre tienenie. Pomer apertúra/zem je 1/3. Normálna priama ožiarenosť je 2222 kWh/m²/rok. Pri maximálnom výkone očakávajú kapacitu 2000 kWh/rok (priemer 0,23 kW). Zariadenie s maximálnou kapacitou 1 GW by zaberalo 12 km² krajiny a dodávalo 2000 GWh za rok. To predstavuje 18 W/m².

- *Slnečné komíny.* Zdroje: Schlaich J (2001); Schlaich a kol. (2005); Denis (2006), www.enviromission.com.au, www.solarairpower.com.

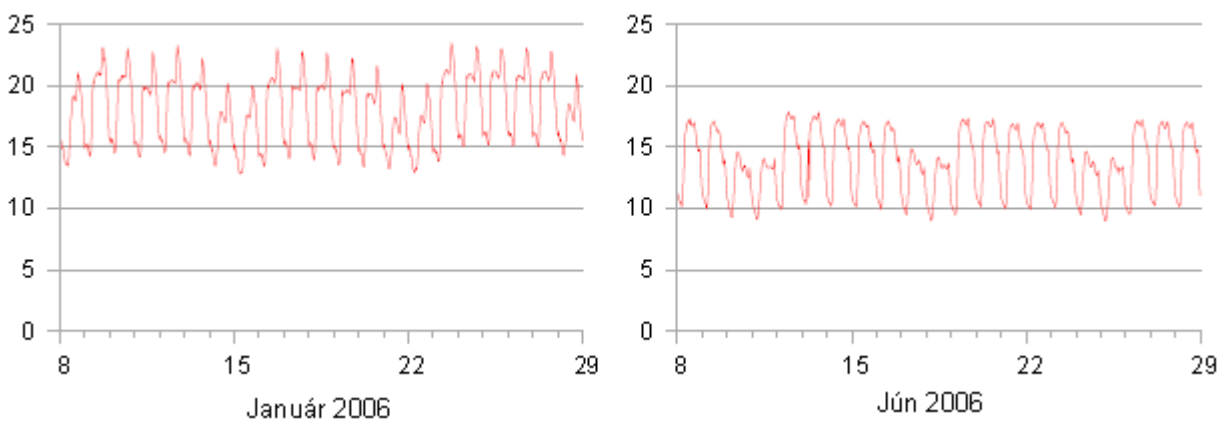
183 Priemerná výroba geotermálnej elektriny je iba 0,3 GW. Priemerná výroba elektriny na Islande je 1,1 GW. Toto sú štatistiky pre rok 2006: 7,3 TWh vodnej elektriny a 2,6 TWh geotermálnej elektriny, s kapacitou 1,16 GW, respektíve 0,42 GW. Zdroj: Orkustofnun National Energy Authority [www.os.is/page/energystatistics].

Ďalšie čítanie: Európska komisia (2007), German Aerospace Center (DLR) Institute of Technical Thermodynamics Section Systems Analysis and Technology Assessment (2006), www.solar Millennium.de.

26 Fluktuácie a uskladnenie energie

Vietor ako priama hybná sila je celkom nepoužiteľný na pohon strojov, pretože bezvetrie by celú krajinu vyradilo z prevádzky. Pred érou parných strojov sa veterné mlyny používali na vysušovanie lomov, avšak hoci išlo o silné zariadenia, ich výkon bol veľmi nepravidelný, takže v časoch dlhého bezvetria došlo k zaplaveniu mlynov a všetci robotníci prestali pracovať.

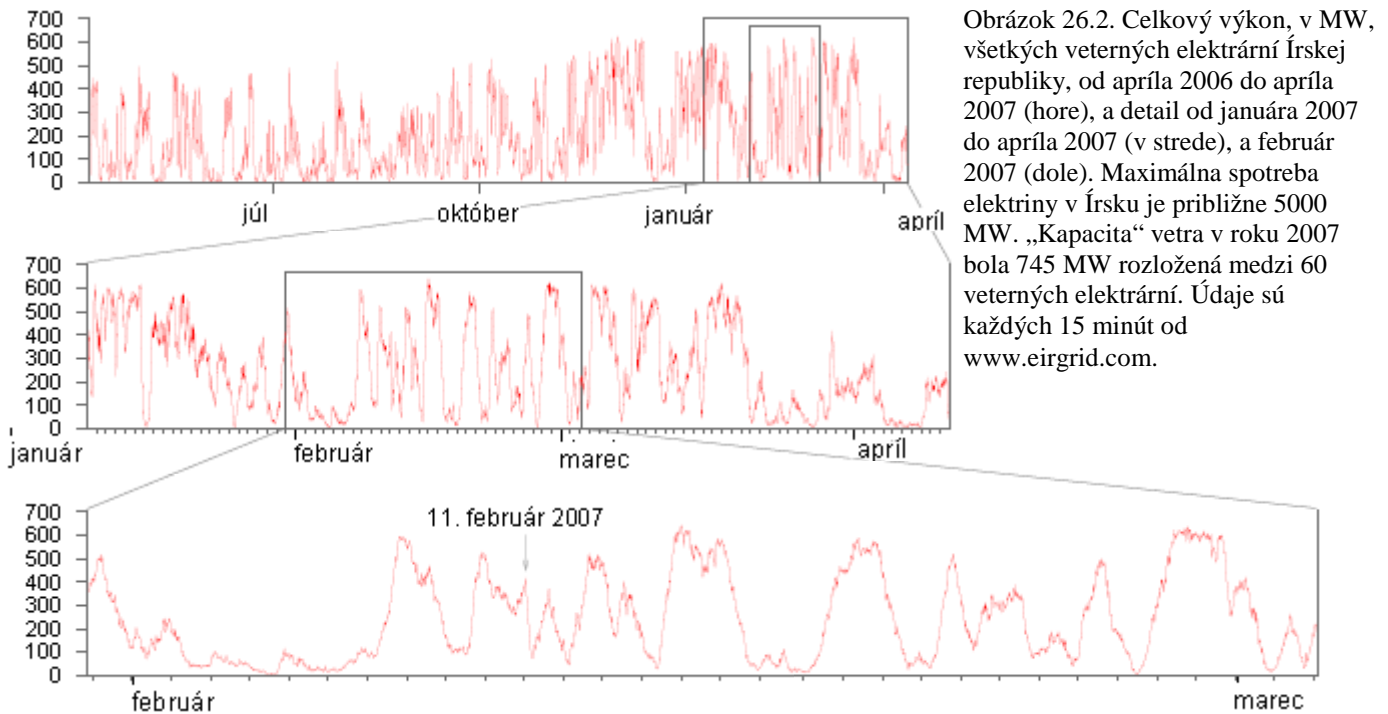
William Stanley Jevons, 1865



Ak sa zbavíme fosílnych palív a všetku energiu budeme získavať z obnoviteľných zdrojov, alebo všetku energiu z jadra, alebo z oboch týchto zdrojov, môžeme mať problém. Väčšina obnoviteľných zdrojov nie je ľubovoľne zapnutelná alebo vypnutelná. Keď fúka vietor a vychádza Slnko, zdroje sú dostupné; ale už možno o dve hodiny neskôr to nie je pravda. Jadrové elektrárne zväčša tiež nie sú konštruované pre rýchle spustenie alebo vypnutie. Väčšinou sú celý čas v prevádzke a ich výkon možno znížiť alebo zvýšiť až v priebehu hodín. To predstavuje problém, pretože z elektrickej siete musí byť po väčšinu času spotreba a výroba celý čas vyrovnaná. Elektrická sieť nedokáže *uskladňovať* energiu. Aby sme mali zmysluplný plán na každú hodinu a deň, *potrebujeme niečo ľahko zapnutelné a vypnutelné*. Vo všeobecnosti sa predpokladá, že to niečo ľahko zapnutelné a vypnutelné by malo byť *zdrojom* výkonu, ktorý je možno zapnúť a vypnúť, aby bolo možné kompenzovať výkyvy výroby vo vzťahu k spotrebe (ako je napríklad elektráreň na fosílnu palivo). Ale iný, rovnako účinný spôsob na vyrovnanie výroby a spotreby (alebo dopytu) by bola ľahko zapnutelná a vypnutelná spotreba - pohlcovanie elektrickej energie, ktoré je možné vypnúť a zapnúť ako mávnutím čarovného prúťiku.

V každom prípade to niečo ľahko zapnutelné a vypnutelné musí byť niečo *veľké*, pretože spotreba elektriny kolíše veľmi výrazne (obrázok 26.1). Dopyt sa niekedy významne mení v priebehu niekoľkých minút.

Obrázok 26.1. Dopyt po elektrine vo Veľkej Británii (v kWh/d na osobu) počas dvoch týždňov v zime a dvoch týždňov v lete v roku 2006. Vrcholy v januári sú o 18:00 každý deň. Viditeľný je 5 dňový pracovný týždeň počas leta a zimy. (Ak by ste chceli získať národný dopyt v GW, majte na pamäti 24 kWh/d na osobu, je to to isté ako 60 GW na úrovni Británie.)



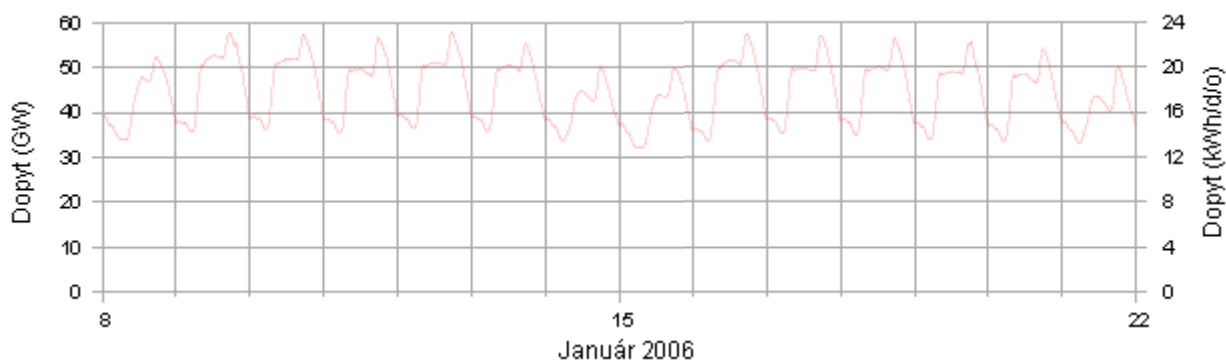
Táto kapitola sa zaoberá problémom, ako sa s takýmito výkyvmi v ponuke a spotrebe vyrovnáť bez fosílnych palív.

Aké sú výkyvy obnoviteľných zdrojov?

Akokoľvek milujeme obnoviteľné zdroje, nemôžeme sa tváriť, že nevidíme premenlivosť vetra.

Kritici veternej energie hovoria: „Výkon vetra je premenlivý a nepredpovedateľný, takže nemôže prispieť k bezpečným dodávkam; ak vyrobíme veľa výkonu z vetra, budeme musieť zapnúť veľa elektrární na fosílny pohon, aby nahradili vietor, ak nefúka.“ Titulky v štýle „Nedostatok vetra spôsobuje stav ohrozenia rozvodnej siete v Texase“ takýto záver podporujú. Zástancovia veternej energie tento problém zľahčujú: „Žiadne obavy, jednotlivé turbíny síce sú nestabilné, ale veľa turbín pokope a na rôznych miestach je nestabilných oveľa menej.“

Pozrime sa na skutočné údaje a snažme sa nájsť vyvážený pohľad na vec. Obrázok 26.2 znázorňuje celkovú dodávku výkonu veterných elektrární v Írsku od apríla 2006 do apríla 2007. Je zrejmé, že vietor je nestabilný aj v prípade, ak postavíme veľa turbín po celej krajine. Británia je o niečo väčšia ako Írsko, ale ten istý problém platí aj pre ňu. Medzi októbrom 2006 a februárom 2007 sa vyskytlo 17 dní, keď bol výkon 1632 veterných turbín menej ako 10 % ich kapacity. V tomto období bolo päť dní, keď bol výkon menší ako 5 % a jeden deň to bolo iba 2 %.



Obrázok 26.3. Dopyt po elektrine vo Veľkej Británii počas dvoch týždňov v zime roku 2006. Ľavé a pravé osy ukazujú dopyt jednotkách na úrovni krajiny (GW) na úrovni osoby (kWh/d na osobu). Ide o rovnaké údaje ako na obrázku 26.1.

Podme vyčíslit' výkyvy veternej energie na úrovni krajiny. Zásadné sú dva problémy; krátkodobé zmeny a dlhodobé obdobia pokoja. Nájďme najrýchlejšiu krátkodobú zmenu v Írsku. 11. februára 2007 poklesol výkon postupne zo 415 MW o polnoci na 79 MW o 4 hodine ráno. To je rýchlosť poklesu 84 MW za hodinu v krajine s množstvom turbín s inštalovaným výkonom 745 MW. (Rýchlosťou poklesu mám na mysli rýchlosť, akou dodaný výkon klesá, alebo rastie – sklon na grafe 11. februára.) Dobré: ak sa nám podarí vyrobiť v Británii z vetra 33 GW kapacity výkonu (takže v priemere dodáva 10 GW), možno očakávať, že občas sa vyskytne rýchlosť poklesu vo výkone

$$84 \text{ MW} / \text{h} \times \frac{33000 \text{ MW}}{745 \text{ MW}} = 3700 \text{ MW} / \text{h},$$

ak predpokladáme, že Británia je veľká ako Írsko. Takže musíme byť schopní buď zvýšiť náhradu výkonu za vietor na 3,7 GW za hodinu – to sú 4 jadrové reaktory zo stavu úplného vypnutia na plný výkon každú hodinu – alebo musíme byť schopní náhle znížiť našu spotrebu rýchlosťou 3,7 GW za hodinu.

Je možné tieto požiadavky vetra naplniť? Aby sme dokázali odpovedať, budeme musieť hovoriť viac o „gigawattoch.“ Gigawatty sú pre krajinu veľké jednotky výkonu. Pre krajinu znamenajú to isté, čo pre obyvateľa znamená kilowatthodina za deň: naša obľúbená jednotka. Priemerná spotreba elektriny v Británii je približne 40 GW. Toto číslo môžeme vziať k osobnej spotrebe: 1 kWh za deň na osobu znamená pre krajinu 2,5 GW. Takže ak každý človek spotrebuje 16 kWh elektriny denne, potom je národná spotreba 40 GW.

Je rýchlosť zmeny spotreby 4 GW za hodinu celkom mimo našu skúsenosť? Nie. Každé ráno, ako ukazuje obrázok 26.3, spotreba v Británii narastá o 13 GW medzi 6:30 a 8:30. To predstavuje rýchlosť zmeny 6,5 GW za hodinu. Takže naši elektroinžinieri sa už dnes musia každý deň vyrovnávať so zmenami rýchlosti dopytu v rozvodnej elektrickej sieti

väčšími ako 4 GW za hodinu. Dodatočná zmena 4 GW za hodinu pre zmeny vetra nie je dôvodom pre zamietnutie myšlienky veľkoplošných veterných elektrární. Je to rovnaký problém, aký sa inžinierom už podaril vyriešiť. Jednoducho potrebujeme vyriešiť to, ako zladiť neustále sa meniacu rovnováhu ponuky a spotreby v elektrickej sieti bez fosílnych palív. Nehovorím, že problém vetra je už vyriešený – je to len problém s rovnakou náročnosťou, aké sme už vyriešili.

Dobre, skôr ako začneme hľadať riešenia, potrebujeme kvantifikovať iný problém vetra: dlhodobé bezvetrie. Na začiatku februára 2007 zažilo Írsko bezvetrie v celej krajine trvajúce 5 dní. Nešlo o neobvyklú udalosť, ako je možné vidieť na obrázku 26.2. Bezvetria trvajúce 2-3 dni sa vyskytujú niekoľkokrát za rok.

Existujú dva spôsoby, ako sa s bezvetrím vyrovnáť. Buď môžeme energiu pred bezvetrím niekde uskladniť, alebo potrebujeme nájsť spôsob, ako znížiť spotrebu (alebo kombináciu týchto spôsobov.) Ak by sme mali 33 GW z veterných turbín v priemere dodávajúcich výkon 10 GW, potom množstvo energie, ktoré musíme pred päťdenným obdobím bezvetria uskladniť alebo vyrobiť je

$$10 \text{ GW} \times (5 \times 24\text{h}) = 1200 \text{ GWh.}$$

(Gigawatthodina (GWh) je jednotka, ktorú si krajiny zamilujú. Spotreba elektriny v Británii je zhruba 1000 GWh denne).

Pre znázornenie tohto množstva, uskladniť 1200 GWh pre krajinu znamená uskladniť 20 kWh na osobu. To by umožňovalo krajine existovať bez 10 GW elektriny po dobu 5 dní.

Ako sa vyrovnáť s bezvetrím a zmenami výkonu

Potrebujeme vyriešiť dva problémy – bezvetrie (dlhé obdobia s malým výkonom obnoviteľnej energie), a zmeny výkonu (krátkodobé zmeny buď v spotrebe alebo výrobe). Tieto problémy sme kvantifikovali pri predpoklade, že Británia bude vyrábať 33 GW z vetra. Aby sme sa vyrovnali s bezvetrím, musíme efektívne uskladniť zhruba 1200 GWh energie (20 kWh na osobu). Pri rýchlosti zmeny sa musíme vyrovnáť s **6,5 GW** za hodinu (alebo 0,1 kW za hodinu na osobu).

Existujú dve riešenia a obe je možné uplatniť na úrovni krajiny. Prvé riešenie je centralizované, druhé decentralizované. Pri prvom uskladňujeme energiu, a potom sa vyrovnávame s výkyvmi zapínaním a vypínaním *zdroja*, poháňaného uskladnenou energiou. Druhé riešenie funguje na princípe vypínania a zapínania *spotreby*.

Prvým riešením je *uskladnenie elektriny prečerpávaním*. To druhé využíva batérie *elektrických vozidiel*, ktoré sme prebrali v kapitole 20. Skôr ako opíšem tieto riešenia, pozrime sa na zopár iných nápadov, ako riešiť zmeny výkonu.

Iné spôsoby na strane ponuky ako sa vyrovnat' so zmenami výkonu

Niektoré z obnoviteľných zdrojov sú vypnutelné a zapnutelné. Ak by sme mali veľa výkonu z obnoviteľných zdrojov, ktorý bolo možné ľahko vypnúť alebo zapnúť, všetky problémy v tejto kapitole by zmizli. Krajiny ako Nórsko alebo Švédsko majú množstvo vodných elektrární, ktoré je možné vypnúť a zapnúť. Aké možnosti má Británia?

Po prvé, Británia má množstvo spaľovní na biomasu a odpad – tie môžu zohrávať úlohu, ktorú dnes zohrávajú elektrárne na fosílna palivá. Ak by tieto stanice boli konštruované pre rýchle vypínanie a zapínanie, znamenalo by to dodatočné náklady, rovnako ako v prípade nákladov fosílnych elektrární, ktoré pracujú len keď je potrebné: ich generátory by boli niekedy odstavené, a niekedy by pracovali dvojnásobne intenzívne; a väčšina generátorov nemá takú účinnosť, keď sa vypínajú a zapínajú, ako keď fungujú pri stálom výkone. Dobré, ak necháme bokom náklady, kľúčovou otázkou je koľko vypínateľných a zapínateľných zdrojov môžeme mať. Ak by sme spálili všetok komunálny odpad spolu s rovnakým množstvom poľnohospodárskeho odpadu, priemerná energia z týchto zdrojov by predstavovala 3 GW. Ak by sme postavili kapacitu rovnú *dvojnásobku* tohto výkonu, čím by spaľovne dodávali 6 GW, pričom by fungovali polovicu času pri plnom výkone 6 GW v čase vysokého dopytu, a boli by vypnuté v čase nízkeho dopytu. Tieto elektrárne by boli konštruované tak, aby ich bolo možné vypnúť a zapnúť za hodinu, a zvládli by tak zmenu výkonu 6 GW za hodinu – to je však maximum! Je to významný príspevok, ale nepostačuje, ak sa máme vyrovnat' s výkyvmi vetra s výkonom 33 GW.

Čo elektrina z vodných elektrární? Britské vodné elektrárne majú priemernú využiteľnosť 20 %, takže určite majú potenciál pre vypínanie a zapínanie. Ďalšou výbornou výhodou vodných elektrární je ich možnosť veľmi rýchleho vypínania a zapínania. Napríklad Glendoe, nová vodná elektráreň s inštalovaným výkonom 100 MW, bude schopná sa rozbehnúť za 30 sekúnd. To je rýchlosť zmeny výkonu 12 GW za hodinu iba pre jednu elektráreň! Dostatočne veľký počet vodných elektrární by teda mohol zvládnuť obrovské výkyvy veterných turbín. Hoci ich inštalovaný výkon v Británii dnes *nedostačuje* pre riešenie tohto problému (ak predpokladáme, že sa chceme vyrovnat' s výkyvmi vetra s výkonom 10 alebo 33 GW). Celková kapacita existujúcich vodných elektrární v Británii je približne iba 1,5 GW.

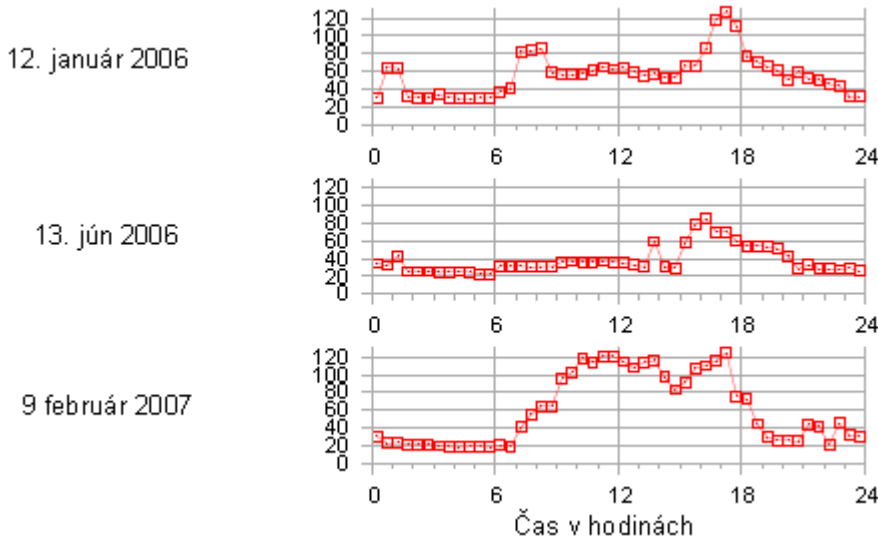
Takže jednoduché vypínanie a zapínanie iných obnoviteľných zdrojov v Británii fungovať nebude. Potrebujeme iné riešenia.

Uskladnenie elektriny prečerpávaním vody

Zriadenia na uskladnenie elektriny pomocou prečerpávacích vodných elektrární (PVE) využívajú lacnú elektrinu na prenos vody z nižšie položenej nádrže, do vyššie položenej nádrže; a potom elektrinu znovu

Stanica	výkon (GW)	šírka (m)	objem (milión m ³)	uskladnená energia (GWh)
Ffestiniog	0,36	320-295	1,7	1,3
Cruachan	0,40	365-334	11,3	10
Foyers	0,30	178-172	13,6	6,3
Dinorwig	1,80	542-494	6,7	9,1

Tabuľka 26.4. Zariadenia na uskladňovanie energie prečerpávaním v Británii. Maximálne množstvo uskladniteľnej energie v dnešných zariadeniach je približne 30 GWh.



Obrázok 26.5. Ako sa vyplatí uskladňovať energiu. Ceny elektriny v librách na MWh, v priebehu troch dní v roku 2006 a 2007.

vyrábajú, keď je potreba, za použitia turbín podobných tým, aké sú vo vodných elektrárňach.

Británia má štyri PVE, ktoré dokážu uskladniť 30 GWh (tabuľka 26.4, obrázok 26.6). Bežne sa používajú na uskladnenie nadbytočnej elektriny v noci, a cez deň ju vracajú späť, najmä v čase najvyššieho dopytu – je to výnosný obchod, ako ukazuje obrázok 26.5. Elektrárň v Dinorwigu – údivujúca katedrála v horách v Snowdonii – má tiež bezpečnostnú funkciu: má dostatok energie na rozbehnutie národnej siete v prípade veľkého výpadku. Dokáže naštartovať z nuly na výkon 1,3 GW za 12 sekúnd.

Dinorwig je kráľovnou medzi štyrmi PVE. Pozrime sa bližšie na jej parametre. Celková energia, ktorú tu možno uskladniť je približne 9 GWh. Jej horná nádrž je približne 500 m nad dolným jazerom, a objem vody 7 miliónov m³, ktorý tečie rýchlosťou 390 m³/s, umožňuje dodať 1,7 GW za 5 hodín. Účinnosť tohto systému je 75 %.

Ak by sme zapli všetky štyri PVE naraz, dokázali by vyrábať 2,8 GW výkonu. Možno ich zapnúť veľmi rýchlo, čím sa vyrovnajú s akýmkoľvek výkyvom vo výkone veterných turbín. Napriek tomu kapacita 2,8 GW nestačí nahradiť 10 alebo 33 GW veterného výkonu, ak by zrazu prestalo fúkať. Ani množstvo uskladnenej energie (30 GWh) nestačí pokryť požadovaných 1200 GWh pri dlhšom období bezvetria. Je možné kapacitu uskladňovania ešte zvýšiť? Dokážeme si predstaviť vyriešenie problému bezvetria len za pomoci uskladňovania elektriny prečerpávaním vody?



Obrázok 26.6. Llyn Stwlan, horná nádrž uskladňovacieho zariadenia Ffestiniog v severnom Wales. Uskladnená energia: 1,3 GWh. Fotografia: Adrian Pingstone.

Dokážeme uskladniť 1200 GWh?

Zaujíma nás výroba oveľa väčších zariadení na uskladňovanie elektriny, ktoré by dokázali uskladniť celkovo až 1200 GWh (približne 13 násobne viac ako Dinorwig). A táto kapacita by mala byť približne 20 GW – asi 10 násobne väčšia ako má Dinorwig. Takže tu je riešenie za použitia uskladňovania elektriny: musíme si predstaviť vybudovanie 12 nových zariadení, každé z nich by uskladnilo 100 GWh – asi 10 násobok energie uskladnenej v Dinorwigu. Zariadenia na prečerpávanie a výrobu elektriny v každej lokalite by boli také isté ako Dinorwig.

Pri predpoklade účinnosti generátorov 90 %, tabuľka 26.7 ukazuje niekoľko spôsobov ako uskladniť 100 GWh, pre rôzne rozsahy poklesov. (K pochopeniu fyziky nachádzajúcej sa „za“ týmito výpočtami pozri poznámky na konci kapitoly.)

Spôsoby uskladnenia 100 GWh		
pokles od hornej nádrže	potrebný objem (milión m ³)	Príklad veľkosti nádrže rozloha × hĺbka
500 m	80	2 km ² × 40 m
500 m	80	4 km ² × 20 m
200 m	200	5 km ² × 40 m
200 m	200	10 km ² × 20 m
100 m	400	10 km ² × 40 m
100 m	400	20 km ² × 20 m

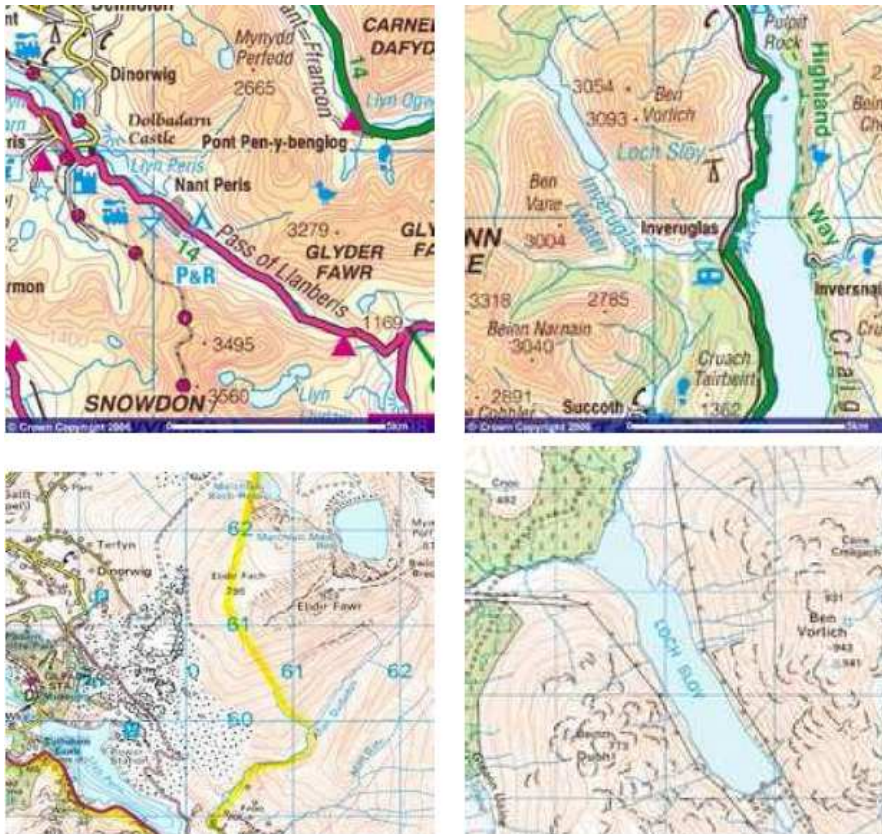
Tabuľka 26.7. Uskladňovanie elektriny prečerpávaním vody. Spôsoby, ako uskladniť 100 GWh. Na porovnanie s 2. stĺpcom, pracovný objem Dinorwigu je 7 miliónov m³, a objem jazera Windermere je 300 miliónov m³. Pre porovnanie s 3. stĺpcom, Rutland má rozlohu 12,6 km²; Grafham 7,4 km². Nádrž Carron valley má 3,9 km². Najväčšie jazero v Británii je Loch Lomond s rozlohou 71 km².

Je možné nájsť dvanásť vhodných lokalít? Určite by sme mohli postaviť len v Snowdonii niekoľko podobných zariadení ako je Dinorwig. Obrázok 26.8 ukazuje niekoľko alternatívnych lokalít blízko Ffestiogu, kde by bolo možné postaviť dve rovnaké zariadenia ako Dinorwig. O týchto lokalitách sa uvažovalo spolu s Dinorwigom v 70-tych rokoch, a zvíťazil Dinorwig.

Tabuľka 26.8. Alternatívne lokality na uskladňovanie energie v Snowdonii. Na oboch lokalitách by nižšie jazero predstavovalo novú umelú nádrž.

navrhovaná lokalita	výkon (GW)	šírka (m)	objem (milión m ³)	uskladnená energia (GWh)
Bowydd	2,40	250	17,7	12
Croesor	1,35	310	8,0	6,7

Zariadenia na PVE s významne vyššou kapacitou ako má Dinorwig by bolo možné postaviť v Škótsku vylepšením existujúcich vodných elektrární. Po preskúmaní mapy Škótska by jednou kandidátskou lokalitou mohlo byť jazero Loch Sloy ako horná nádrž a jazero Loch Lomond ako dolná nádrž. Už existuje malá vodná elektráreň, ktorá tieto jazerá spája. Obrázok 26.9 ukazuje tieto jazerá a jazerá v Dinorwigu na tej istej mierke. Výškový rozdiel medzi jazerom Loch Sloy a jazerom Loch Lomond je



Dinorwig je domovom PVE pre 9 GWh, kde horné jazero Marchlyn Mawr (615 VD, 620 SŠ) a dolné jazero Lynn Peris (590 VD, 598 SŠ) slúžia ako nádrže.

Loch Sloy znázorňuje typ lokality, kde by bolo možné vybudovať 40 GWh PVE.

približne 270 m. Rozloha jazera Loch Sloy je približne 1,5 km² a už teraz dokáže uskladniť 20 GWh energie. Ak by sa priehrada Loch Sloy navýšila o ďalších 40 m, potom by sa množstvo uloženej energie zdvihlo na 400 GWh – teda jednu tretinu z požadovaného množstva 1200 GWh, ku ktorému smerujeme.

Mohli by sme pre ďalšie lokality preskúmať mapu Británie. Najlepšie lokality by boli blízko veľkých veterných fariem. Jeden nápad by bolo vybudovať nové umelé jazero vo visutom údolí (naprieč ústím, z ktorého by bola vybudovaná priehrada) s okrajom nad hladinou mora a more by slúžilo ako nižšia nádrž.

Obrázok 26.9. Dinorwig, v Národnom Parku Snowdonia, pri porovnaní s Loch Sloy a Loch Lomond. Horné mapy ukazujú oblasť 10x10 km. Na dolných mapách vytvára modrá mriežka 1 km štvorce. Obrázky vyrobil Ordnance Survey's Get-a-map Service www.ordnancesurvey.co.uk/getamap. Obrázky zverejnené s povolením Ordnance Survey. © Crown Copyright 2006.





Obrázok 26.10. Jazerá v Škótsku s potenciálom pre uskladňovanie energie.

Ak budeme v netradičných úvahách pokračovať ďalej, môžeme si predstaviť inú cestu ako pomocou jazier a nádrží a umiestniť polovicu zariadenia do podzemia. Bol predložený návrh komory na uskladňovanie jeden kilometer pod Londýnom.

Postavením viacerých uskladňovacích zariadení by sme mohli zvýšiť maximálne množstvo uloženej energie z 30 GWh na 100 GWh alebo možno 400 GWh. Dosiagnúť želanú hodnotu 1200 sa však zdá byť veľmi ťažké. Našťastie, existuje iné riešenie.

Riadenie spotreby za pomoci elektrických áut

Zrekapitulujme naše požiadavky: radi by sme uložili alebo existovali bez 1200 GWh, čo predstavuje 20 kWh na osobu; potrebujeme sa vyrovnáť s výkyvmi v ponuke až do 33 GW – to predstavuje 0,5 kW na osobu. Tieto čísla sú ideálne podobné svojou veľkosťou požiadavkám energie a výkonu elektrických automobilov. Elektrické autá, ktoré sme videli v kapitole 20, uskladňovali medzi 9 kWh a 53 kWh. Vozový park 30 miliónov elektrických áut by uskladnil množstvo podobné 20 kWh na osobu! Typické nabíjačky bateriek odoberú výkon 2 alebo 3 kW. Takže ak naraz zapneme 30 miliónov nabíjačiek, znamenalo by to nárast dopytu približne 60 GW! Priemerný výkon potrebný pre pohon všetkej dopravy, ak by fungovala na elektrinu, je zhruba 40-50 GW. Existuje preto úzke zosúladenie medzi zavedením elektrických automobilov navrhovaných v kapitole 20 a vytvorením približne 33 GW kapacity veternej energie, ktorá by v priemere dodávala 10 GW.



Obrázok 26.11. Zariadenie PVE, ktorého nižšiu nádrž tvorí oceán. Uložená energia: 0,2 GWh. Fotografia J-Power. www.ieahydro.org.

Tu je jeden spôsob, ako možno toto zosúladenie využiť: elektrické autá by sa dali nabíjať inteligentnými nabíjačkami, doma alebo v práci. Tieto nabíjačky by reagovali na cenu elektriny, ako aj na požiadavky užívateľa auta (napríklad, „moje auto musí byť plne nabité v pondelok ráno do 7:00“). Nabíjačka by uspokojila potreby užívateľa využívaním elektriny vždy, keď fúka vietor, a pri bezvetrí, alebo pri zvýšenom dopyte z iných oblastí, by sa vypínala. Inteligentné nabíjačky by znamenali užitočnú službu v balansovaní ponuky a dopytu v sieti, službu, ktorú by bolo možné finančne ohodnotiť.

Mohli by sme mať obzvlášť vhodné riešenie, ak by akumulátory áut boli vymeniteľné. Predstavte si, že prídete do „čerpaciej“ stanice, a vymeníte vybité akumulátory za nabité; bolo by možné to uskutočňovať v presnom načasovaní, zapínajú a vypínajú nabíjačky tak, že celkový dopyt a ponuka by zostali stále v rovnováhe. Používanie vymeniteľných akumulátorov je obzvlášť vhodné riešenie, pretože by mohli byť milióny voľných akumulátorov na skladoch čerpacích staníc. Tieto voľné akumulátory by slúžili ako dodatočný tlmič, ktorý by nám pomohol vysporiadať sa s bezvetrím. Niektorí ľudia hovoria, „Horror! Ako môžem dôverovať čerpacím staniciam, že sa postarajú o moju baterku? Čo ak mi ju vymenia za nekvalitnú?“ Ale rovnako tak by ste sa mohli opýtať dnes: „Čo ak mi na čerpacjej stanici dajú benzín zmiešaný s vodou?“ Osobne by som radšej používal vozidlo udržiavané odborníkom, ako nemechom, ako som ja!

Zrekapitulujme naše možnosti. Môžeme vyrovnáť výkyvy medzi dopytom a nevyrovnanou ponukou zapínaním a vypínaním *generátorov* (napríklad spaľovne odpadov a vodné elektrárne); *uskladňovaním* energie niekde a jej výrobou, keď je potreba; alebo zapínaním a vypínaním *dopytu*.

Najsľubnejšou z týchto možností, čo sa týka rozsahu, sa zdá byť zapínanie a vypínanie dopytu nabíjaním elektromobilov. 30 miliónov áut, každé s 40 kWh batériou (z ktorých niektoré by čakali na vymenenie v čerpacích staniciach) znamená 1200 GWh. Ak by bola elektrifikovaná aj nákladná doprava, uskladňovacia kapacita by bola ešte vyššia.

Existuje tak výborná zhoda medzi výkonom vetra a elektrickými vozidlami. Ak zapojíme elektrické vozidlá v rovnakom čase ako sa zapína vietor, zhruba 3000 nových vozidiel na každú 3 MW veternú turbínu, a ak zabezpečíme, že nabíjacie systémy pre autá budú inteligentné, táto synergia by na dlho vyriešila problém fluktuácií vetra. Ak sú moje predpovede o vodíkových automobiloch nesprávne, a ukážu sa nakoniec ako nízko-energetické automobily budúcnosti, potom vietor v spojení s elektrickými automobilmi, ktoré som práve opísal, by mohlo nahradiť spojenie vetra a vodíkových automobilov. Veterné turbíny by vyrábali elektrinu; a kedykoľvek by bolo dostatok elektriny, vodík by sa vyrábal a uskladňoval v nádržiach pre neskoršie použitie v automobiloch alebo iných aplikáciách, napríklad pri výrobe skla.

Iné spôsoby riadenia spotreby a uskladňovania elektriny

Existuje ešte niekoľko iných možností riadenia spotreby a uskladňovania elektriny, na ktoré sa bližšie pozrieme.

Myšlienka upravovať rýchlosť výroby tak, aby sa zhodovala s výrobou elektriny z obnoviteľných zdrojov, nie je nová. Mnoho tovární na výrobu hliníku sa nachádza pri vodných elektrárňach; čím viac prší, tým viac hliníku sa vyrába. Kdekoľvek sa elektrická energia použije na výroby, v ktorých ju možno uskladniť, existuje potenciál pre vypínanie a zapínanie tejto výroby inteligentným spôsobom. Napríklad systémy reverznej osmózy (ktoré vyrábajú z morskej vody sladkú – pozri stranu 92) sú hlavnými spotrebiteľmi elektrickej energie v mnohých krajinách (hoci v Británii nie). Iný uskladniteľný produkt je teplo. Ak by sme elektrifikovali ohrev a chladenie budov, tak ako uvažujeme v kapitole 21, obzvlášť ohrev vodou a vzduchom, potom existuje potenciál zapojiť do siete významné množstvo ľahko vypniteľného a zapniteľného dopytu po výkone. Dobre zaizolované budovy udržia teplo veľa hodín, takže existuje vysoká voľnosť v načasovaní ich vykurovania. Navyše by sme mohli zahrnúť veľké zásobníky tepla do budov, a používať tepelné čerpadlá na čerpanie tepla z a do týchto zásobníkov v čase nadbytku elektriny; a potom používať druhú sadu čerpadiel na prenos tepla alebo chladu zo zásobníkov na miesta, kde je potrebný ohrev ale chladenie.

Automatická kontrola spotreby elektriny by bola jednoduchá. Najjednoduchší spôsob, ako to uskutočniť je, aby spotrebiče ako chladničky a mrazničky reagovali na frekvenciu siete. Pri nedostatku činného výkonu v sieti frekvencia siete klesá pod štandardnú hodnotu 50 Hz; keď je elektriny nadbytok, frekvencia sa zvyšuje nad 50 Hz. (Je to podobné ako dynamo na bicykli: keď zapnete svetlo, musíte šliapať viac pre dosiahnutie vyššieho výkonu, ak nechcete, aby bicykel spomalil.) Chladničky možno upraviť tak, aby ich termostat reagoval na výkyvy frekvencie siete, a to dokonca bez toho, aby sa zmenila teplota vášho masla.

Dokáže riadenie dopytu poskytnúť významný príspevok virtuálneho uskladňovania elektriny? Aké množstvo výkonu dokážu ovplyvniť chladničky Británie? Typická chladnička a mraznička spotrebúva v priemere 18 W; predpokladajme, že chladničiek je 30 miliónov. Takže možnosť vypnúť všetky chladničky v krajine na pár minút by predstavovalo 0,54 GW automaticky nastaviteľného výkonu. Je to pomerne veľa elektrického výkonu – viac ako 1 % z celkového množstva – a je to podobné ako náhly nárast v dopyte, ktorý vzniká, ak sa ľudia hromadne zjednotia pri tradičných rituáloch (ako je napríklad sledovanie seriálu EastEnders) a zapnú svoje kanvice. Takýto „televízny nápor“ v priemere znamená nárast spotreby o 0,6-0,8 GW. Automatické vypnutie každej chladničky by *takmer* pokrylo tieto denné skoky synchronizovaného varenia vody v kanvicách. Takéto inteligentné chladničky by takisto mohli pomôcť vyrovnať sa s krátkodobými výkyvmi vo výkone vetra. Televízne

nápory, spojené so sledovaním obľúbených programov (napríklad sledovanie futbalového zápasu Anglicka proti Švédsku) môžu spôsobiť náhly nárast spotreby o viac ako 2 GW. Pri takých udalostiach sa spotreba a ponuka udrží v rovnováhe za pomoci výkonu Dinorwigu.

Aby boli dispečeri riadiaci elektrickú rozvodnú sieť dostatočne flexibilní, mnoho priemyselných odberateľov elektriny má špeciálne zmluvy, ktoré dispečerom umožňujú na krátky čas zastaviť odber elektriny. V Južnej Afrike (kde sú výpadky elektriny časté) sa inštalujú systémy riadenia spotreby v tisícach domov, aby bolo možné kontrolovať odber elektriny klimatizáciami a elektrickými ohrievačmi vody.

Dánsky recept

Ako sa vyrovnáva s nespoľahlivosťou veternej elektriny Dánsko? Dáni platia za používanie vodných elektrární v iných krajinách na uskladňovanie elektriny. Takmer všetok výkon vetra Dánsko exportuje do susedných európskych krajín, z ktorých niektoré majú výkon z vodných elektrární, ktoré môžu vypínať, keď je potreba. Tento ušetrený výkon z vodných elektrární potom Dánom predávajú (za vyššiu cenu) v čase slabého vetra a vysokého dopytu. Celkovo prispieva dánsky vietor užitočnou elektrinou, a systém ako celok je veľmi bezpečný vďaka kapacite vodných elektrární.

Mohla by si Británia vziať vzor z Dánska? Potrebovali by sme priame veľkokapacitné spojenie s krajinami s významnou kapacitou zapnuteľnej a vypnuteľnej vodnej elektriny; alebo veľké spojenie s európskou elektrickou sieťou.

Nórsko má 27,5 GW kapacity elektriny z vody. Švédsko má zhruba 16 GW. Island má 1,8 GW. V roku 2003 sa navrhovalo 1,2 GW vysokonapäťové spojenie jednosmerného prúdu do Nórska, ale nevybudovalo sa. Spojenie do Holandska – konektor BritNed, s kapacitou 1 GW, je naplánované na rok 2010. Kapacita vetra v Dánsku je 3,1 GW a má 1 GW spojenie s Nórskom, 0,6 GW so Švédskom, a 1,2 GW s Nemeckom, a celková exportná kapacita je 2,8 GW, podobná výkonu vetra. Aby mohla Británia exportovať všetok svoj výkon z vetra (predpokladaných 33 GW), podobne ako Dánsko, potrebovala by 10 GW spojenie s Nórskom, 8 GW so Švédskom, a 1 GW s Islandom.

Riešenie dvoch sietí

Viac ako 25 rokov (od roku 1982) mali škótske Fair Isle (70 obyvateľov, rozloha 5,6 km²) dve elektrické siete, ktoré distribuovali výkon z dvoch veterných turbín a pokiaľ to bolo potrebné, z elektrického generátora na naftový pohon. Sieť má štandardný servis a elektrické ohrievanie zabezpečuje nadbytočná elektrina z veterných turbín, ktorá by inak zostala nevyužitá. Na frekvenciu citlivý, programovateľný vysielateľ s diaľkovým ovládaním kontroluje jednotlivé ohrievače vody a akumulčné kachle v jednotlivých budovách komunity. Frekvencia v sieti sa používa na



Vietor: 4,1	Ohrev: 2,5
Nafta: 1,8	Ostatné: 2,9

Obrázok 26.12. Výroba a spotreba elektriny na Faerských ostrovoch, 1995-96. Všetky čísla sú v kWh/d na osobu. Výroba prevyšuje spotrebu pretože 0,6 kWh/d na osobu zostalo nevyužitých.

informovanie ohrievačov, kedy sa môžu zapnúť. Celkovo na jednu domácnosť pripadá až šesť frekvenčných kanálov, takže systém obsahuje sedem sietí. Faerské ostrovy takisto úspešne odskúšali uskladňovacie zariadenie kinetickej energie (zotrvačník), ktoré počas výkyvov vetra dokáže uskladniť energiu v časovom rozmedzí 20 sekúnd.

Elektromobily ako generátory

Ak by bolo možné v čase nedostatku elektriny v krajine použiť 30 miliónov nabitých elektrických automobilov pre doplnenie elektriny do siete, pri 2 kW na auto, mali by sme potenciálny zdroj 60 GW – podobný kapacite všetkých elektrární v krajine. Dokonca ak by sa zapojila čo len tretina vozidiel a prispela 2 kWh energie – čo zodpovedá možno 20 % celkovej kapacity batérie – potom by celkové množstvo energie dosiahlo 20 GWh – dvojnásobok uskladňovacej kapacity elektrárne Dinorwig.

Iné technológie uskladňovania elektriny

Existuje mnoho spôsobov, ako uskladniť energiu a mnoho kritérií, na základe ktorých sa tieto riešenia hodnotia. Obrázok 26.13 ukazuje tri z najdôležitejších kritérií: energetickú hustotu (koľko energie sa uloží na jeden kilogram zariadenia); účinnosť (aký podiel uloženej energie sa získa späť); a životnosť (koľko cyklov uskladnenia energie je možné uskutočniť, než je treba celý systém obnoviť). Iné dôležité kritéria sú: maximálna rýchlosť, ktorou je možné energiu čerpať do alebo z uskladňovacieho systému, často vyjadrenej ako výkon na kg; čas trvania, počas ktorého zostane energia v systéme uskladnená; a samozrejme náklady a bezpečnosť systému.

Zotrvačníky

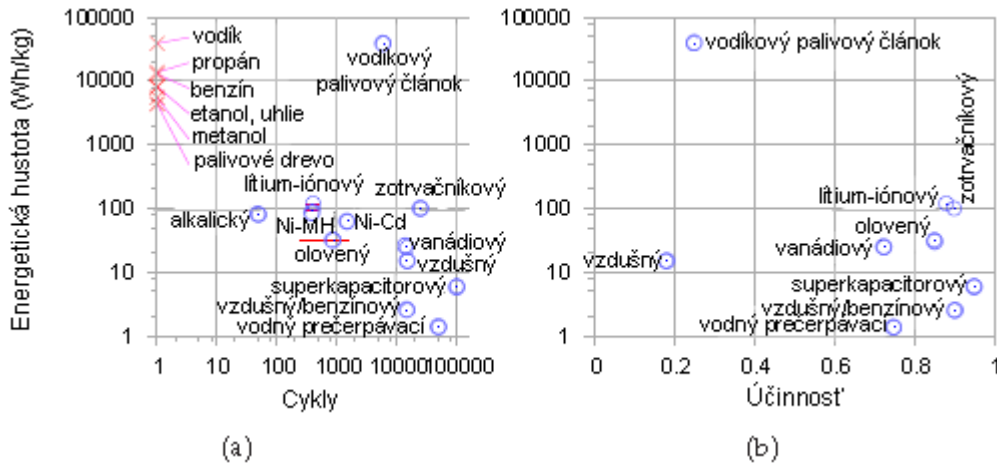
Obrázok 26.15 ukazuje obrí zotrvačník, ktorý sa využíva na dodávanie krátkych náporov výkonu až do 0,4 GW pre pohon experimentálneho zariadenia. Má hmotnosť 800 ton. Pri 225 obrátkach za minútu dokáže uskladniť 1000 kWh a jeho energetická hustota je 1 Wh na kilogram.

Systém zotrvačníkov pre uskladňovanie energie v závodnom aute dokáže uložiť 400 kJ (0,1 kWh) energie a má hmotnosť 24 kg (strana 126). To je energetická hustota 4,6 Wh na kg.

Vysokorýchlostné zotrvačníky vyrobené zo zložených materiálov majú energetickú hustotu až o 100 Wh/kg.



Obrázok 26.15. Jeden z dvoch zotrvačníkov vo výskumnom centre v Culhame, v štádiu konštrukcie. Fotografia: EFDA-JET. www.jet.edfa.org.



Obrázok 26.13. Niektoré vlastnosti systémov uskladňovania a palív. (a) Energetická hustota (na logaritmickej mierke) oproti životnosti (počet cyklov). (b) Energetická hustota oproti účinnosti. Energetické účinnosti nezahŕňajú hmotnosti nádrží energetických systémov, okrem „vzduchu“ (uskladňovanie stlačeným vzduchom). Ak zoberieme do úvahy váhu kryogenickej nádrže pre uskladňovanie vodíka, jeho energetická hustota klesá z 39 000 Wh/kg na zhruba 2400 Wh/kg.

palivo	kalorická hodnota	
	(kWh/kg)	(MJ/l)
propán	13,8	25,4
benzín	13,0	34,7
dieselový olej (DERV)	12,7	37,9
kerozén	12,8	37
vykurovací olej	12,8	37,3
etanol	8,2	23,4
metanol	5,5	18,0
bioetanol		21,6
uhlie	8,0	
palivové drevo	4,4	
vodík	39	
zemný plyn	14,85	0,04

(a)

Tabuľka 26.14. (a) Kalorické hodnoty (energetické hustoty, na kg a na liter) niektorých palív (v kWh na kg a MJ na liter). (b) Energetické hustoty niektorých batérií (vo Wh na kg). 1 kWh = 1000 Wh.

typ baterky	energetická hustota	životnosť
	(Wh/kg)	(cykly)
nikel-kadmiová	45-80	1500
NiMH	60-120	300-500
olovená	30-50	200-300
lítium-iónová	110-160	300-500
lítium-iónový polymér	100-130	300-500
recyklovateľná zásada	80	50

(b)

Superkondenzátory

Superkondenzátory sa používajú pre uskladnenie malých množstiev elektrickej energie (do 1 kWh) tam, kde je potrebných veľa nabíjacích cyklov a nabíjanie musí byť ukončené rýchlo. Superkondenzátory sa uprednostňujú pred baterkami napríklad pri obnovovaní bŕzd vozidiel, ktoré sa často rozbiehajú a zastavujú. V obchodoch možno dostať superkondenzátory s energetickou hustotou 6 Wh/kg.

Americká spoločnosť EESstor tvrdí, že dokáže vyrobiť oveľa lepšie superkondenzátory s použitím titaničitanu barnatého a energetickou hustotou 280 Wh/kg.

Vanádiové redoxné batérie

VRB systémy zabezpečujú uskladnenie 12 MWh energie z veterného parku Sorne Hill v Írsku, ktorého súčasná kapacita sa zvýšila z „32 MW,“ na „39 MW.“ (VRB je skratka pre vanádiové redoxné batérie.) Tento spôsob uskladnenia je veľká „redoxná batéria,“ redoxný nabíjateľný palivový článok s niekoľkými nádržami plnými vanádia v rozličných chemických stavoch. Tento uskladňovací systém dokáže vyrovnať výkon veternej elektrárne v minútach, ale najdlhší čas, aký dokáže dodávať jednu tretinu kapacity (pri bezvetří) je jedna hodina.

1,5 MWh vanádiový systém s cenou 480 000 dolárov sa rozprestiera na ploche 70 m² a celkovou hmotnosťou 107 ton. Vanádiové redoxné batérie možno počas života nabiť až 10 000-krát. Je možné ich zároveň nabíjať a vybíjať (na rozdiel od olovnatých akumulátorov, ktoré sa musia nabíjať 5-krát pomalšie). Ich účinnosť je 70-75 %. Pre uskladnenie 20 kWh je potreba objem približne 1 m³ 2-molárneho roztoku vanádia v kyseline sírovej (to je 20 Wh/kg).

Takže pre uskladnenie 10 GWh je potreba 500 000 m³ (170 bazénov) – napríklad nádoby 2 m vysoké na ploche 500 m × 500 m.

Rozšírenie tejto technológie pre dosiahnutie kapacity 10 GWh by mohlo mať dopad na svetový trh s vanádiom, ale dlhodobý nedostatok vanádia nehrozí. Súčasná výroba vanádia je 40 000 ton ročne. Pre uskladnenie 10 GWh by bolo potreba 36 000 ton vanádia – teda asi ročná výroba dnes. Vanádium sa v súčasnosti vyrába ako vedľajší produkt pri inej výrobe, celkové zásoby vanádia sa odhadujú na 63 miliónov ton.

„Ekonomické“ riešenia

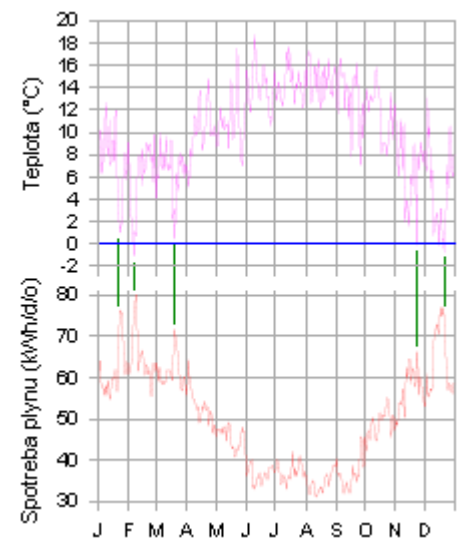
V súčasnom svete, ktorý nespoplatňuje znečisťovanie uhlíkom, umožňuje finančná bariéra, ktorú musí systém uskladňovania energie prekročiť, veľmi nečistú alternatívu: uskladňovanie možno nahradiť jednoducho ďalšou elektrárnou na plynový pohon, ktorá vyrovná dodatočnú spotrebu a nadbytočnú elektrickú energiu použije pre ohrievače.

Sezónne výkyvy

Najdlhšie výkyvy v ponuke a dopyte sú tie sezónne. Najdôležitejšie výkyvy sa týkajú vykurovania domov, ktoré cez zimu narastá. Súčasný dopyt po zemnom plyne v Británii v priebehu roku kolíše z priemernej hodnoty 36 kWh/d na osobu v júli a auguste na 72 kWh/d na osobu od decembra do februára, s extrémami 30-80 kWh/d/o (obrázok 26.16).

Niektoré z obnoviteľných zdrojov takisto podliehajú ročným výkyvom – slnečná energia je intenzívnejšia v lete a veterná energia je slabšia.

Ako sa vyrovnáť s týmito dlhodobými výkyvmi? Elektrické automobily a uložená energia v priehradách pri uskladnení takéhoto



Obrázok 26.16. Teplota (horný graf) a spotreba plynu (nižší graf) v Británii v roku 2007.

množstva nepomôžu. Užitočnou technológiou bude nepochybne dlhodobé uskladnenie tepla. Veľká skala alebo veľká nádrž vody dokáže uskladniť teplo, ktoré spotrebuje budova za jednu zimu – kapitola E rozoberá túto myšlienku podrobnejšie. V Holandsku sa teplo vznikajúce v lete nad cestami uskladňuje v nádržiach až do zimy a dodáva sa do budov pomocou tepelných čerpadiel. [2wmuw7].

Poznámky

Strana číslo

187 *Celková dodávka výkonu z veterných elektrární v Írsku. Údaje z eirgrid.com [2hxf6c].*

- „*Nedostatok vetra spôsobuje stav ohrozenia rozvodnej siete v Texase*“. [2199ht] V skutočnosti som novinový článok o tejto udalosti, hoci neobvyklej, pochopil tak, že išlo o *normálne* fungovanie siete. Sieť má veľkoodberateľov, pre ktorých sú dodávky prerusiteľné, v prípade narušenia rovnováhy dopytu a ponuky. Výkon vetra klesol o 1,4 GW v čase keď vzrástol dopyt o 4,4 GW a vzniklo presne také narušenie. Prerusiteľné dodávky boli prerušené. Všetko fungovalo tak ako malo.

Iný príklad, kde by pomohlo lepšie plánovanie energetického systému: „Výkon vetra v Španielsku dosiahol rekord, bolo nariadené odstavenie.“ Priemerná spotreba elektriny v Španielsku je 31 GW. V utorok 4. marca 2008 dodávali generátory 10 GW. „Španielska energetika sa stala obzvlášť citlivá na výkyvy vetra.“

- „*Žiadne obavy, jednotlivé turbíny sú síce nestabilné, ale veľa turbín spolu a na rôznych miestach sú nestabilné oveľa menej.*“ Pozri napríklad internetovú stránku yes.2wind.com a na stránke „vyvrátenie mýtu, že veternej energia je nespoľahlivá“ sa dozviete, že „výkyvy vo výkone veternej elektrárne rozloženej po celej krajine sú ťažko pozorovateľné.“ www.yes2wind.com/intermittency_debunk.html.
- *...vietor je nestabilný aj v prípade, ak postavíme veľa turbín po celej krajine. Británia je o niečo väčšia ako Írsko, ale ten istý problém platí aj pre ňu.* Zdroj: Oswald a kol. (2008).

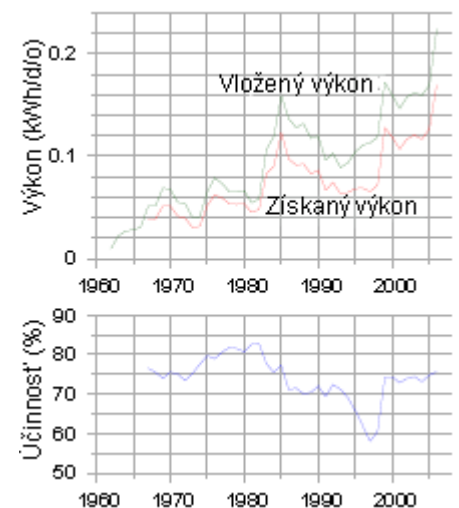
191 *Účinnosť tohto uskladňovania (v Dinorwigu) je 75 %.* Obrázok 26.17 ukazuje údaje. Ďalšie informácie o Dinorwigu a iných miestach pre PVE: Baines a kol. (1983, 1986).

192 *Tabuľka 26.7.* Objem potrebný pre uskladňovanie, V , sa počíta z poklesu výšky h nasledovne. Ak ϵ je účinnosť premeny potenciálnej energie na elektrinu, tak

$$V = 100 \text{ GWh} / (\rho g h \epsilon),$$

Kde ρ je hustota vody a g je gravitačné zrýchlenie. Predpokladal som, že účinnosť generátorov je $\epsilon = 0,9$.

- *Tabuľka 26.8, Alternatívne lokality pre zariadenia na prečerpávanie energie.* Navrhovaná horná nádrž pre Bowydd bola Llyn Newydd, súradnice SH 722 470; pre Croesor: Llyn Cwm-y-Foel, SH 653 466.



Obrázok 26.17. Účinnosť štyroch uskladňovacích zariadení v Británii.

193 Ak by sa priehrada Loch Sloy navýšila o ďalších 40 m, potom by sa množstvo uloženej energie zdvihlo na 400 GWh. Tento hrubý odhad potvrdzuje aj štúdia z univerzity Strathclyde [5o2xgu], ktorá zhŕňa 14 lokalít s celkovou odhadovanou kapacitou uskladňovania 514 GWh.

196 Chladničky možno upraviť tak, aby ich termostat reagoval na výkyvy frekvencie siete. [2n3pmb]. Ďalšie odkazy: Dynamický dopyt www.dynamicdemand.co.uk; www.rltec.com; www.responsiveload.com.

197 V Južnej Afrike... sa inštalujú systémy riadenia spotreby. Zdroj: [2k8h4o].

- Takmer všetok výkon vetra Dánsko exportuje do susedných európskych krajín. Zdroj: Dharman (2005).

198 Viac ako 25 rokov (od roku 1982), škótske Faerské ostrovy mali dve elektrické siete. www.fairisle.org.uk/FIECo/

Rýchlosti vetra sú tu väčšinou medzi 3 m/s a 16 m/s; 7 m/s je najpravdepodobnejšia rýchlosť.

199 Obrázok 26.13. Účinnosti uskladňovania. Lítium-iónové akumulátory: účinnosť 88 %. Zdroj: www.national.com/appinfo/power/files/swcap_eet.pdf
Olovené akumulátory: 85-95 %.

Zdroj: www.windsun.com/Batteries/Battery_FAQ.htm

Uskladnenie stlačeným vzduchom: účinnosť 18 %. Zdroj: Lemofouet-Gatsi a Rufer (2005); Lemofouet-Gatsi (2006). Pozri aj Denholm et al. (2005).

Vzduch/nafta: hydraulické akumulátory, používané pre rekuperáciu v nákladných autách, sú zariadenia so stlačeným vzduchom s celkovou účinnosťou až 90 % a umožňujú zachytenie až 70 % kinetickej energie. Zdroje: Lemofouet-Gatsi (2006), [5cp27j].

- Tabuľka 26.14. Zdroje: Xtronics xtronics.com/reference/energy_density.htm; Battery University [2sxlyj]; informácie o zotrvačníku sú podľa Ruddell (2003).

Posledné baterky s najvyššou energetickou hustotou sú baterky so sulfidom lítym, s energetickou hustotou 300 kW/kg. Niektorí sklamaní entuziasti vodíkovej technológie sa nevzdávajú a stávajú sa z nich entuziasti bóru. Bór (pri predpoklade, že zhorí na B₂O₃) má energetickú hustotu 15 000 Wh na kilogram, čo je dobrá a vysoká hodnota. Obávam sa ale, že moje hlavné obavy v prípade vodíka platia aj pre bór: že výroba paliva (v tomto prípade bór z B₂O₃) bude energeticky nevýhodná, tak ako aj proces spaľovania.

200 Vanádiové redoxné batérie. Zdroje: www.vrbpower; Írsky veterný park [kt7a]; rýchlosť nabíjania [627ced]; celosvetová výroba [5fas17].

201 ...teplo vznikajúce v lete nad cestami uskladňuje v kolektoroch... [2wmuw7].



Obrázok 26.18. Možná lokalita pre ďalšie 7GWh zariadenie PVE. Údolie Croesor sa nachádza vľavo v strede, medzi ostrým štítom (Cnicht) naľavo a širšími štípmi (Moelwyns) napravo.

27 Päť energetických plánov pre Britániu

Ak sa máme zbaviť súčasnej závislosti na fosílnych palivách, potrebujeme plán pre radikálnu akciu. A potrebujeme zmysluplný plán. Tento plán tiež vyžaduje politický a finančný návod. Politika a ekonomika nie sú súčasťou záberu tejto knihy, takže sa budem jednoducho venovať tomu, ako by mohla vyzeráť technická stránka plánu, ktorý dáva zmysel.

Existuje mnoho zmysluplných plánov. V tejto kapitole ich opíšem päť. Prosím, nepovažujte ani jeden z nich za „autorom odporúčané riešenie.“ Moje jediné odporúčanie je nasledovné:

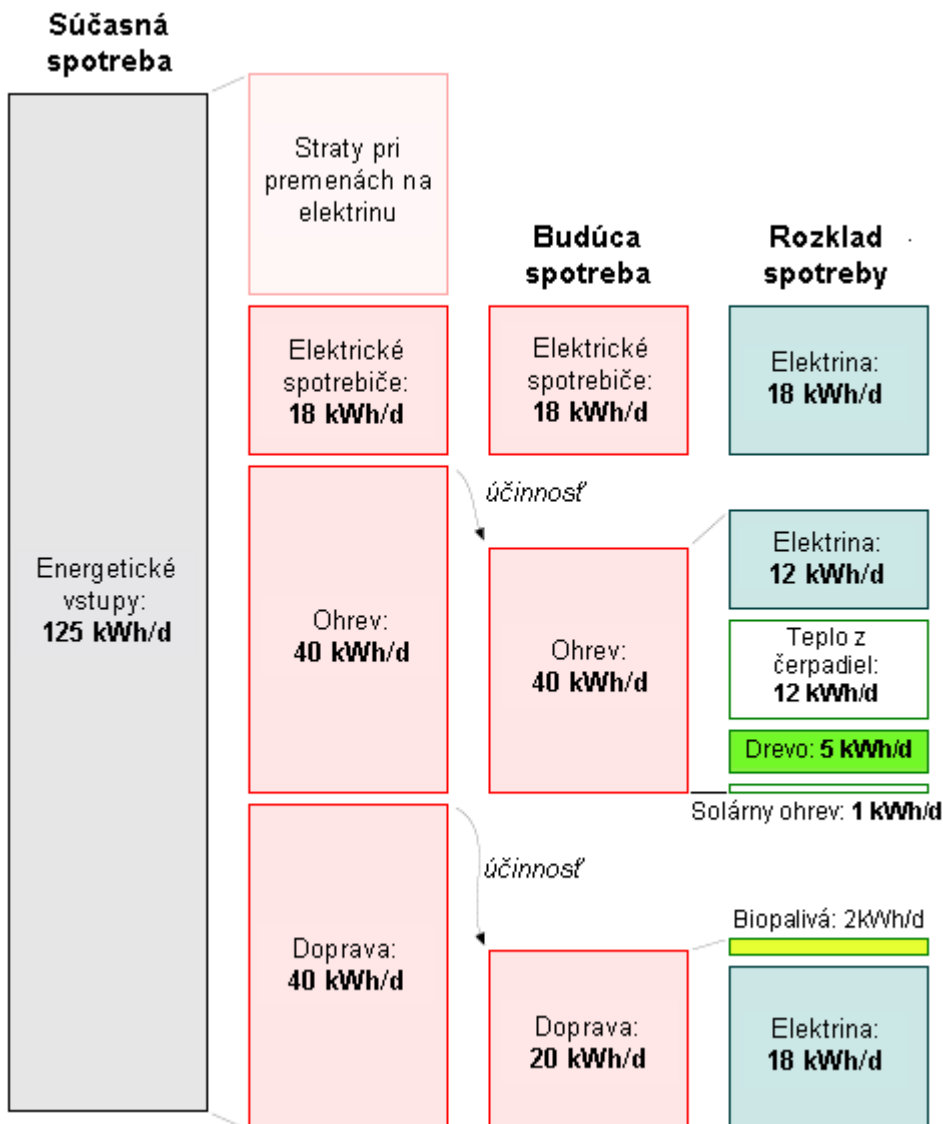
Zabezpečte, aby vaše rozhodnutia zahŕňali plán, ktorý dáva zmysel!

Každý z plánov má stránku spotreby a výroby: musíme určiť, koľko energie bude naša krajina spotrebúvať a ako ju budeme vyrábať. Aby plán nezaberal príliš veľa stránok, využijem náčrt našej krajiny, v ktorom spotrebúvame energiu iba v troch formách: doprave, vykurovanie a elektrine. Ide o drastické zjednodušenie, ktoré vynecháva priemysel, poľnohospodárstvo, dovoz atď. Dúfam ale, že ide o užitočné zjednodušenie, ktoré nám umožní porovnať a dať do kontrastu jednotlivé plány v priebehu minúty. Nakoniec budeme potrebovať detailnejšie plány, ale dnes sme tak ďaleko od cieľa, že jednoduchý náčrt je najlepší spôsob ako znázorniť problém.

Navrhmem zopár plánov, o ktorých sa domnievam, že sú technicky zmysluplné pre Anglicko do roku 2050. Všetky budú obsahovať tú istú spotrebu. Znovu zdôrazňujem, že si nemyslím, že ide o správny plán našej spotreby, alebo dokonca jediný plán. Chcem sa len vyhnúť zahlteniu prílišným počtom plánov. Na strane výroby opíšem plány využívajúce rozličnú zmes obnoviteľných zdrojov, „čisté uhlie“ a jadrovú energiu.

Súčasná situácia

Súčasná situácia v náčrte našej krajiny vyzerá nasledovne. Doprava (ľudí aj tovaru) spotrebuje 40 kWh/d na osobu. Väčšinu tejto energie v súčasnosti poskytuje benzín, diesel alebo kerozén. Ohrievanie vzduchu a vody spotrebuje 40 kWh/d na osobu. Väčšinu tejto energie v súčasnosti zabezpečí zemný plyn. Vyrobené množstvo elektriny dosahuje 18 kWh/d/o a využíva palivo (hlavne uhlie, zemný plyn a jadro) s energetickým obsahom 45 kWh/d/o. Zvyšných 27 kWh/d/o sa spotrebuje na chladenie veží (25 kWh/d/o) a stratí sa v kábloch rozvodnej siete (2 kWh/d/o). Celkový energetický vstup predstavuje dnes pre krajinu 125/kWh/d na osobu.



Obrázok 27.1. Súčasná spotreba na osobu v „náčrte Británie 2008“ (dva stĺpce vľavo) a budúci plán spotreby spolu s možným využívaním palív (dva stĺpce vpravo). Tento plán vyžaduje, aby sa výroba elektriny zvýšila z 18 na 48 kWh/d na osobu.

Spoločné črty všetkých piatich plánov

V náčrte budúcej krajiny poklesne spotreba energie pre účinnejšie technológie pre dopravu a vykurovanie.

V piatich energetických plánoch budúcnosti bude doprava zväčša elektrifikovaná. Elektrické motory sú účinnejšie ako benzínové, takže energia potrebná na dopravu sa zníži. Hromadná doprava (takisto elektrifikovaná) je lepšie integrovaná, lepšie riadená a lepšie podporovaná. Predpokladal som, že elektrifikácia zvýši účinnosť 4-násobne, a že ekonomický rast niektoré z týchto úspor zníži, takže celkový efekt je zníženie spotreby energie o polovicu. Existuje niekoľko dôležitých vozidiel, ktoré nie je ľahké elektrifikovať a pre tie sa budú vyrábať vlastné

tekuté palivá (napríklad biodiesel, biometanol alebo bioetanol z celulózy). Energia pre dopravu predstavuje 18 kWh/d/o elektriny a 2 kWh/d/o tekutých palív. Baterky elektrických vozidiel slúžia ako zariadenia pre uskladňovanie energie, čím pomáhajú vyrovnat' sa s výkyvmi dopytu a ponuky v elektrine. Plocha potrebná pre pestovanie biopalív je približne 12 % krajiny (500 m² na osobu), pri predpoklade účinnosti rastlín 1 % a účinnosti premeny rastliny na palivo 33 %. Ešte je možné biopalivá dovážať, ak by sme presvedčili iné krajiny, aby venovali potrebnú rozlohu (ako Wales) poľnohospodárskej pôdy na ich pestovanie pre nás.

Vo všetkých piatich plánoch poklesla spotreba energie na vykurovanie zlepšením izolácie všetkých budov a zlepšovaním kontroly teploty (pomocou termostatov, vzdelávania a propagovaním nosenia svetrov sexy osobnosťami). Nové budovy (tie postavené od roku 2010) sú naozaj dobre zaizolované a takmer nevyžadujú vykurovanie priestorov. Staré budovy (ktoré budú v roku 2050 stále prevažovať) budú vykurované prevažne tepelnými čerpadlami zem-vzduch a zem-zem. Časť budov umiestnených blízko obhospodarovaných lesov a energetických plantáží vyhrieva biomasa. Energia potrebná na vyhrievanie tak klesá z 40 kWh/d/o na 12 kWh/d/o elektriny, 1 kWh/d/o zo solárnych kolektorov a 5 kWh/d/o z dreva.

Drevo pre výrobu tepla (alebo kombinácie tepla a výkonu) pochádza z blízokých lesov a energetických plodín (možno ozdobnica, vrbka alebo topol) na ploche 30 000 km², alebo 500 m² na osobu; zodpovedá to 18 % poľnohospodárskej pôdy v Británii, ktorá má rozlohu 2 800 m² na osobu. Energetické plodiny sa pestujú prevažne na menej kvalitných pôdach, ponechávajúc kvalitnejšie pôdy pre poľnohospodárstvo. Každých 500 m² energetických plodín dodá 0,5 tony sušiny za rok, čo predstavuje energetický obsah 7 kWh/d; z tejto energie sa stratí asi 30 % pri prevoze a výrobe tepla. Konečné množstvo tepla je 5 kWh/d na osobu.

V týchto plánoch predpokladám, že súčasný dopyt po elektrine jednotlivých spotrebičov, svetiel a pod. zostane rovnaký. Takže stále potrebujeme 18 kWh(e)/d/o elektriny. Áno, účinnosť svietenia sa zvýši prechodom na svetlo emitujúce diódy (LED) pri väčšine osvetlenia a mnoho iných spotrebičov bude účinnejších; ale vďaka požehnaniu ekonomického rastu sa počet spotrebičov v našich životoch zvýši – napríklad zariadenia pre video konferencie nám umožnia menej cestovať.

Celková spotreba elektriny pri tomto pláne *narastá* (vďaka 18 kWh/d/o pre elektrifikovaný transport a 12 kWh/d/o pre tepelné čerpadlá) na 48 kWh/d/o (120 GW pre celú krajinu). To znamená takmer strojnásobenie spotreby elektriny v Británii. Odkiaľ ju získame?

Pozrime sa na niektoré možnosti. Nie všetky z týchto možností sú „udržateľné“ tak, ako je to v tejto knihe definované; ide však vždy o nízko-uhlíkové plány.

Ako vyrobiť veľa elektriny – jednotlivé zložky

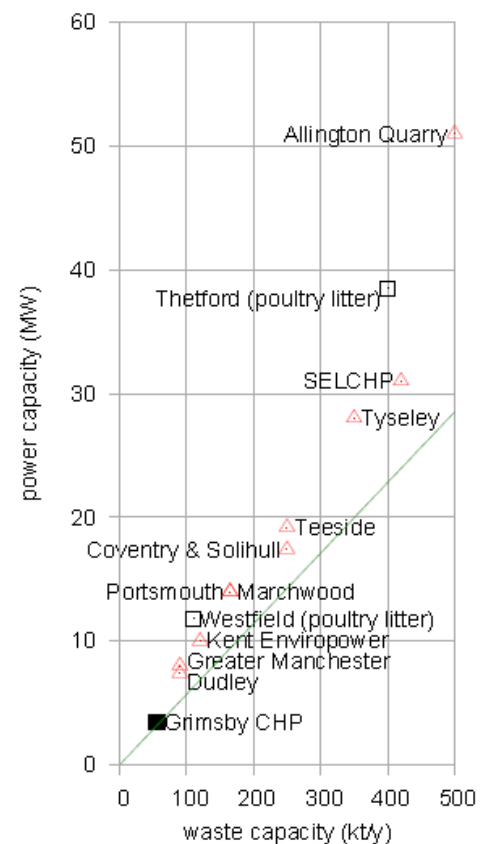
Aby sme mohli vyrobiť veľa elektriny, každý plán využíva určité množstvo veterného výkonu na pevnine a na mori; pravdepodobne niečo zo solárnej technológie odkúpenej od krajín s púšťami; spaľovne odpadu (vrátane tuhých odpadov a odpadov v poľnohospodárstve); možno výkon vln; prílivové priehrady, lagúny a prílivové elektrárne; možno jadrovú energiu; a možno „čisté fosílné palivá,“ to znamená uhlie s technológiou uskladňovania uhlíku. Každý z plánov má za cieľ celkovú výrobu elektriny 50 kWh/d/o v priemere – toto číslo som dostal zaokrúhlením 48 kWh/d/o, čo umožní určité straty v rozvodnej sieti.

Niektoré z nasledujúcich plánov budú vyžadovať dovoz elektriny z iných krajín. Pre porovnanie môže byť užitočné pozrieť sa na to, koľko elektriny dovážame dnes. Odpoveď je, že v roku 2006 Británia doviezla 28 kWh/d/o paliva – 23 % svojej primárnej spotreby. Na dovoze sa najviac podieľalo uhlie (18 kWh/d/o), ropa (5 kWh/d/o), zemný plyn (6 kWh/d/o). Jadrové palivo (urán) sa nepočíta medzi dovoz, pretože jeho uskladnenie je jednoduché.

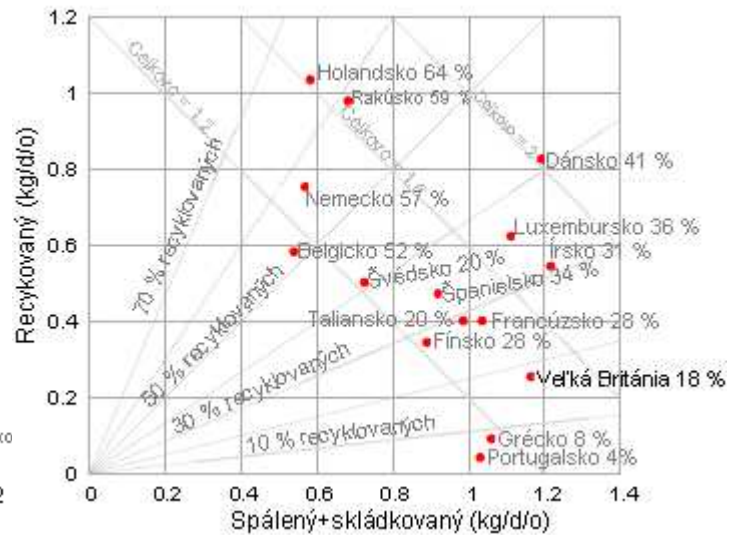
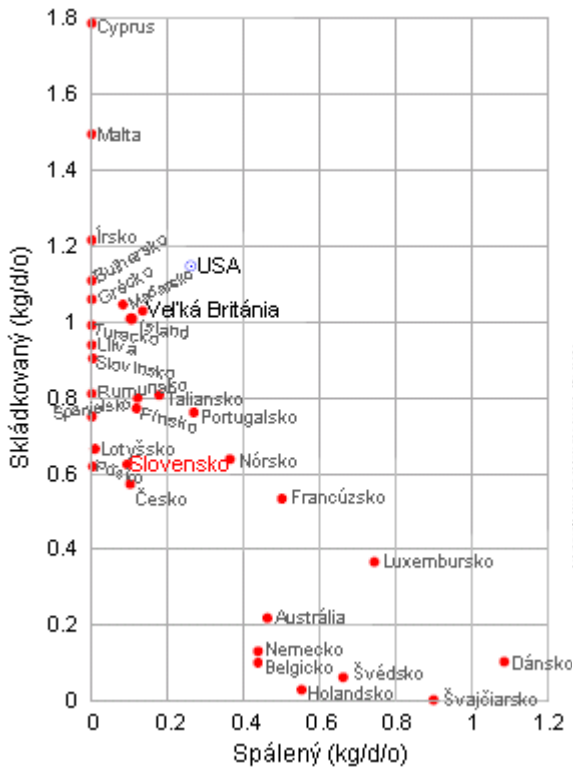
Vo všetkých energetických plánoch predpokladám, že zvýšime podiel spaľovania komunálneho odpadu, takže sa spáli takmer všetok nerecyklovaný odpad. Spálenie 1 kg odpadu za deň na osobu znamená približne 0,5 kWh/d elektriny na osobu. Predpokladám, že sa spáli aj podobné množstvo poľnohospodárskeho odpadu, s výťažkom 0,6 kWh/d/o. Spálenie tohto odpadu vyžaduje zhruba 3 GW kapacity, teda 10-násobný nárast oproti kapacite spaľovní v roku 2008 (Obrázok 27.2). Londýn (so 7 miliónmi obyvateľov) bude mať dvanásť 30 MW spaľovní na výrobu elektriny, takých ako je elektráreň SELCHP v južnom Londýne (pozri strana 287). Birmingham (s 1 miliónom obyvateľov) bude mať dve. Každé mesto s 200 000 obyvateľmi bude mať jednu 10 MW spaľovňu. Obavy, že spaľovanie odpadu v tomto rozsahu by bolo ťažké dosiahnuť, že by bolo znečisťujúce alebo nebezpečné, by sa mali zmierniť po preštudovaní obrázku 27.3; ten ukazuje, že mnoho krajín v Európe spaľuje *oveľa* viac odpadu na osobu ako Británia; medzi tieto krajiny patrí Nemecko, Švédsko, Dánsko, Holandsko a Švajčiarsko, čo zväčša nie sú krajiny s hygienickými problémami! Jeden dobrý vedľajší účinok spaľovní spočíva v tom, že znižuje emisie metánu zo skládok.

Vo všetkých piatich plánoch prispieva energia z vody 0,2 kWh/d/o, rovnako ako dnes.

Elektrické automobily sa používajú ako dynamicky prispôsobiteľná záťaž elektrickej siete. Priemerný výkon požadovaný pre nabitie elektrických automobilov je 45 GW (18 kWh/d/o). Takže výkyvy v obnoviteľných zdrojoch, ako je solárna a veterná energia, možno vyrovnávať zapínaním a vypínaním tejto kapacity, pokiaľ výkyvy nie sú príliš dlhé alebo výrazné. Denné skoky v dopyte po elektrine budú väčšie ako dnes, pretože plyn používaný na varenie a vykurovanie bude nahradený elektrinou (pozri obrázok 26.16, strana 200). Aby bolo možné



Obrázok 27.2. Zariadenia na spaľovanie odpadu. Čiara zobrazuje priemernú výrobu výkonu, pri predpoklade 1 kg odpadu → 0,5 kWh elektriny.



Obrázok 27.3. Vľavo: Množstvo komunálneho tuhého odpadu na skládkach, proti odpadu spálenému, v kg za deň na osobu, podľa krajín. Vpravo: Množstvo recyklovaného odpadu proti skládkovanému a spálenému odpadu. Za každou krajinou sú percentá recyklovaného odpadu.

zabezpečiť, že výkyvy v dopyte do 10 GW trvajúce 5 hodín bude možné pokryť vo všetkých plánoch, všetky plány zahŕňajú postavenie piatich nových zariadení pre uskladňovanie energie prečerpávaním tak, ako v Dinorwigu (alebo zlepšenie existujúcich vodných elektrární). Kapacita uskladňovania 50 GWh predstavuje päťnásobok Dinorwigu, každý s kapacitou 2 GW. Niektoré z plánov budú vyžadovať ešte viac tejto kapacity. Vo všetkých plánoch bude ako poistka postavenie HVDC spojenia s Nórskom s kapacitou 2 GW.

Ako vyrobiť veľa elektriny – plán D

Plán D („D“ ako „domáca diverzita“) využíva každú možnosť domácich zdrojov elektriny a závisí pomerne málo od jej dovozu z iných krajín.

Tu je predstava, ako plán D získa svojich 50 kWh/d/o. Vietor: 8 kWh/d/o (20 GW v priemere, 66 GW maximum) (plus približne 400 GWh kapacity uskladňovania elektriny prečerpávaním). Solárna fotovoltaika: 3 kWh/d/o. Spaľovanie odpadu: 1,3 kWh/d/o. Vodná elektrina: 0,2 kWh/d/o. Energia vln: 2 kWh/d/o. Slapová energia: 3,7 kWh/d/o. Jadrová energia: 16 kWh/d/o (40 GW). „Čisté uhlie“: 16 kWh/d/o (40 GW).

8 kWh/d/o z vetra vyžaduje 30 násobný nárast oproti inštalovanému výkonu v roku 2008. Británia by tak mala takmer 3 násobne viac energie ako má dnes Nemecko. Inštalácia takéhoto výkonu v moriach by vyžadovala 50 zdvižných nákladných lodí po dobu 10 rokov.

Získať 3 kWh/d/o zo solárnej fotovoltaiky vyžaduje 6 m² panelov s účinnosťou 20 % na osobu. Väčšinu striech s južnou orientáciou bude nutné úplne pokryť panelmi, prípadne by mohlo byť ekonomickejšie. Spôsobiloby to menej starostí Lige na ochranu starých budov. Možné je aj postavenie panelov na vidieku v štýle Bavorska (obrázok 6.7, strana 41).

Spaľovanie odpadu zodpovedá 1 kg za deň na osobu domáceho odpadu (so ziskom 0,5 kWh/d/o) a podobné množstvo poľnohospodárskeho odpadu so ziskom 0,6 kWh/d/o; vodná elektrina predstavuje 0,2 kWh/d/o, čiže také isté množstvo, aké máme z vody dnes.

Energia získaná z vln vyžaduje 16 000 hlbokomorských zariadení podobných Pelamisu, ktoré by zaberali 830 km pobrežia Atlantiku (pozri mapu na strane 73).

Energia prílivu a odlivu pochádza z 5 GW prílivových elektrární, 2 GW z priehrady na rieke Severn, 2,5 GW slapových lagún, ktoré môžu zároveň slúžiť ako zariadenia na uskladňovanie energie.

Aby sme vyrobili 16 kWh/d/o z jadrovej energie, potrebujeme 40 GW, čo predstavuje zhruba 4-násobný nárast výkonu oproti roku 2007. Pri tomto množstve by sme sa nachádzali medzi Belgickom, Fínskom, Francúzskom a Švédskom, čo sa týka výroby na obyvateľa: Belgicko a Fínsko vyrábajú zhruba 12 kWh/d/o; Francúzsko 19 kWh/d/o a Švédsko 20 kWh/d/o.

Aby sme získali 16 kWh/d/o z „čistého uhlia“ (40 GW), museli by sme vziať všetky súčasné elektrárne, ktoré dodávajú približne 30 GW, zaistiť k nim systémy uskladňovania oxidu uhličitého (CCS), čo by znížilo ich výkon na 22 GW a potom postaviť ďalších 18 GW kapacity elektrární s čistým uhlím. Táto úroveň uhoľnej energie zabezpečí približne 53 kWh/d/o, čo je o niečo viac ako celková rýchlosť, ktorou spaľujeme dnes všetky fosílné palivá v elektrárňach a výrazne nad úrovňou, ktorú v kapitole 23 považujeme za „trvalo udržateľnú“. Táto rýchlosť spotreby je zhruba trojnásobne vyššia, ako súčasná rýchlosť dovozu uhlia (18 kWh/d/o). Ak by sme znovu neotvorili britské uhoľné bane, tento plán by sa spoliehal na 32 % elektriny získanej z dovážaného uhlia. Znovu otvorené bane by dodávali približne 8 kWh/d/o, takže v každom prípade by Británia v prípade uhlia nebola sebestačná.

Zdajú sa vám niektoré návrhy v tomto pláne nezmyselné alebo nežiadúce? Ak áno, možno sa vám viac budú pozdávať nasledujúce plány.

Ako vyrobiť veľa elektriny – plán N

Plán N je plán „NIMBY“ [„Not In My Backyard“ teda „nie na mojom dvore“ – pozn. prekl.] - pre ľudí, ktorí nemajú radi spriemyslenie britského vidieku zariadeniami na získavanie obnoviteľnej energie, a ktorí nechcú ani nové jadrové elektrárne. Poďme postupne.

Najprv znížime vysoké príspevky elektriny z obnoviteľných zdrojov v pláne D na: vietor: 2 kWh/d/o (5 GW v priemere); slnečná fotovoltaika: 0; vlny: 0; príliv: 1 kWh/d/o.



Obrázok 27.4. Plán D

Práve sme stratili 14 kWh/d/o (celkovo 35 GW) odstavením obnoviteľnej energie (aby ste to nepochopili zle, elektriny z vetra je stále 8-násobne viac ako v roku 2008).

V pláne NIMBY znížime aj príspevok jadrovej energie na 10 kWh/d/o (25 GW), čo je zníženie o 15 GW v porovnaní s plánom D, ale stále podstatný nárast nad dnešnými hodnotami. 25 GW z jadra by, podľa mňa, mohlo byť vtesnaných do existujúcich lokalít, čím by sa dalo vyhnúť stavbe na nových územiach. Príspevok čistého uhlia som ponechal nezmenený na 16 kWh/D/o (40 GW). Príspevky vodných elektrární a spaľovni odpadů zostávajú rovnaké ako v pláne D.

Kde získame dodatočných 50 GW? Princíp NIMBY hovorí „nie v mojom okolí, ale v okolí niekoho iného.“ Takže NIMBY plán zaplatí iným krajinám za dovoz slnečnej energie z ich púšti, aby sme tak získali 20 kWh/d/o (50 GW).

Tento plán vyžaduje vybudovanie piatich blokov slnečných elektrární, každá s veľkosťou Londýna (44 km v priemere) v púšti v okolí Stredomoria. Vyžaduje tiež zariadenia na dovoz 50 GW elektriny do Británie. Dnešné vysokonapäťové spojenie s Francúzskom dokáže preniesť iba 2 GW výkonu. Takže tento plán potrebuje 25-násobný nárast v kapacite elektrického spojenia s kontinentom (alebo ekvivalentné riešenie pre prenos výkonu – možno lode naložené metanolom alebo bórom, pravidelne merajúc svoju cestu od púšti zo Stredomoria).

Keď stačí menej vetra, v pláne N nepotrebujeme v Británii stavať ďalšie kapacity na uskladňovanie energie spomínané v pláne D, ale vzhľadom na závislosť na nerovnomernom slnečnom svetle stále vyžaduje postaviť zariadenia na uskladňovanie elektrickej energie niekde inde. Jednou z možností sú uskladňovacie zariadenia na princípe roztavenej soli pri slnečných elektrárnach. Uskladňovať elektrinu by bolo možné aj niekde v Alpách. Premena elektriny do uskladniteľného paliva, napríklad metanolu, predstavuje ďalšiu možnosť, hoci premeny energie predstavujú straty a preto by vyžadovali viac slnečných elektrární.

Tento plán získava $32\% + 40\% = 72\%$ britskej elektriny z iných krajín.

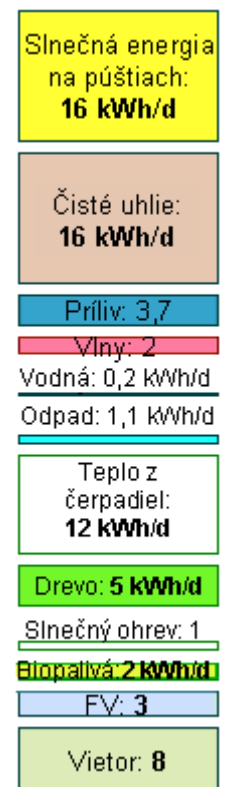
Ako vyrobiť veľa elektriny – plán L

Niektorí ľudia hovoria „nechceme jadrovú energiu!“ Ako ich môžeme uspokojiť? Možno by to mohla byť úloha pre anti-jadrových lobistov, aby presvedčili NIMBY lobistov, že predsa len nakoniec potrebujeme obnoviteľnú energiu na našom vidieku.

Môžeme vytvoriť bezjadrový plán zrušením plánu D, zachováme všetky obnoviteľné zdroje v našich záhradách a vymeníme jadrovú energiu za energiu na púšti. Tak ako v pláne N, dovoz energie z púšte vyžaduje veľký nárast v prenosovej kapacite medzi severnou Afrikou a Britániou; spojenie Európa-Británia by bolo nutné zvýšiť z 2 GW na 40 GW.



Obrázok 27.5. Plán N



Obrázok 27.6. Plán L

To je spôsob, ako plán L získa svojich 50 kWh/d/o. Vietor: 8 kWh/d/o (20 GW v priemere) (plus približne 400 GWh kapacity uskladňovania elektriny prečerpávaním). Slnecná fotovoltaika: 3 kWh/d/o. Elektrina z vody a spaľovania odpadu: 1,3 kWh/d/o. Energia vln: 2 kWh/d/o. Prílivová energia: 3,7 kWh/d/o). „Čisté uhlie“: 16 kWh/d/o (40 GW). Slnecná energia z púští: 16 kWh/d/o (40 GW v priemere).

Tento plán dováža 64 % elektriny Británie z iných krajín. Nazývam ho „plán L“, pretože je v súlade s opatreniami liberálnych demokratov – aspoň im zodpovedal, keď som prvý raz písal túto kapitolu v polovici roku 2007; nedávno hovorili o „skutočnej energetickej nezávislosti pre Britániu,“ a oznámili opatrenia pre nulové emisie uhlíku, podľa ktorých by sa Británia stala celkovým vývozcom energie. Tieto návrhy ale nešpecifikujú spôsob, ako je možné tento cieľ dosiahnuť.

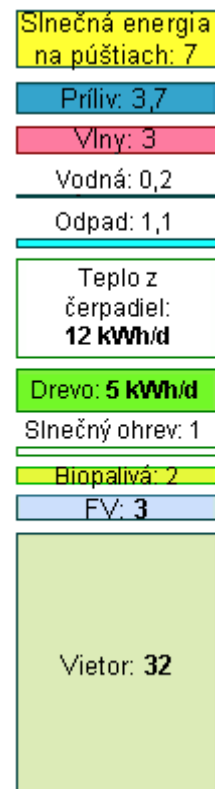
Ako vyrobiť veľa elektriny – plán G

Niektorí ľudia hovoria „nechceme jadrovú energiu a nechceme uhlie!“ Vyzerá to ako dobrý cieľ, ale potrebujeme plán, ktorý to zaistí. Nazývam ho „plán G,“ pretože sa domnievam, že Strana zelených nechce jadro alebo uhlie, hoci si nemyslím, že väčšina zelených by súhlasila so zvyškom plánu. Viem, že Greenpeace miluje vietor, takže plán G som venoval aj im, pretože obsahuje *veľa* vetra.

Plán G som znovu vytvoril vychádzajúc z plánu D, zvýšil som príspevok energie vln o 1 kWh/d/o (pridaním peňazí do výskumu vln a zvýšením účinnosti prevodníku v Pelamise) a zvýšil som príspevok vetra štvornásobne (oproti plánu D) na 32 kWh/d/o, takže vietor zabezpečuje 64 % všetkej elektriny. Celkovo to predstavuje 120-násobný nárast kapacity vetra v Británii nad dnešnou úrovňou. Podľa tohto plánu by sme museli svetovú kapacitu vetra z roku 2008 zvýšiť 4 násobne a celý tento nárast by sa musel odohrať v okolí Britských ostrovov.

Elektrinu plánu G môžeme rozložiť nasledovne: vietor: 32 kWh/d/o (80 GW v priemere) (plus približne 4000 GWh sprievodnej kapacity uskladňovania energie). Slnecná fotovoltaika: 3 kWh/d/o. Elektrina z vody a spaľovania odpadu: 1,3 kWh/d/o. Vlny: 3 kWh/d/o. Príliv: 3,7 kWh/d/o. Slnecný výkon na púštiach: 7 kWh/d/o (17 GW).

Tento plán získava 14 % svojej elektriny z iných krajín.



Obrázok 27.7. Plán G

Ako vyrobiť veľa elektriny – plán E

E znamená „ekonómia“. Piaty plán je hrubý odhad, čo by sa mohlo stať na voľnom trhu s energiami s vysokou cenou CO₂. Pri ekonomických pravidlách s vysokou cenou pre emisie CO₂ nemožno očakávať rôznorodé riešenie s veľkým rozsahom nákladov na výkon; skôr sa dá čakať ekonomicky optimálne riešenie, ktoré zabezpečí požadované množstvo výkonu pri najnižšej cene. Ak spolu súperia „čisté uhlie“ a jadro, tak je to jadro, ktoré vyhráva. (Inžinieri z *UK electricity generator* [výrobca

elektrickej energie v Anglicku – pozn. prekladateľa] mi povedali, že investičné náklady klasickej uhľovej elektrárne predstavujú 1 miliardu libier na GW, teda približne rovnaké, ako v prípade jadra; ale investičné náklady v prípade výkonu z „čistého uhlia“, vrátane uskladňovania CO₂, predstavujú približne 2 miliardy libier na GW.) Predpokladal som, že slnečný výkon v púšťach iných krajín stráca na úkor jadrovej energie, keď vezmeme do úvahy náklady na vybudovanie 2000 km dlhých prenosových káblov (hoci van Voorthuysen (2008) predpokladá, že pri objavoch na úrovni Nobelovej ceny v technológii výroby chemických palív zo slnečnej energie, slnečná energia v púšťach by sa stala ekonomicky porovnateľnou s jadrovou energiou). Aj veterná energia v oceánoch prehráva na úkor jadrovej, no predpokladal som, že vietor na pobreží stojí približne rovnako ako jadro.

Tu je spôsob, akým plán E zabezpečí svojich 50 kWh/d/o elektriny. Vietor: 4 kWh/d/o (10 GW v priemere). Slnečná fotovoltaika: 0. Elektrina z vody a spaľovanie odpadu: 1,3 kWh/d/o. Vlny: 0. Príliv a odliv: 0,7 kWh/d/o. A jadro: 44 kWh/d/o (110 GW).

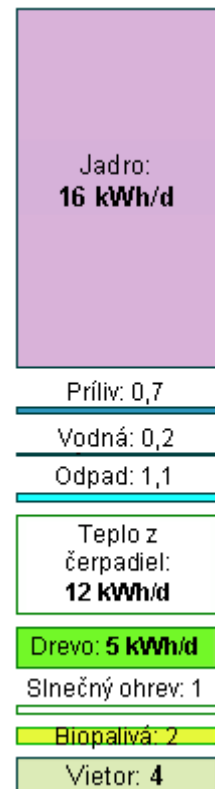
Tento plán má desaťnásobný nárast vo výkone z jadra v porovnaní s rokom 2007. Británia by tak získavala 110 GW, čo predstavuje asi dvojnásobok výkonu z jadra vo Francúzsku. Zahrnul som aj trochu výkonu z prílivu a odlivu, pretože si myslím, že dobre skonštruovaná prílivová lagúna dokáže konkurovať jadrovej energii.

V tomto pláne Británia nepotrebuje dovoz energie (okrem uránu, ktorý ako som uviedol skôr a ten sa normálne do dovozu nepočíta).

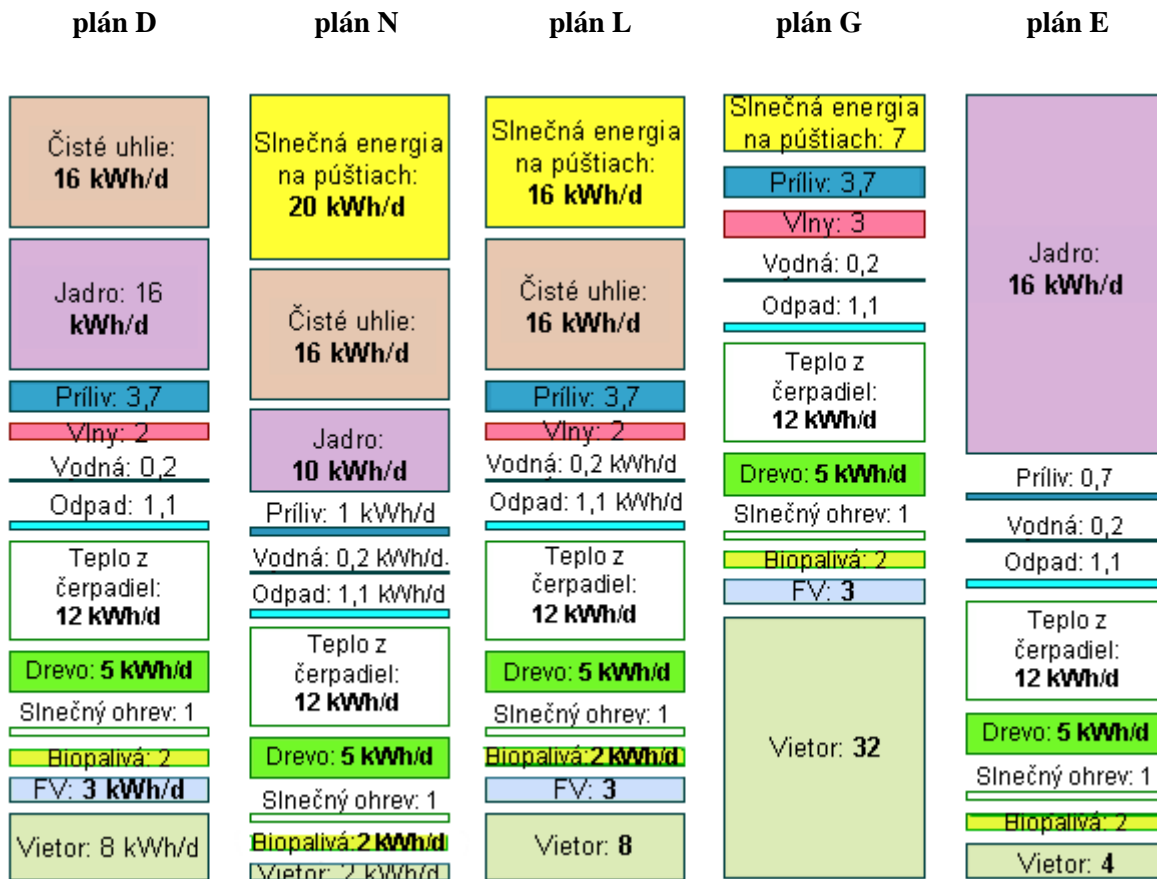
Obrázok 27.9 znázorňuje všetkých päť plánov.

Aký je vzťah plánov k uskladňovaniu CO₂ a lietaniu

V budúcom svete, v ktorom sa vhodne zdaní znečisťovanie uhlíkom, aby sme sa vyhli katastrofickej klimatickej zmene, nás bude zaujímať akýkoľvek návrh, ktorý dokáže pri nízkej cene uložiť zvyšný uhlík do bezpečia. Takéto návrhy neutralizácie CO₂ nám umožnia pokračovať v lietaní na úrovni z roku 2004 (až kým vystačí ropa). V roku 2004 boli priemerné emisie CO₂ z lietania približne 0,5 tony CO₂ za rok na osobu. Ak započítame úplný skleníkový vplyv lietania, skutočné emisie by boli približne 1 tCO₂e za rok na osobu. Ďalej, vo všetkých piatich plánoch som predpokladal, že 1/9 rozlohy Británie sme obetovali na pestovanie energetických plodín, ktoré sme potom využili na vykurovanie a elektrinu. Ak by sme namiesto toho preorientovali tieto plodiny do elektrární s technológiou uskladňovania uhlíku – elektrárne s „čistým uhlím“ uvedené v troch plánoch – potom by bolo množstvo zachyteného CO₂ približne 1 tona CO₂ za rok na osobu. Ak by sme spaľovali na komunálny a poľnohospodársky odpad tiež umiestnili do elektrární s čistým uhlím, možno by sme mohli zvýšiť množstvo zachyteného uhlíku na 2 tony CO₂ na osobu za rok. Toto usporiadanie by znamenalo ďalšie náklady: biomasu



Obrázok 27.8. Plán E



Obrázok 27.9. Všetkých päť plánov

a odpad by sme možno museli prevážať na väčšie vzdialenosti; proces uskladňovania CO₂ by vyžadoval významný podiel získanej energie; stratené teplo pre vykurovanie budov by bolo nutné nahradiť viacerými tepelnými čerpadlami vzduch-vzduch. Ak je však našim cieľom uhlíková neutralita, stálo by za to dopredu plánovať lokality pre nové uhoľné elektrárne so spaľovňami odpadu v regiónoch blízko potenciálnych plantáží na pestovanie biomasy.

„Všetky tieto plány sú absurdné!“

Ak sa vám tieto plány nepáčia, neprekvapuje ma to. Súhlasím, že na každom z nich je niečo neprijateľné. Pokojne navrhňte svoj vlastný, iný plán, podľa vlastných predstáv. Ale ubezpečte sa, že dáva zmysel!

Možno dospejete k záveru, že zmysluplný plán musí zahŕňať nižšiu spotrebu na obyvateľa. S tým by som mohol súhlasiť, takýto návrh sa ale ťažko presadzuje – pripomeňte si odpoveď Tonyho Blaira (strana 222), keď mu niekto navrhol, aby lietal na dovolenky za oceánom menej často! Alebo môžete dospieť k záveru, že máme príliš vysokú hustotu populácie, a že zmysluplný plán zahŕňa menej ľudí. Znovu, ide o plán ťažko uskutočniteľný.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

206 *Spálenie 1 kg odpadu za deň na osobu znamená približne 0,5 kWh elektriny.*

Energetická hodnota komunálneho tuhého odpadu je približne 2.6 kWh na kg; elektrárne spaľujúce odpad vyrábajú elektrinu s účinnosťou približne 20 %.

Zdroj: turistický sprievodca SELCHP.

207 *Obrázok 27.3.* Údaje od Eurostatu, www.epa.gov a www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/.

210 *Opatrenia liberálnych demokratov.* Pozri www.libdems.org.uk: [5os7dy], [yrw2oo].

28 Náklady v perspektíve

Plán na mape

Dovoľte mi znázorniť rozsah jednotlivých plánov predošlej kapitoly tým, že ukážem mapu Británie so šiestym plánom. Tento plán sa nachádza niekde v strede týchto piatich plánov, takže ho nazývam plán M [middle-stred – pozn. prekl.] (obrázok 28.1).

Lokality a hrubé odhady nákladov zariadení znázorňuje tabuľka 28.3. Konečné náklady sú pre jednoduchosť vypočítané podľa dnešných cien porovnateľných zariadení, z ktorých mnohé sú zatiaľ iba prototypy; možno preto očakávať, že veľa cien významne poklesne. Hrubé náklady tu uvedené sú náklady na budovanie a nezahŕňajú prevádzkové náklady alebo náklady spojené s vyradením z prevádzky. Náklady „na osobu“ sú vypočítané vydelením 60 miliónmi. Prosím, majte na pamäti, že toto nie je ekonomická kniha – tá by vyžadovala ďalších 400 strán! Náklady udávam len pre *hrubý* odhad konečnej ceny, ktorú možno očakávať pri uskutočnení zmysluplného plánu.

Rád by som zdôraznil, že nie som zástancom tohto konkrétneho plánu – zahŕňa niekoľko charakteristík, ktoré by som ja ako vodca Británie nezvolil. Úmyselne som zvolil všetky dostupné technológie, takže si môžete skúsiť svoje vlastné plány v inom proporčnom rozložení.

Napríklad ak povieť, že „fotovoltaika bude príliš drahá, chcel by som radšej plán s väčším zastúpením energie vln,“ viete, ako to urobiť: potrebujete zvýšiť množstvo prílivových elektrární osemnásobne. Ak sa vám nepáčia lokality pre veterné turbíny, pokojne ich presuňte inam (ale kam?) Majte na pamäti, že ak ich presuniete viac do oceánu, zvýši to náklady. Ak chcete menej turbín, nie je problém – len treba špecifikovať, ktoré z technológií ich nahradia. Môžete nahradiť päť 100 km² veterných elektrární tým, že napríklad pridáte navyše 1 GW jadrovú elektráreň.

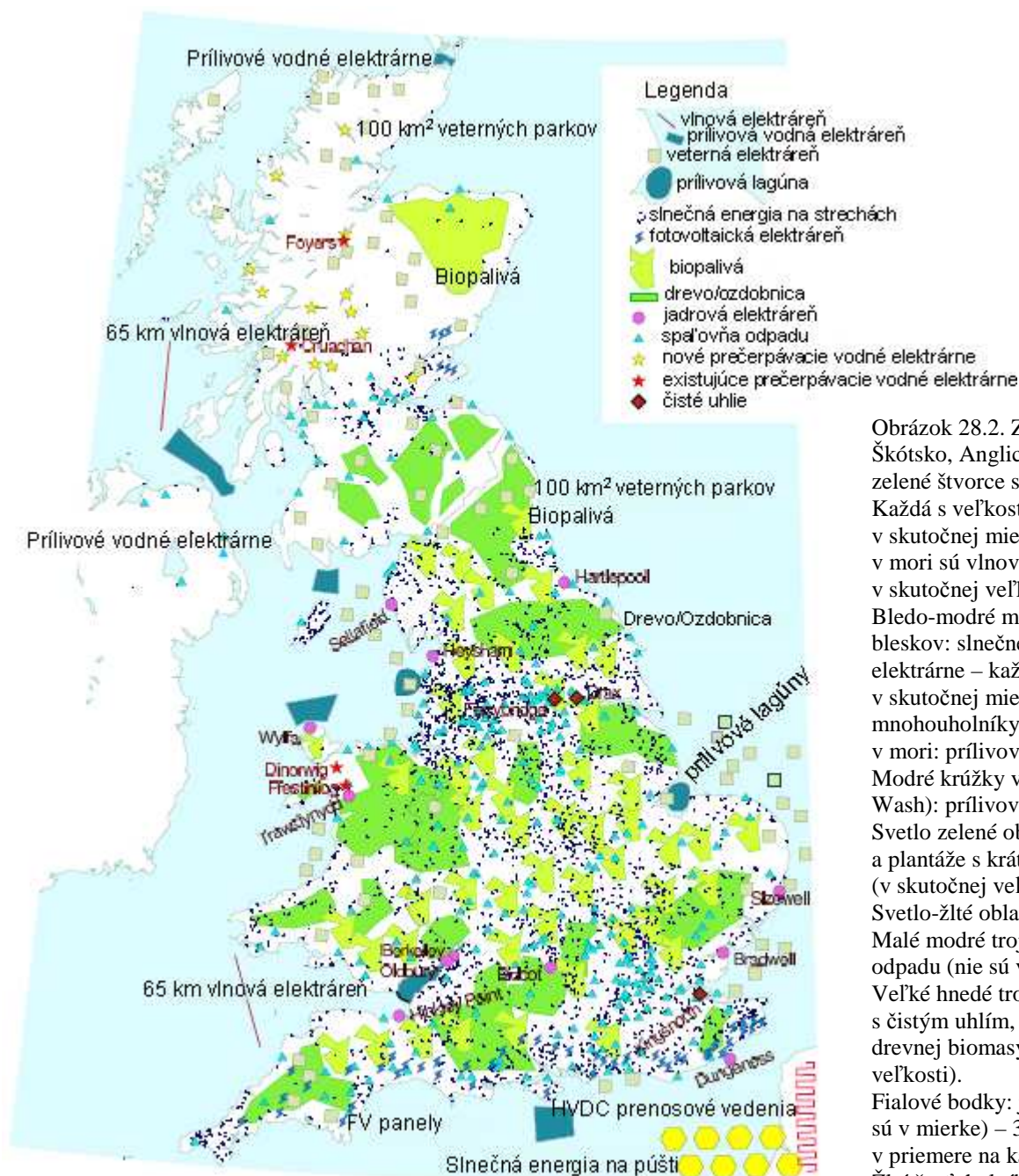
Možno si pomyslíte, že tento plán (ako každý z plánov v predchádzajúcej kapitole) venuje nezmyselne veľké oblasti na biopalivá. V poriadku: môžete preto dospieť k záveru, že spotrebu tekutých palív pre transport je nutné znížiť pod 2 kWh za deň na osobu, ktoré tento plán predpokladal; alebo že tekuté palivá je nutné vyrobiť nejakým iným spôsobom.

Náklady prechodu z fosílnych na obnoviteľné zdroje

Postavenie každej veternej elektrárne stojí niekoľko miliónov libier, pričom dodáva pár megawattov. Podľa veľmi hrubého odhadu z roku 2008, inštalovanie jedného wattu stojí približne jednu libru; jeden kilowatt stojí tisíc libier; megawatt vetra stojí milión; gigawatt jadrovej energie stojí približne miliardu, možno dve. Iné obnoviteľné zdroje sú drahšie. My (v Británii) v súčasnosti spotrebujeme celkový výkon zhruba 300 GW,



Obrázok 28.1. Plán M



Obrázok 28.2. Zmysluplný plán pre Škótsko, Anglicko, a Wales. Šedo-zelené štvorce sú veterné elektrárne. Každá s veľkosťou 100 km² v skutočnej mierke. Červené čiary v mori sú vlnové elektrárne, tiež v skutočnej veľkosti.

Bledo-modré mnohoúhelníky v tvare bleskov: slnečné fotovoltaické elektrárne – každý 20 km², ukázaný v skutočnej mierke. Modré mnohoúhelníky s ostrými hranami v mori: prílivové elektrárne. Modré krúžky v mori (Blackpool a Wash): prílivové lagúny.

Svetlo zelené oblasti na súši: dreviny a plantáže s krátkym rubným vekom (v skutočnej veľkosti).

Svetlo-žlté oblasti: (biopalivá).

Malé modré trojuholníky: spaľovne odpadu (nie sú v skutočnej veľkosti). Veľké hnedé trojuholníky: elektrárne s čistým uhlím, spolu so spaľovaním drevnej biomasy (nie sú v skutočnej veľkosti).

Fialové body: jadrové elektrárne (nie sú v mierke) – 3,3 GW výkonu v priemere na každej z 12 lokalít.

Žlté šesťuholníky krížom cez kanál: koncentračné slnečné elektrárne v ďalekých púšťach (v skutočnej veľkosti, každá 335 km²). Ružová zvlnečená čiara vo Francúzsku predstavuje nové HVDC káble, 2000 km dlhé, prenášajúce výkon 40 GW zo vzdialených púští do Británie.

Žlté hviezdy v Škótsku: nové prečerpávacie vodné elektrárne.

Červené hviezdy: existujúce prečerpávacie vodné elektrárne.

Modré body: slnečné kolektory pre výrobu horúcej vody na všetkých strechách.

	Kapacita	Hrubý odhad		Priemerný dodaný výkon
		Celkovo	na osobu	
52 veterných elektrární na súši: 5200 km ²	35 GW	27 mld £	450 £	4,2 kWh/d/o
29 veterných elektrární v mori: 2900 km ²	29 GW	36 mld £	650 £	3,5 kWh/d/o
Kapacita uskladnenia: 15 zariadení podobných Dinorwigu	30 GW	15 mld £	250 £	
Fotovoltaické elektrárne: 1000 km ²	48 GW	190 mld £	3200 £	2 kWh/d/o
Slnéčné kolektory na horúcu vodu: 1 m ² strešného kolektoru na osobu. (60 km ² celkovo)	2,5 GW (t) priemer	72 mld £	1200 £	1 kWh/d/o
Spaľovne odpadu: 100 nových 30 MW spaľovní	3GW	8,5 mld £	140 £	1,1 kWh/d/o
Tepelné čerpadlá	210GW(t)	60 mld £	1000 £	12 kWh/d/o
Vlnové elektrárne – 2500 Pelamis, 130 km mora	1,9 GW (0,76 GW priemer)	6 mld £?	100 £	0,3 kWh/d/o
Priehrada Severn: 550 km ²	8 GW (2 GW priemer)	15 mld £	250 £	0,8 kWh/d/o
Prílivové lagúny: 800 km ²	1,75 GW priemer	2,6 mld? £	45 £	0,7 kWh/d/o
Prílivové elektrárne: 15 000 turbín – 2000 km ²	18 GW (5,5 GW priemer)	21 mld? £	350 £	2,2 kWh/d/o
Jadrový výkon: 40 elektrární	45 GW	60 mld £	1000 £	16 kWh/d/o
Čisté uhlie	8 GW	16 mld £	270 £	3 kWh/d/o
Koncentračná slnečná energia na púšťach: 2700 km ²	40 GW priemer	340 mld £	5700 £	16 kWh/d/o
Krajina v Európe pre 1600 km HVDC káblov: 1200 km ²	50 GW	1 mld £	15 £	
2000 km HVDC káblov	50 GW	1 mld £	270 £	3 kWh/d/o
Biopalivá: 30 000 km ²		(náklady neodhadnuté)		2 kWh/d/o
Drevo/Ozdobnica: 31 000 km ²		(náklady neodhadnuté)		5 kWh/d/o

Tabuľka 28.3. Oblasti pevniny a mora potrebné pre plán M, spolu s hrubými nákladmi. Náklady s otáznikom sú pre technológie, kde ešte nie sú k dispozícii náklady jednotlivých prototypov. „1 GW(t)“ zodpovedá jednému GW tepelného výkonu.

väčšina ktorého pochádza z fosílnych palív. Takže môžeme očakávať, že výrazný prechod na obnoviteľné zdroje a/alebo jadrovú energiu bude vyžadovať zhruba 300 GW obnoviteľných a/alebo jadrových zdrojov energie a teda hrubé náklady budú predstavovať zhruba 300 miliárd libier. Hrubé náklady zobrazené v tabuľke 28.3 dosahujú až 870 miliárd libier, pričom dominuje slnečná technológia – fotovoltaika stojí 190 miliárd a koncentračné slnečné elektrárne stoja 340 miliárd libier. Obe tieto položky môžu dramaticky klesať s nárastom ich výroby. Vládna správa, o ktorej informoval Guardian v auguste 2007 odhaduje, že dosiahnutie „20 % do roku 2020“ (to znamená, 20 % všetkej energie z obnoviteľných zdrojov, čo by vyžadovalo nárast v obnoviteľnom výkone o 80 GW) by stálo „do 22 miliárd libier“ (čo by vyžadovalo každý rok 1,7 miliardy libier ročne). A hoci je tento odhad menší ako 80 miliárd libier, ktorý by viac zodpovedal dnešnej skúsenosti, ako sme si ukázali, autori správy, ktorá nechcene prenikla do tlače, vnímali náklady 22 miliárd libier ako „prehnané“ a uprednostnili cieľ 9 %. (Ďalší dôvod, pre ktorý sa im cieľ „20 % do roku 2020“ nepáči je, že výsledné ušetrenie skleníkových plynov „riskuje, že obchodovanie s emisnými povolenkami v EÚ bude zbytočné.“ Strašná myšlienka!)

Náklady prechodu z fosílnych palív a obnoviteľné zdroje

Miliardy sú veľké čísla a ťažko sa predstavujú. Pre lepšiu predstavu a perspektívu nákladov potrebných pre zbavenie sa fosílnych palív sa pozrime na ďalšie veci, ktoré takisto vyčíslujeme v miliardách alebo miliónoch libier za rok. Vyjadrím tiež mnohé z týchto nákladov v jednotkách „na osobu“ rozdelením celkovej sumy na počet obyvateľov.

Možno najlepším spôsobom je porovnanie peňazí, ktoré už *teraz* míňame na energiu každý rok. V Británii predstavujú ročné náklady na spotrebu energie 75 miliárd libier ročne a celková tržná hodnota všetkej spotrebovanej energie za rok predstavuje 130 miliárd libier za rok. Takže myšlienka minúť 1,7 miliardy libier ročne na investície do budúcej energetickej infraštruktúry vôbec nevyzerá absurdne – je to menej ako 3 % našich súčasných výdavkov na energiu!

Názorné je tiež porovnanie s ročnými výdavkami na poistenie: niektoré z investícií, ktoré uskutočníme, majú neistú návratnosť – podobne ako poistenie. Jednotlivci a obchodníci v Británii spotrebujú na poistenie ročne 90 miliárd libier.

Dotácie

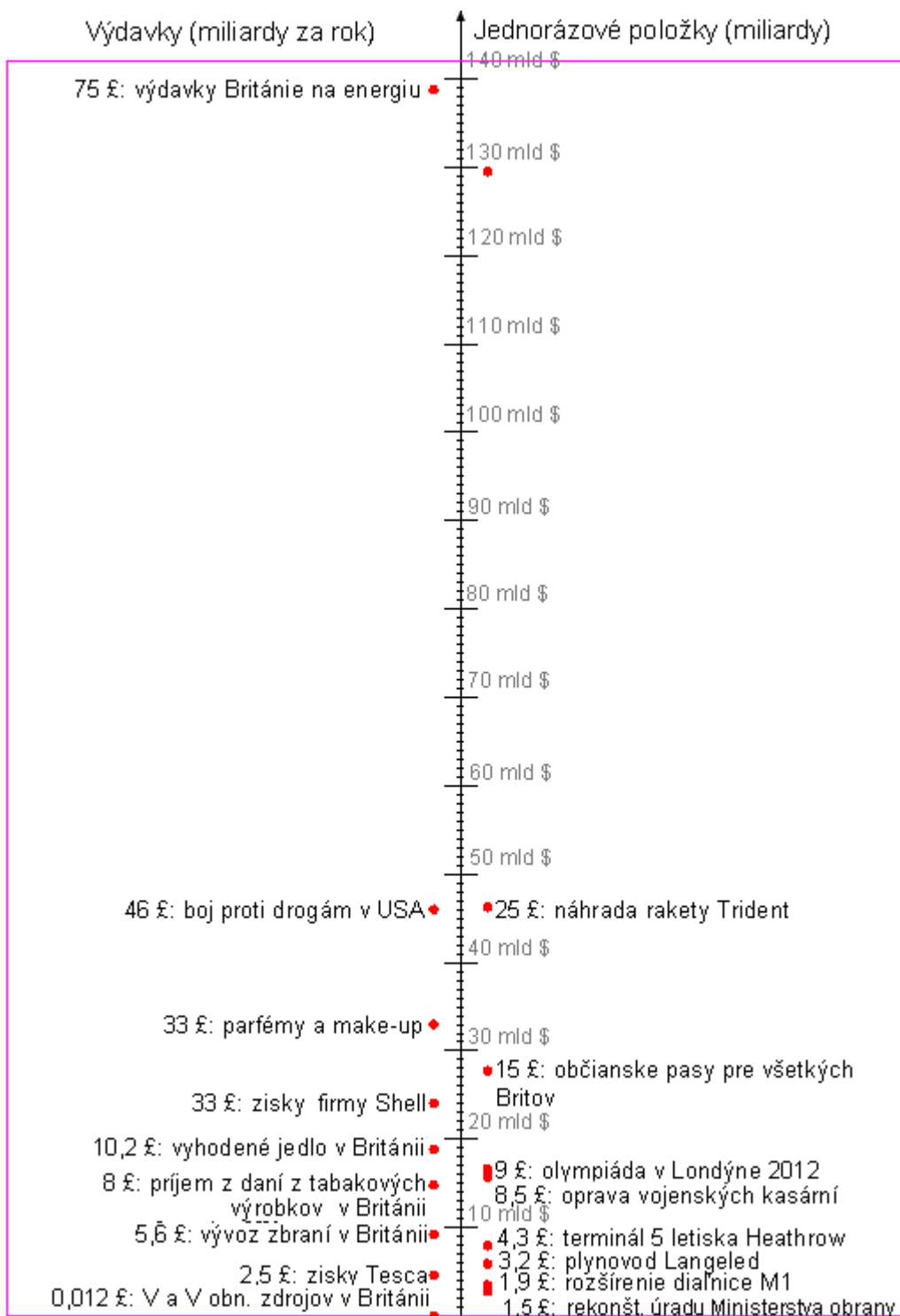
56 miliárd libier za 25 rokov: náklady na rozobratie jadrových elektrární a fabrík na jadrové zbrane v Británii. To je podľa údajov z roku 2004; v roku 2008 to bolo už 73 miliárd (1200 libier na osobu). [6eoyhg]

Doprava

4,3 miliardy libier: náklady terminálu 5 londýnskeho letiska Heathrow. (72 libier na osobu).



Obrázok 28.4. Diaľnica M1, od križovatky 21 do 30.



Obrázok 28.5. Činnosti, ktoré stoja miliardy. Mierka osi má väčšie krížiky v intervale 10 miliárd libier a menšie krížiky v intervale 1 miliardy libier.

1,9 miliárd libier: náklady na rozšírenie 91 km diaľnice M1 (od križovatky 21 do 30, obrázok 28.4). [yu8em5]. (32 libier na osobu).

Špeciálne udalosti

Náklady na Olympijské hry v Londýne: 2,4 miliardy libier; nie, pardon, 5 miliárd [3x2cr4]; alebo možno 9 miliárd [2dd4mz]. (150 libier na osobu).

Priemysel ako doteraz

2,5 miliardy libier/rok: Zisky Tesca (ohlásené v roku 2008). (42 libier na osobu).

10,2 miliardy libier/rok: peniaze na nákup jedla, ktoré zostane nezjedené. (170 libier na osobu).

11 miliárd libier/rok: Zisky spoločnosti British Petroleum (BP) (2006).

13 miliárd libier/rok: Zisky spoločnosti Royal Dutch Shell (2006).

40 miliárd libier/rok: Zisky spoločnosti Exxon (2006).

33 miliárd libier/rok: Výdavky na parfumy a make-up.

700 miliárd libier/rok: Výdavky USA na dovoz ropy. (2300 libier na osobu).

Priemysel ako doteraz podľa vlády

1,5 miliardy libier: náklady na obnovu kancelárií Ministerstva obrany. (Private Eye No. 1176, 19. januára 2007, strana 5.) (25 libier na osobu).

15 miliárd libier: náklady na predstavenie nových občianskych preukazov [7vlp]. (250 libier na osobu).

Plány do budúcnosti

3,2 miliardy libier: náklady na plynovod Langeled, transportujúci plyn z Nórska do Británie. Kapacita plynovodu je 20 miliárd m³ za rok, čo zodpovedá výkonu 25 GW. [6x4nvu] [39g2wz] [3ac8sj]. (53 libier na osobu).

Spotrebná daň a podobné hry

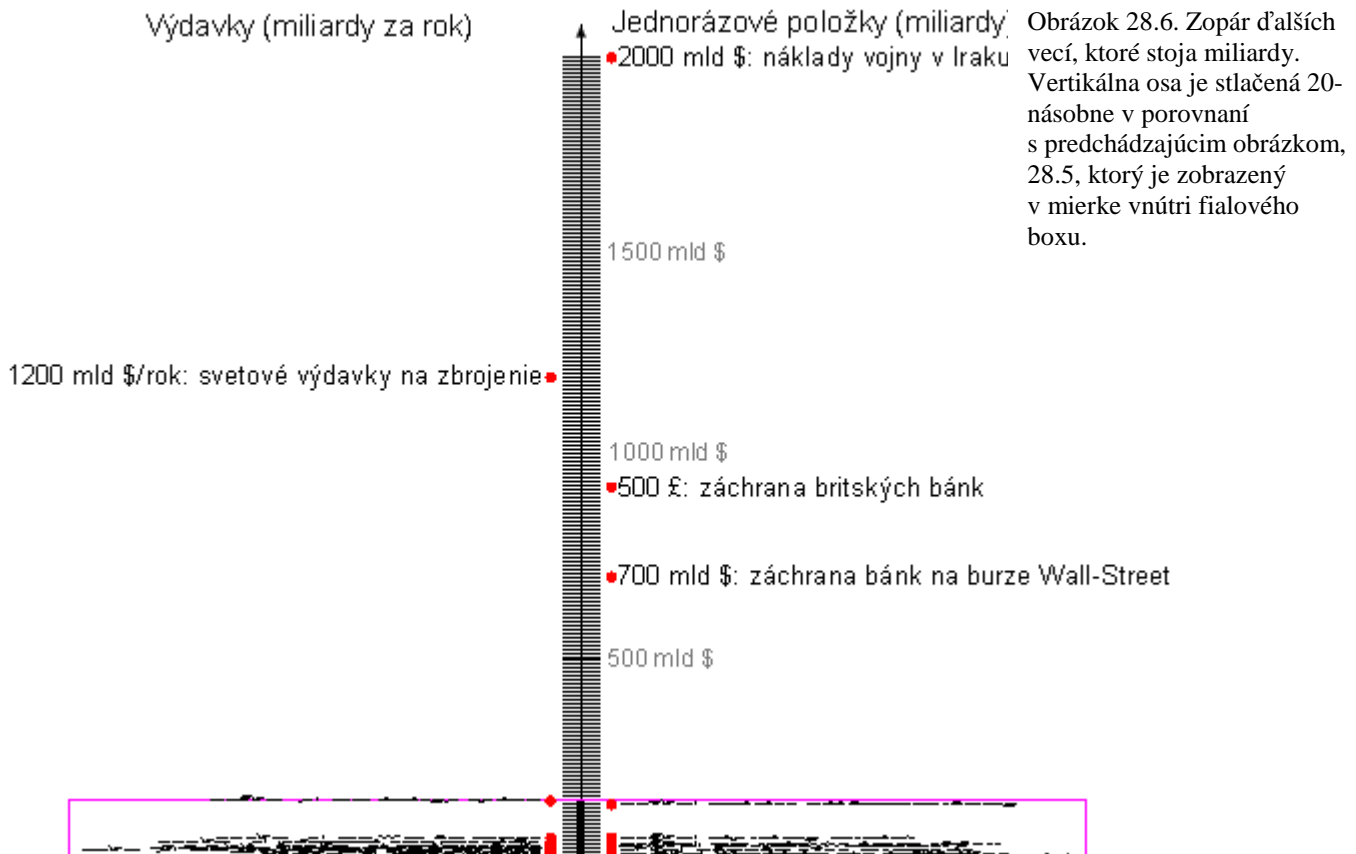
8 miliárd libier/rok: ročný zisk z tabaku v Británii [y7kg26] (130 libier na osobu.) Európska únia vydá takmer 1 miliardu eur ročne na podporu tabakového priemyslu. www.ash.org.uk.

46 miliárd dolárov/rok: Ročné náklady na americkú „drogovú vojnu.“ [r9fcf] (150 dolárov na osobu).

Vesmír

1,7 miliardy dolárov: náklady na raketoplány (6 dolárov na osobu).





Banky

700 miliárd dolárov: v októbri 2008 sa americká vláda zaviazala uvoľniť 700 miliárd libier na záchranu Wall Street, a...

500 miliárd libier: Britská vláda sľúbila na záchranu bánk 500 miliárd libier.

Zbrojný priemysel

5 miliárd libier každý rok: vývoz zbraní v Británii (83 libier za rok na osobu), z ktorých 2,5 miliardy libier ide na Blízky východ a 1 miliarda do Saudskej Arábie. Zdroj: Observer, 3 december 2006.

8,5 miliardy libier: náklady prezbrojenia armádnych kasární v Aldershote a Salisbury Plain. (140 libier za rok na osobu).

3,8 miliardy libier: náklady na dve nové lietadlové lode (63 libier za rok na osobu). news.bbc.co.uk/1/low/scotland/6914788.stm

4,5 miliardy dolárov za rok: náklady na nevyrábanie jadrových zbraní – americké ministerstvo energetiky uvoľňuje z rozpočtu najmenej 4,5 miliardy dolárov ročne pre aktivity „strážcov arzenálu“, aby udržali jadrový arzenál bez ďalšej výroby nových zbraní (15 libier za rok na osobu).

10-25 miliárd libier: náklady pre nahradenie Tridentu, Britského jadrového systému (170-420 libier na osobu) [ysncks].

63 miliárd dolárov: americká „vojenská pomoc“ (tj. zbrane) na Blízky Východ v priebehu 10 rokov – zhruba polovica do Izraela, polovica do arabských štátov. [2vq59t] (210 dolárov na osobu).

1200 miliárd dolárov za rok: svetový zbrojný rozpočet [ym46a9]. (200 dolárov na osobu na svete).

2000 miliárd dolárov alebo viac: náklady USA [99bpt] na vojnu v Iraku podľa nositeľa Nobelovej ceny ekonóma Josepha Stiglitz. (7000 dolárov na osobu v Amerike).

Podľa Sternovej správy globálne náklady pre odvrátenie klimatickej zmeny (ak budeme konať teraz) sú 440 miliárd dolárov každý rok (440 dolárov ročne na osobu, po rozdelení medzi 1 miliardu najbohatších ľudí). V roku 2005 iba vláda USA minula na vojny alebo ich prípravu 480 miliárd dolárov. Celkové vojenské výdaje 15 krajín s najväčším rozpočtom predstavujú 840 miliárd dolárov.

*Výdaje, ktoré **nestoja** miliardy*

0,0012 miliardy libier za rok: najmenšiu položku britskej vlády na obrázku 28.5 predstavujú investície do výskumu a vývoja obnoviteľných zdrojov (0,20 libier na osobu za rok).

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

215 Obrázok 28.2. Predpokladal som, že slnečné fotovoltaické parky majú výkon na plochu 5 W/m², rovnaký, ako Bavorský park na strane 39, takže každý park na mape dodáva v priemere 100 MW. Ich celková priemerná výroba by bola 5 GW, čo vyžaduje zhruba 50 GW maximálnej kapacity (to je 16-krát väčšia kapacita, ako malo Nemecko v roku 2006).

Žlté šesťuholníky predstavujúce slnečnú energiu s technológiou zakoncentrovania majú každý priemerný výkon 5 GW; je potreba dva šesťuholníky pre pohon jednej z „krúžkov“ v kapitole 25.

217 Vládna správa, o ktorej informoval Guardian... Podľa správy Guardianu, 13. augusta 2007 [2bmuod] „Vládni predstavitelia tajne informovali ministrov, že Británia nemá nádej splniť ani vzdialene nové ciele Európskej únie o obnoviteľnej energii, ktoré podpísal Tony Blair na jar – a predpokladal, že sa podarí nájsť spôsob, ako sa z toho vykrútiť.“

Dokument možno nájsť na [3g8nn8].

219 ...parfum... Zdroj: Worldwatch Institute
www.worldwatch.org/press/news/2004/01/07/

221 ...na vojny alebo ich prípravu... www.conscienceonline.org.uk

- **Vládne investície do výskumu a vývoja obnoviteľných zdrojov.** V roku 2002-3, záväzok britskej vlády na financovanie výskumu a vývoja obnoviteľných zdrojov energie bol 12,2 milióna libier. Zdroj: Výbor Snemovne Lordov pre vedu a technológiu, 4. správa zasadnutia 2003-04. [3jo7q2]

Porovnateľne malé sú aj prostriedky vlády pre Program nízko uhlíkových budov, 0,018 mld libier/rok sa delí medzi vietor, biomasu, solárny ohrev vody/fotovoltaiku, tepelné čerpadlá zem-vzduch a zem-voda, malé vodné elektrárne a mikro CHP.

29 Čo robiť teraz

Ak nebudeme konať teraz, nie v budúcnosti, ale teraz, tak dopady zmien, akokoľvek zničujúce, budú nezvratné. Takže neexistuje nič dôležitejšie, naliehavejšie a žiaducejšie, čo by vyžadovalo vlastný príklad.

Tony Blair, 30 október 2006

aj keď je to trochu nepraktické...

Tony Blair, o dva mesiace neskôr,
pri odpovedi na poznámku, že by *on sám* mal ísť
príkladom a nelietat' na dovolenku na Barbados.

Čo by sme mali robiť čiastočne závisí od našej motivácie. Spomeňme si, že na strane 5 sme rozoberali tri motivácie pre nepoužívanie fosílnych palív: koniec lacnej ropy, energetickú bezpečnosť a klimatickú zmenu. Predpokladajme, že nás motivuje klimatická zmena – že chceme radikálne znížiť emisie uhlíka. (Kto neverí na klimatickú zmenu, môže túto časť preskočiť a pridať sa k zvyšku na strane 223.)

Čo robiť so znečistením uhlíkom?

Nesmerujeme k budúcnosti s nulovými emisiami uhlíka. Dlhodobé investície sa nekonajú, napriek radám klimatológov a ekonómov, že na to, aby sme sa vyhli nebezpečnej klimatickej zmene, bude veľmi pravdepodobne nutné uhlík z atmosféry odčerpať. Ten dokonca ani nezachytáva žiadna uhoľná elektrárňa (okrem jedného malého prototypu v Nemecku).

Prečo nie?

Je hlavný problém, že znečistenie uhlíkom nie je vhodne spoplatnené? A nič nezaručuje, že sa tak stane v budúcnosti. Keď hovorím „vhodne“, mám na mysli to, že cena vypúšťania oxidu uhličitého by bola taká, aby každá uhoľná elektrárňa mala zariadenie na jeho zachytávanie.

Riešenie klimatickej zmeny je komplexný problém, ale tu je jeho najjednoduchšie možné riešenie: cena oxidu uhličitého musí byť taká, že ľudia *prestanú spaľovať uhlie bez zachytávania emisií*. Toto pravidlo skrýva veľkú časť riešenia, pretože z dlhodobého hľadiska je uhlie najvýznamnejšie. (Znižovanie emisií z ropy a plynu je druhoradé, pretože ťažba oboch zdrojov by mala nasledujúcich 50 rokov klesať).

Takže, čo musia urobiť politici? Musia zabezpečiť, aby všetky uhoľné elektrárne dokázali uhlík zachytiť. Prvý krok na dosiahnutie tohto cieľa je vládou podporované financovanie rozsiahlych demonštračných projektov, ktoré by určili najlepšie spôsoby zachytávania uhlíku; v druhom kroku musia politici zmeniť dlhodobé regulácie pre elektrárne, tak že tá najlepšia technológia bude zavedená vo všetkých elektrárnach. Moja rada na

uskutočnenie tohto druhého kroku je schválenie zákona – od určitého dátumu – podľa ktorého *musia všetky uhoľné elektrárne zachytávať uhlík*. Avšak zdá sa, že väčšina demokratických politikov sa domnieva, že najlepší spôsob, ako zavrieť dvere, je vytvorenie takých podmienok na trhu, ktoré nechajú dvere otvorené. Takže, ak prijmeme dogmu, že problém klimatickej zmeny vyrieši trhový mechanizmus, ako dosiahneme náš cieľ – aby všetky uhoľné elektrárne uhlík zachytávali? No, môžeme skúsiť obchodovanie s emisiami – obchodovanie s povolenkami vypúšťať uhlík, kde jednu tonu zachyteného uhlíka možno vymeniť za povolenku na vypustenie jednej tony uhlíka. Majitelia uhoľných elektrární však budú investovať do technológie na zachytávanie uhlíka iba v prípade, ak budú mať istotu, že cena uhlíka bude dostatočne dlho vysoká, takže zariadenia na zachytávanie uhlíka sa vyplatia. Podľa expertov je dlhodobá cena, ktorá toto zabezpečí, približne na úrovni 100 dolárov za tonu CO₂.

Stále rozmýšľam, či by nebolo lepšie zatvoriť dvere hneď, než ako nechať všetko na voľný trh, ktorý iba *uvažuje o zatvorení dverí*.

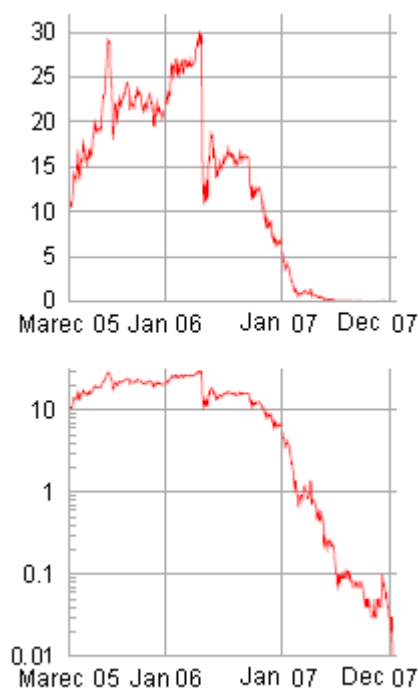
Energetická politika v Británii je nezmyselná. Neprinesie bezpečnosť. Neprinesie naše sľuby ohľadom klimatickej zmeny. Nepostačuje pre potreby najchudobnejších krajín sveta.

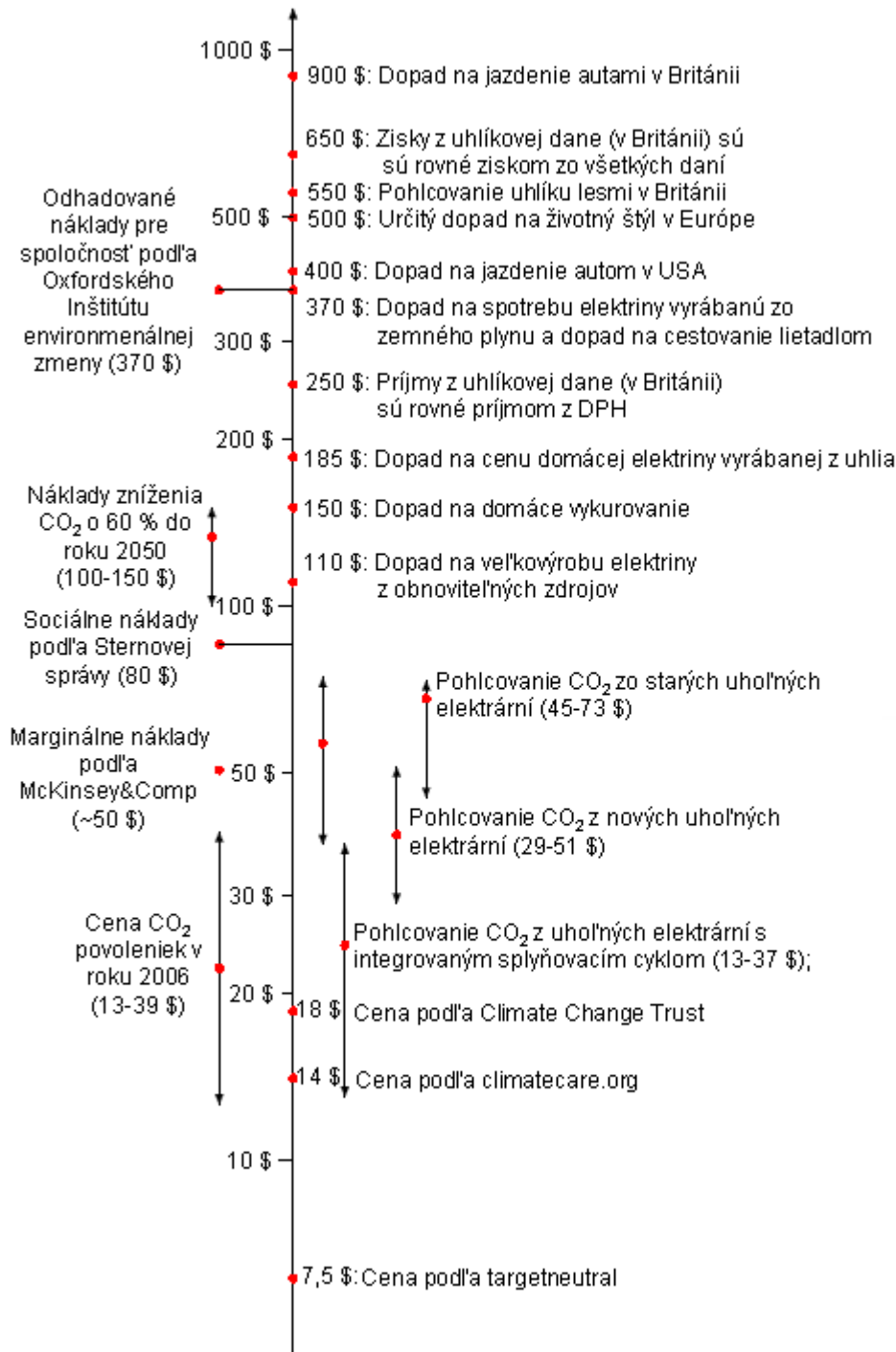
Lord Patten z Barnes, predseda výkonného výboru pre energetiku a klimatickú zmenu Oxfordskej univerzity, 4. jún 2007.

Čo robiť s výrobou energie?

Rozšírme naše motivácie a predpokladajme, že chceme prestať využívať fosílna palivá, aby sme zabezpečili bezpečné dodávky energie.

Čo by sme mali robiť, aby sme zaviedli rozvoj výroby energie, ktorá by bola nezávislá od fosílnych palív, a aby sme zaviedli opatrenia na zvyšovanie energetickej účinnosti? Jeden z prístupov je: „Nechajme to na voľný trh. Zdražovanie fosílnych palív zvýhodní obnoviteľné a jadrové zdroje energie a racionálny spotrebiteľ uprednostní účinné technológie.“ Zdá sa mi čudné, že ľudia veria vo voľný trh, keď nás trhy pravidelne vystavujú rozmachom a úpadkom, úverovým krízam a kolapsom bánk. Voľné trhy predstavujú dobrý spôsob na uskutočňovanie krátkodobých rozhodnutí – investícií, ktoré sa vrátia v priebehu približne 10 rokov – môžeme však očakávať, že trhy budú robiť dobré rozhodnutia týkajúce sa energetiky, ktorých dopady môžu trvať mnoho desaťročí alebo storočí?





Obrázok 29.2. Aká by musela byť cena CO₂, aby významne ovplyvnila správanie sa spoločnosti v znečisťovaní týmto plynom? Diagram ukazuje cenu oxidu uhličitého (za tonu), pri ktorej sa určité investície stanú ekonomické, alebo bude významne ovplyvnené určité správanie, pri predpoklade, že hlavný vplyv na používanie áut a lietadiel sa dostaví, ak zvýšená cena CO₂ zdvojnásobí cenu danej aktivity. Ak sa zvýši cena o 20 – 70 dolárov za tonu, CO₂ by bolo dostatočne drahé pre zavedenie technológie pohlčovania ku starým aj novým uhoľným elektrárnám. Cena 110 dolárov za tonu by premenila rozsiahle projekty na výrobu elektriny z obnoviteľných zdrojov, ktoré dnes stoja o 3 pence za kWh viac ako elektrina zo zemného plynu z nerealistických na finančne zmysluplné. Napríklad navrhovaná priehrada Severn by vyrábala prílivovú energiu za cenu 6 penci za kWh, čo je o 3,3 pence viac ako bežná cena 2,7 pence za kWh; ak by každých 1000 kWh z priehrady znížili znečistenie CO₂ o jednu tonu pri cene 60 libier za tonu, priehrada Severn by sa viac ako uživila. Pri cene 150 dolárov za tonu by domáci spotrebiteľia zemného plynu pocítili cenu uhlíka na svojich účtoch. Pri cene 250 dolárov za tonu by vzrástla cena barelu ropy o 100 dolárov. Pri cene 370 dolárov by znečistenie uhlíkom bolo dostatočné na zníženie používania lietadiel. Pri cene 500 dolárov za tonu by priemerní Európania, ktorí dovtedy nezmenili svoj životný štýl, mohli minúť 12 % svojich príjmov na zvýšenú cenu jazdenia, lietania a vykurovania domov zemným plynom. A pri cene 900 dolárov za tonu by sa cena uhlíka prejavila pri jazdení autom.

Ak necháme stavbu domov na voľný trh, zostanú nám domy, ktoré sú iba slabo zaizolované. Moderné domy sú oveľa viac energeticky úsporné iba vďaka legislatíve.

Voľné trhy nie sú zodpovedné za stavbu ciest, železníc, pruhov vyhradených pre autobusy, parkovísk pre autá, alebo cyklotrás. Ale stavba ciest a poplatky za parkovanie a bicyklovanie majú významné dopady na rozhodovanie ľudí o spôsobe dopravy. Podobne ako zákony plánovania, ktoré rozhodujú o tom, *kde* je možné postaviť domy a pracoviská a *ako nahusto* v krajine budú tieto domy stáť, majú rozhodujúci vplyv na to, aké spôsoby cestovania si budú ľudia voliť. Ak postavíme nové mesto bez železničnej stanice, nie je veľmi pravdepodobné, že by ľudia tohto mesta cestovali na dlhšie vzdialenosti vlakom. Ak sú domy a príslušné pracoviská vzdialené od seba viac ako niekoľko kilometrov, mnoho ľudí bude mať pocit, že jediný spôsob ako sa dopraviť do práce, je pomocou auta.

Jeden z najväčších požieračov energie je výroba rozličných predmetov; v prípade voľného trhu nás mnoho výrobcov zásobuje výrobkami, ktoré majú úmyselne krátku trvanlivosť, zásobuje nás výrobkami, ktoré je nutné zahodiť a nahradiť. Týmto spôsobom si výrobcovia zabezpečujú predaj ďalších výrobkov.

Takže hoci voľné trhy nepochybne zohrávajú svoju úlohu, je hlúpe tvrdiť „nechajme na voľný trh *všetko*“. Nepochybne sa potrebujeme baviť o legislatíve, reguláciách a daniach.

Zelený daňový systém

Potrebujeme zmeniť naše poplatky a daňový systém od základov. Cieľom je väčšie zdanenie znečistenia – hlavne fosílnych palív - a menšie zdanenie práce.

Nicolas Šarkózy, francúzsky prezident

V súčasnosti je oveľa výhodnejšie kúpiť si novú mikrovlnnú rúru, DVD prehrávač alebo vysávač, ako ich dať opraviť. To je bláznivé.

Toto bláznovstvo je čiastočne spôsobené naším daňovým systémom, ktorý zdaňuje prácu opravára mikrovlnných rúr a zahlcuje ho časovo náročným vypisovaním papierov. Robí *dobrú* vec, opravuje moju mikrovlnnú rúru! – ale daňový systém mu sťažuje jeho podnikanie.

Myšlienka „zeleného daňového systému“ je presunutie daní z „dobrých vecí“, ako je práca, na „zlé veci“, ako je poškodzovanie životného prostredia. Zástancovia ekologickej dane predpokladajú zníženie daní na „dobré veci“ o rovnaké zvýšenie daní na „zlé veci“, takže takáto daňová reforma by bola ziskovo neutrálna.

Uhlíková daň

Ak chceme presadzovať nízko uhlíkové technológie, najdôležitejšie je zvýšenie dane, ktorá zvýši cenu uhlíka. Cena uhlíka musí byť dostatočne

vysoká, aby to podporilo investície do alternatív k fosílnym palivám a investície do úspor. Všimnite si, že toto je presne rovnaký prístup ako v predchádzajúcej časti. Takže, či už je vašou motiváciou riešenie klimatickej zmeny, alebo energetická bezpečnosť, návrh opatrení je rovnaký: potrebujeme stabilnú a dostatočne vysokú cenu uhlíka. Obrázok 29.2 naznačuje veľmi hrubo rôzne ceny uhlíka, ktoré je potrebné na uskutočnenie rôznych zmien v správaní a investíciách; a oveľa nižšie ceny organizácií, ktoré tvrdia, že „neutralizujú“ emisie skleníkových plynov. Ako najlepšie zaviesť vysokú cenu uhlíka? Je správnou cestou európska schéma obchodovania s emisiami? (Obrázok 29.1)? Táto otázka je doménou pre ekonómov a expertov na medzinárodnú politiku. Názor ekonómov z Cambridge Michaela Grubba a Davida Newberyho je, že európska schéma obchodovania s emisiami nie je vhodná – „súčasný nástroj nezabezpečia dostatočnú investičnú motiváciu.“

Časopis *The Economist* odporúča ako primárny mechanizmus uhlíkovú daň na podporu čistých zdrojov energie. Zoskupenie Quality of Life Policy Group Konzervatívnej strany takisto zvýšenie ekologických daní a zníženie iných daní – „posun od *platiť, ak zarábaš*, k *platiť, ak spaľuješ*.“ Kráľovská komisia pre environmentálne znečistenie (The Royal Commission on Environmental Pollution) tiež hovorí, že Británia by mala zaviesť uhlíkovú daň. „Mala by smerovať k zdrojom a pokrývať všetky sektory“.

Takže existuje jasná podpora pre vysokú uhlíkovú daň zároveň so znížením daní zo zamestnania, daní zo zisku spoločnosti a daní z pridanej hodnoty. Ale samotné dane a trhy neprinesú všetky požadované potrebné zmeny. Tento prístup pomocou daní a trhov zlyháva, ak sa spotrebiteľia niekedy chovajú iracionálne, ak spotrebiteľia uprednostňujú krátkodobú hotovosť pred dlhodobými úsporami, alebo ak nakupujúci človek neplatí všetky náklady spojené s daným tovarom.

Naozaj, veľa obchodných značiek je „uspokojujúco drahých“. Spotrebiteľia si však tovar nevyberajú iba podľa jeho ceny. Mnohí dbajú viac na imidž a vnem okolia a niektorí kupujú drahé veci zámerne.

Keď sa už zbytočná vec kúpi, je neskoro. Je nevyhnutné, aby sa zbytočné veci nevyrábali vôbec; alebo ak už, tak spotrebiteľ pri ich nákupe by mal mať motiváciu, aby zbytočné veci nekupoval.

Prekážka pri vstupe

Predstavte si, že uhlíková daň je dostatočne vysoká na to, aby nová hypermoderná hračka stála o 5 % menej ako jej dlhodobá vysoko uhlíková protivníčka Dino-hračka, ak by bola masovo vyrábaná v rovnakých množstvách. Vďaka šikovnej technológii sú uhlíkové emisie eko-hračky nižšie o neuveriteľných 90 % ako emisie Dino-hračky. Je jasné, že pre spoločnosť by bolo dobré, ak by dnes každý nakupoval Eko-hračky. Ale v súčasnosti je predaj Eko-hračiek nízky, takže ekonomické náklady na výrobu sú vyššie ako u Dino-hračiek. Iba zopár eko-bojovníkov a bielych plášťov kúpi Eko-hračky a Ekohračky s. r. o. sú z hry von.

Možno sú nevyhnutné zásahy vlády, aby urýchlili takúto zmenu a dali šancu inováciám. Možno podpora pre výskum a vývoj? Či daňové stimulácie uprednostňujúce nové výrobky (tak ako daňové stimulácie, ktoré urýchlili prechod z olovnatého na bezolovnatý benzín)?

Problém malých rozdielov nákladov

Predstavte si ako sa Ekohračky s. r. o. vyvíja zo žubrienky na žabu, a že uhlíková daň je dostatočne vysoká na to, aby Eko-hračky naozaj stáli o 5 % menej ako jej odveký rival Dino-hračky s. r. o. Uhlíková daň určite prispeje k tomuto úspechu a teda všetci spotrebitelia budú nakupovať nízko-uhlíkové hračky? Cha! V prvom rade mnoho spotrebiteľov 5 % rozdiel v cene príliš nerozlišuje. Rozhodujúci je imidž. V druhom rade ak sa spotrebitelia cítia Eko-hračkami ohrození, Dino-hračky s.r.o. znovu rozbehnú svoju výrobu a zdôraznia, že sú vlasteneckejší a zároveň aj ekologickejší a ukážu známe osobnosti so starými dobrými Dino-hračkami. „Skutoční muži kupujú Dino-hračky“. Ak to nezaberie, Dino-hračky uverejnia tlačové správy, podľa ktorých vedci nevyhlásili možnosť, že dlhodobé používanie Eko-hračiek môže spôsobiť rakovinu, poukazujúc na prípad starej pani zavalenej Eko-hračkami, alebo že Eko-hračky škodia menej nápadným netopierom. Strach, neistota, pochybnosti. Ako plán B by Dino-výrobky mohla kúpiť spoločnosť vyrábajúca Eko-hračky. Víťazný výrobok by nemal nič spoločné s úsporami energie, ak je rozdiel v cene iba 5 %.

Ako vyriešiť tento problém? Možno, že vlády by jednoducho mali zakázať predaj Dino-hračiek (tak ako je zakázaný predaj olovnatého benzínu)?

Problém Larryho a Tiny

Predstavte si, že správca Larry prenajme byt podnájomníčke Tine. Larry je zodpovedný za údržbu bytu a poskytuje jeho vybavenie a Tina platí mesačné účty za teplo a elektrinu. A tu je problém: Larry nemá motiváciu investovať do úsporných spotrebičov, ktoré znížia účty pre Tinu. Mohol by inštalovať úspornejšie žiarivky a ekonomickejšiu chladničku; tieto ekologické doplnky by s prehľadom splatili zvýšené náklady v priebehu svojho dlhého života; ale je to Tina, ktorá z toho profituje, nie Larry. Podobne Larry nemá vysokú motiváciu, aby lepšie zaizoloval byt, alebo dal dvojité okná, najmä ak riskuje, že Wash, priateľ Tiny, môže tieto okná rozbiť kameňom, keď sa opije. Teoreticky by v prípade dokonalého trhu Larry a Tina robili tie „správne“ rozhodnutia: Larry by zaviedol všetky energeticky úsporné opatrenia a mierne by zvýšil nájom pre Tinu; Tina by si uvedomila, že moderný a dobre vybavený byt by bol pre život napokon lacnejší, a rada by preto zaplatila vyššie nájomné; Larry by vyžadoval zvýšené poplatky v prípade poškodenia nových drahých okien; a Tina by reagovala racionálne tým, že by Wayne vyhnila. Na druhú stranu si

nemyslím, že Tina a Larry by niekedy mohli predstavovať dokonalý trh. Tina je chudobná a má problémy s platením vysokých záloh. Larry si veľmi želá prenajať byt, takže Tina neverí jeho uisteniam o pravdivosti nízkych účtov za energiu a podozrieva Larryho zo zveličovania.

Takže je potrebná určitá forma zásahu, aby Larry a Tina mohli uskutočniť tie správne rozhodnutia – napríklad vláda by mohla uzákoniť vysoké dane na neúčinné zariadenia; zakázať predávanie všetkých chladničiek, ktoré nespĺňajú ekonomické štandardy; mohla by požadovať vysoké štandardy na izoláciu budov; alebo zaviesť systém povinného a nezávislého hodnotenia bytov, takže Tina by si mohla prečítať energetické hodnotenie bytu pred jeho prenajatím.

Investície do výskumu a vývoja

Využívame iba minimálne prostriedky, ktoré vláda vyčlenila (12,2 milióna libier v 2002 – 03) na výskum a vývoj v oblasti obnoviteľných zdrojov... Ak máme využívať v Británii iný zdroj energie ako vietor, musí sa to zmeniť. Nemôžeme sa vyhnúť záveru, že vláda neberie energetické problémy dostatočne vážne.

Výbor pre vedu a technológiu Snemovne lordov

Nepřítomnosť vedeckého pochopenia často vedie k povrchným rozhodnutiam. Názornou ukážkou toho bol energetický biely papier z roku 2003. Nenazýval by som ho verejne amatérskym, ale neriešil problém žiadnym realistickým spôsobom.

Sir David King, bývalý hlavný vedecký poradca

Práca pre vládny Poradenský výbor pre obnoviteľné zdroje... bolo ako sledovanie niekoľkých tuctov epizód Áno, pán minister v spomalenom filme. Nemyslím, že by táto vláda mala kedy serióznym záujem o obnoviteľné zdroje.

Jeremy Leggett, zakladateľ Solarcentury

Myslím, že čísla hovoria za všetko. Len sa pozrite na obrázok 28.5 (strana 218) a porovnajte miliardy spotrebované na rekonštrukcie a vojenské hračky so stonásobne menšími výdajmi na výskum a vývoj spojený s obnoviteľnými zdrojmi energie. Trvá desiatky rokov, kým sa vyvinú obnoviteľné technológie, ako napríklad prílivová energia, koncentračná slnečná energia a fotovoltaika. Jadrová fúzia zaberie takisto desaťročia. Všetky tieto technológie potrebujú prednostnú podporu, aby dokázali uspieť.

Čo môže urobiť jednotlivec

Niekedy sa ma ľudia pýtajú „Čo by som mal robiť“? Tabuľka 29.3 ukazuje osem jednoduchých osobných činností, ktoré by som odporúčal a *veľmi* hrubé odhady úspor dosiahnutých týmito činnosťami. Pri splnení podmienok. Vaše úspory budú závisieť od vášho štartovacieho miesta. Čísla v tabuľke 29.3 predpokladajú štartovacie miesto nadpriemerného konzumenta.

Jednoduchá aktivita	možné úspory
Oblečte si vlnený sveter a znížte svoj termostat (na 15 či 17 °C). Dajte si termostaty na všetky radiátory. Zaisťte, že sú vypnuté, ak v byte nikto nie je. V práci robte to isté.	20 kWh/d
Sledujte všetky svoje merače (na plyn, elektrinu, vodu) každý týždeň a nájdite jednoduché spôsoby zníženia spotreby (napríklad vypínanie spotrebičov). Porovnajte výsledky s priateľmi. Sledujte odber energie aj v práci a robte tak neustály energetický audit.	4 kWh/d
Prestaňte lietať.	35 kWh/d
Jazdite menej, jazdite pomalšie, plynulejšie, s viacerými ľuďmi, pridajte sa do autoklubu, bicyklujte, využívajte viac chodenie, cestujte vlakmi a autobusmi.	20 kWh/d
Používajte staré zariadenia (napr. počítače); nevymieňajte ich príliš skoro.	4 kWh/d
Vymeňte svetlá za úsporné alebo LED-ky.	4 kWh/d
Nekupujte zbytočnosti. Vyhnite sa baleniu.	20 kWh/d

Tabuľka 29.3. Osem jednoduchých osobných aktivít.

Zatiaľ čo tieto aktivity je pomerne jednoduché uskutočniť, aktivity v tabuľke 29.4 vyžadujú o niečo viac plánovania, odhodlania a peňazí.

Náročnejšie aktivity	možné úspory
Zabráňte únikom tepla.	5 kWh/d
Vybavte sa dvojitými oknami.	10 kWh/d
Zlepšite izoláciu stien, strechy a podlahy.	10 kWh/d
Vybavte sa slnečnými kolektormi.	8 kWh/d
Vybavte sa fotovoltaickými panelmi.	5 kWh/d
Zbúrajte staré budovy a postavte nové.	35 kWh/d
Nahraďte vykurovanie fosílnymi palivami tepelným čerpadlom zem-zem alebo zem-vzduch.	10 kWh/d

Tabuľka 29.4. Sedem náročnejších aktivít

A nakoniec tabuľka 29.5 ukazuje pár aktivít, ktoré vám prinesú menšie úspory.

Aktivita	možné úspory
Perte bielizeň v studenej vode.	0,5 kWh/d
Prestaňte používať sušičku; bielizeň vešajte na šnúru alebo sušiak.	0,5 kWh/d

Tabuľka 29.5. Niekoľko činností s menšími úsporami

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

222 „*aj keď je to trochu nepraktické*“ Celý transkript rozhovoru s Tonym Blairom (z 9. januára 2007) je tu [2ykgfw]. Tu je ešte niekoľko úryvkov z neho:

Novinár: Rozmýšľali ste niekedy o tom neletieť na dovolenku na Barbados, aby ste ušetrili preletenú vzdialenosť?

Tony Blair: Úprimne, zdráhal by som sa vzdať svojej zahraničnej dovolenky.

Novinár: To by znamenalo jasný signál, ale iba v prípade, ak by sme nevideli túto dlhú a veľkú cestu cez mraky? ... – čo tak dovolenka bližšie domu?

Tony Blair: Áno – ale osobne sa domnievam, že je trochu nepraktické očakávať od ľudí, aby robili takéto veci. Myslím, že to čo potrebujeme, je nájsť spôsob, aby bolo cestovanie energeticky účinnejšie, potrebujeme palivá, ktoré spália menej energie a vypustia menej emisií. Napríklad nové návrhy lietadiel sú oveľa menej energeticky náročné.

Viem, že – ľudia si pravdepodobne myslia, že premiér by nemal chodiť na dovolenku vôbec, ale myslím si, že ak to čo v tejto oblasti urobíme, bude stanovenie nerealistických cieľov, myslím tým, ak povieme ľuďom, že zrušíme možnosť lacného cestovania lietadlom... Viete, stále čakám na prvého politika, ktorý sa uchádza o miesto v úrade, ktorý nastúpi a povie to – ale takí neprídu.

Iná citácia: “Ak nebudeme konať teraz, nie v nejakej vzdialenej budúcnosti, ale teraz, tak dopady zmien, akokoľvek zničujúce, budú nezvratné. Takže neexistuje nič dôležitejšie, nič najliehvejšie, alebo nič, čo by väčšmi vyžadovalo vlastný príklad,” povedal Tony Blair v príhovore ku Stermovej správe, 30. októbra 2006 [2nsvx2]. Pozri aj [yxq5xk] pre ďalší komentár.

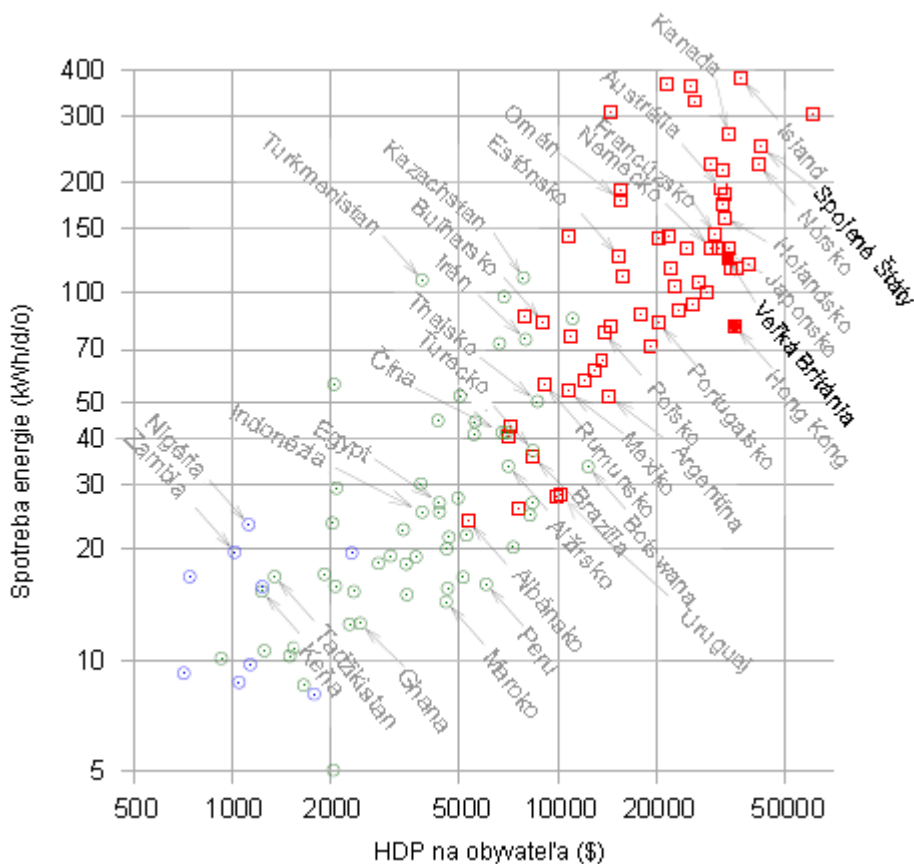
225 *Ekologická daňová reforma*. Pozri Zelený daňový výbor, www.greenfiscalcommission.org.uk.

226 Časopis *The Economist* odporúča uhlíkovú daň. „Nový vek jadrovej energie,“ *The Economist*, 8. september 2007.

- *Zoskupenie Quality of Life Policy Group Konzervatívnej strany* – Gummer a kol. (2007).

30 Energetické plány pre Európu, Ameriku a Svet

Obrázok 30.1 znázorňuje spotrebu elektrickej energie mnohých krajín a regiónov v závislosti od ich hrubého domáceho produktu (HDP). Všeobecne sa predpokladá, že rozvoj ľudstva a rast sú dobré, takže pri tvorení plánov trvalo udržateľnej energie budem predpokladať, že krajiny s nízkym HDP na obyvateľa budú postupovať v grafe na Obr. 30.1 doprava. Nárast HDP týchto krajín bude prirodzene spojený aj s rastom spotreby elektrickej energie. Nie je jasné s akou úrovňou spotreby by sme mali počítať, ale myslím, že priemerná spotreba Európy (125 kWh za deň na osobu) sa zdá byť rozumný predpoklad; alebo môžeme predpokladať, že opatrenia na zvýšenie energetickej účinnosti, podobné ako sme načrtli v modeli Británie v kapitolách 19 – 28, umožnia všetkým krajinám dosiahnuť životnú úroveň Európy aj pri nižšej spotrebe elektrickej energie. V návrhu spotreby energie na strane 204, klesla spotreba Británie na približne 68 kWh/d/o. Majúc však na pamäti, že tento model má nízku priemyselnú aktivitu, bolo by pravdepodobne rozumnejšie počítať s o niečo vyššou hodnotou, akú má napríklad Hong Kong s 80 kWh/d/o.



Prehodnotenie výpočtov pre Európu

Dokáže žiť Európa z obnoviteľných zdrojov energie?

Priemerná hustota populácie Európy dosahuje zhruba polovicu tej v Británii, takže tu je viac priestoru na rozsiahle zariadenia obnoviteľných zdrojov. Rozloha EÚ je približne 9 000 m² na osobu. Ale mnohé obnoviteľné zdroje v Európe majú nižšiu hustotu výkonu ako v Británii: väčšina Európy má menej vetra, menej vln, prílivov a odlivov. Niektoré oblasti majú viac energie z vody (Škandinávia a stredná Európa); a niektoré zo Slnka. Poďme si to overiť v približných číslach.

Vietor

Priemerná rýchlosť vetra v srdci kontinentálnej Európy je v priemere nižšia ako na Britských ostrovoch – napríklad väčšina Talianska má priemernú rýchlosť vetra pod 4 m/s. Predpokladajme, že pätina Európy má oblasti s vetrom postačujúcim pre ekonomicky využiteľné veterné elektrárne s hustotou výkonu 2 W/m² a tiež predpokladajme postup ako v prípade Británie v kapitole 4, že z nich 10 % pokryjeme elektrárnami. V EÚ pripadá v priemere 9 000 m² na osobu. To znamená:

$$\frac{1}{5} \times 10 \% \times 9000 \text{ m}^2 \times 2 \text{ W/m}^2 = 360 \text{ W}$$

čo predstavuje 9 kWh/d na osobu.

Energia riek

Európa získava celkovo z vody 590 TWh/r elektriny, alebo 67 GW; po rozdelení medzi 500 miliónov to je 3,2 kWh/d na osobu. Dominuje najmä Nórsko, Francúzsko, Švédsko, Taliansko, Rakúsko a Švajčiarsko. Ak by každá krajina zdvojnásobila množstvo svojho výkonu – čo by podľa mňa bolo veľmi náročné – získavali by sme z vody 6,4 kWh/d na osobu.

Morské vlny

Zoberme do úvahy celú dĺžku Atlantického pobrežia (asi 4 000 km) a vynásobme to priemernou rýchlosťou výroby energie 10 kW/m, dostaneme 2 kWh/d na osobu. Baltické a Stredozemné pobrežie nemajú vhodné zdroje energie vln.

Príliv a odliv

Zdvojnásobením odhadu celkovej výroby z tohto zdroja (11 kWh za deň na osobu, z kapitoly 14) zahrnieme aj francúzske, írské a nórske prílivové zdroje a rozdelením medzi 500 miliónov obyvateľov získame tak

2,6 kWh/d na osobu. Opäť sme do úvahy nebrali pobrežia Baltického a Stredozemného mora, kde sa príliv a odliv prejavuje minimálne.

Slnečná fotovoltaika a slnečné kolektory na strechách

V porovnaní s Veľkou Britániou je väčšina oblastí kontinentálnej Európy slnečnejších, takže solárne panely by tu dodávali viac výkonu. 10 m² strešných FV článkov južne od Británie by dodávalo priemerne okolo 7 kWh/d. Podobne, 2 m² kolektorov na ohrev vody by dodávalo 3,6 kWh/d tepla. (Nevidím veľký zmysel uvažovať o viac ako 2 m² kolektorov na osobu, pretože táto plocha by mala stačiť na uspokojenie priemernej potreby jedného človeka na teplú vodu).



Čo ďalej?

Doteraz máme spolu $9 + 6,4 + 2 + 2,6 + 7 + 3,6 = 30,6$ kWh/d na osobu. Nehovorili sme už iba o geotermálnej a veľkoplošnej slnečnej energii v elektrárňach (so zrkadlami, článkami, alebo prostredníctvom biomasy).

Geotermálna energia by mohla fungovať, ale ešte je vo fáze výskumu. Navrhujem počítať s ňou ako s jadrovou fúziou: dobrá investícia, ale nemožno sa na ňu zatiaľ spoliehať.

A čo teda slnečné elektrárne? Predstavme si, že by 5 % rozlohy Európy (450 m² na osobu) bolo pokrytých slnečnými FV elektrárňami, podobnými tým z Bavarska na obr. 6.7 (s hustotou výkonu 5 W/m²). Takto by sme v priemerne získali:

$$5 \text{ W/m}^2 \times 450 \text{ m}^2 = 54 \text{ kWh/d na osobu.}$$

Slnečné elektrárne by teda mohli významne prispievať. Veľkým problémom fotovoltaiky je jej cena. Problematické je aj získavanie elektrickej energie počas zimy!

Energetické plodiny? Rastliny zachytávajú iba 0,5 W/m² (Obr. 6.11). Ak bude chcieť byť Európa potravinovo sebestačná, potom prínos plodín na energetické účely nemôže byť významný. Áno, občas sa bude pestovať tu repka olejná a niekde inde les, ale neviem si predstaviť, že by celkový prínos energetických plodín presiahol 12 kWh/d na osobu.

Konečný súčet

Buďme realisti. Podobne ako Británia, ani Európa nemôže žiť z vlastných obnoviteľných zdrojov energie. Takže, ak je cieľom odstaviť fosílnu palivá, Európa musí využívať buď jadrovú energiu, alebo slnečnú energiu z púští mimo Európy (ako sme rozoberali na strane 179), alebo oboje.

Prehodnotenie výpočtov pre Severnú Ameriku

Priemerný Američan spotrebuje 250 kWh/d na osobu. Je možné túto spotrebu dosiahnuť obnoviteľnými zdrojmi? Čo ak si predstavíme zavedenie drastických úsporných opatrení (napríklad účinné autá či vysokorýchlostné elektrické vlaky), takže Američania by prešli na chabú spotrebu 125 kWh/d priemerného Európana alebo Japonca?

Vietor

Elliott a kol. (1991) sa zaoberal analýzou potenciálu veternej energie v USA. Podľa tejto štúdie sú najveternejšie oblasti v Severnej Dakote, Wyomingu a Montane. Zistili, že 435 000 km² najveternejších miest je možné využiť s pomerne malým množstvom turbín a dokázali by zabezpečiť 4600 TWh elektrickej energie za rok, čo znamená **42 kWh za deň na osobu** po rozdelení medzi 300 miliónov ľudí. Autori predpokladali hustotu výkonu 1,2 W/m² – teda menej ako naše 2 W/m² v kapitole 4. Rozloha týchto veterných elektrární, teda 435 000 km², predstavuje približne územie Kalifornie. Veterné turbíny by tak celkovo dodávali (pri využiteľnosti 20%) asi 2600 GW, čo by znamenalo 200-násobný nárast využitia vetra v USA.

Vietor na mori

Ak predpokladáme, že všetky pobrežné morské plytčiny s plochou zodpovedajúcou štátom Delaware a Connecticut (t. j. 20 000 km², podstatná časť všetkých plytčín na východnom pobreží USA) by sme pokryli elektrárnami s hustotou výkonu 3 W/m², získali by sme priemerný výkon 60 GW. Rozdelením To predstavuje **4,8 kWh/d a osobu** po rozdelení medzi 300 miliónov ľudí. Znamenalo by to 15-násobný nárast oproti súčasnému využitiu vetra v USA.

Geotermálna energia

V kapitole 16 som spomenul štúdiu MIT (Massachusettský technologický inštitút, 2006) týkajúcu sa geotermálnej energie. Autori v nej vyzdvihli potenciál geotermálnej energie v Severnej Amerike, najmä na západe USA s teplejším horninovým podloží. “S dostatočnými investíciami do výskumu a vývoja by výkonnejšie geotermálne zariadenia poskytovali najmenej 100 GW(e) výkonu pri nízkych cenách v najbližších 50 rokoch. Navyše, tieto systémy by v dlhodobom horizonte predstavovali zdroj bezpečnej elektrickej energie.” Predpokladajme, že autori štúdie majú pravdu. Ak rozdelíme tento výkon medzi 300 miliónov obyvateľov USA, získame tak **8 kWh/d na osobu**.

Energia vody

Zariadenia na výrobu elektriny z vody v Kanade, USA a Mexiku vyrábajú 660 TWh ročne. Rozdelením medzi 500 miliónov obyvateľov dostaneme celkovo 3,6 kWh/d na osobu. Bolo by možné takúto výrobu energie zdvojnásobiť? Ak áno, mali by sme k dispozícii **7,2 kWh za deň na osobu**.

Čo ďalej?

Celkový súčet je zatiaľ $42 + 4,8 + 8 + 7,2 = 62$ kWh/d na osobu. Nie dosť ani pre Európana! Mohol by som hovoriť aj o ďalších možnostiach, ako napríklad o udržateľnom spaľovaní kanadských lesov v elektrárňach. Ale skôr, ako budeme predlžovať túto agóniu, vráťme sa rýchlo k technológiám, ktoré sú významné: koncentračnú slnečnú energiu.

Obrázok 30.3 ukazuje oblasť v severnej Amerike, ktorá by každému (500 miliónom ľudí) poskytla priemerný výkon **250 kWh/d**.

Konečný súčet

Bez obnoviteľných zdrojov využívajúcich *Slnko* nebude Severná Amerika schopná pokryť svoju spotrebu energie. V prípade ich významného rozvoja by to však možné bolo. Takže Severná Amerika potrebuje buď slnečnú energiu na vlastných púšťach alebo jadrovú energiu, alebo oboje.

Prehodnotenie výpočtov pre celý svet

Ako môžeme zabezpečiť 6 miliardám ľudí toľko energie, ako má priemerný Európan – povedzme, 80 kWh za deň na osobu?

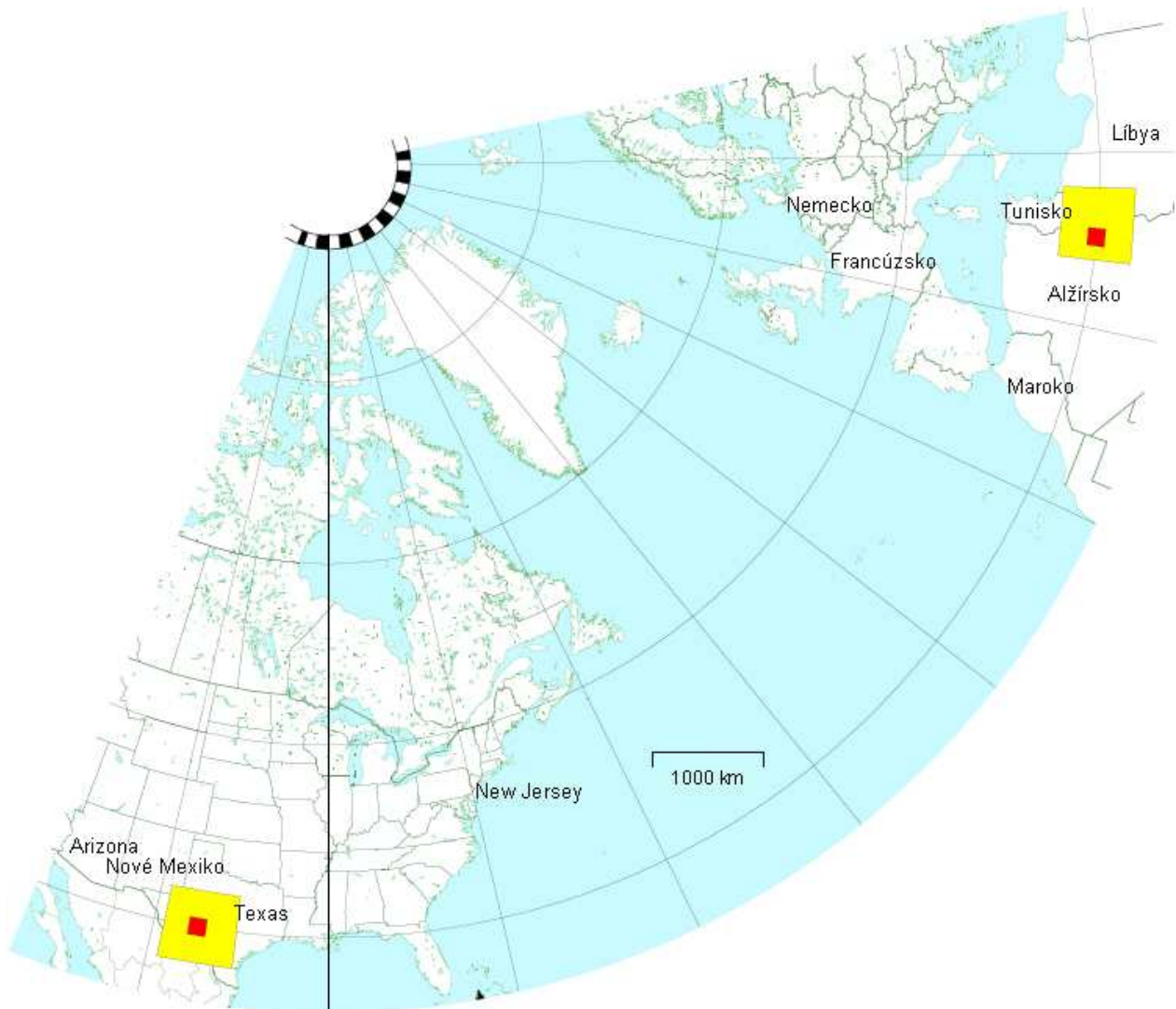
Vietor

K regiónom s neobyčajne silnými stabilnými vetrami patria štáty v strede USA (Kansas, Oklahoma); Saskatchewan v Kanade; južné oblasti Argentíny a Čile, severovýchod Austrálie, severovýchod a severozápad Číny, severozápad Sudánu, juhozápad Južnej Afriky, Somálsko, Irán a Afganistan. Patria sem aj všetky pobrežné oblasti okrem tropického pásu širokého 60 stupňov severne a južne od rovníka.

Pre náš celosvetový odhad použijeme čísla navrhnuté Greenpeace a Európskou asociáciou pre veternú energiu: “celosvetovo dostupné zdroje veternej energie sú odhadované na 53 000 TWh za rok.” To predstavuje **24 kWh na osobu a deň**.

Energia vody

Celosvetovo prispieva energia z vody k výrobe elektrickej energie množstvom 1,4 kWh/d na osobu.



Obrázok 30.3. Malý štvorec znova na obzore. Štvorec s rozlohou 600×600 km v severnej Amerike úplne vyplnený koncentračnou slnečnou technológiou by zabezpečil dostatok energie pre 500 miliónov ľudí v priemernou spotrebou Američana 250 kWh/d.

Táto mapa tiež ukazuje štvorec s rozlohou 600×600 km v Afrike, s ktorým sme sa stretli už skôr. Predpokladal som rovnakú energetickú hustotu 15 W/m^2 ako predtým.

Plocha jedného žltého štvorca je o niečo väčšia ako rozloha Arizony a 16 násobne väčšia ako rozloha New Jersey. V každom veľkom štvorci je menší štvorec s rozlohou 145×145 km, zobrazujúci rozlohu na púšti – rozlohu New Jersey – potrebnú na zabezpečenie 30 miliónov ľudí 250 kWh za deň na osobu.

Internetová stránka www.ieahydro.org uvádza: “Medzinárodná asociácia pre energiu vody a Medzinárodná energetická agentúra odhadujú celkový svetový, technicky realizovateľný potenciál energie vody na 14 000 TWh/rok [6,4 kWd/d na osobu], z čoho sa približne 8 000 TWh/rok [3,6 kWh/d na osobu] považuje za ekonomicky využiteľné. Väčšina využitia tohto potenciálu pripadá na oblasti v Afrike, Ázii a Latinskej Amerike.”

Prílív a odliv

Na svete je niekoľko miest s podobným potenciálom využiteľnej prílivovej energie ako v ústí rieky Severn (Obrázok 14.8). V Argentíne je to: San José a záliv Nuevo; Austrália má zátoku Walcott; USA a Kanada sa delia o Fundský záliv; Kanada má Cobequid; India má Khambatský záliv; USA má zátoky Turnagain a Knik; a nakoniec Rusko má záliv Tugur.

Nakoniec nemožno zabudnúť na svetového veľikána, miesto zvané Penzhinsk v Rusku s možnými 22 GW – desaťkrát viac ako na rieke Severn!

Kowalik (2004) odhaduje, že celosvetový výkon prílivovej energie by mohol dosiahnuť hodnotu 40–80 GW. Ak to rozdelíme medzi 6 miliárd obyvateľov planéty, dostaneme sa k číslu 0,16–0,32 kWh/d na osobu.

Vlny

Celkovú využiteľnú energiu morských vln môžeme odhadnúť vynásobením dĺžky uvažovaných častí pobreží (zhruba 300 000 km) hodnotou typického výkonu pripadajúceho na jednotku dĺžky pobrežia (10 kW na meter): hrubý výkon takto dosahuje 3000 GW.

Predpokladajme, že zariadenia zachytia len približne 10 % energie vln s 50 % účinnosťou premieňať túto energiu na elektrinu, potom by mohla energia morských vln zabezpečiť približne 0,5 kWh/d na osobu.

Geotermálna energia

Podľa D. H. Freestona z Geotermálneho inštitútu v Aucklande dosiahol v roku 1995 celkový výkon geotermálnych zdrojov energie 4 GW – čo je 0,01 kWh/d na osobu.

Ak predpokladáme, že autori z MIT na strane 234 mali pravdu a tiež že zvyšok sveta je na tom rovnako ako Severná Amerika, potom by mohla geotermálna energia ponúknuť 8 kWh na deň a osobu.

Slnčná energia pre energetické plodiny

Ľudia sa vždy vzrušujú nad energetickými plodinami ako jatropa, ktorá, ako sa tvrdí, nemusí konkurovať plodinám určeným na jedlo, pretože ju možno pestovať na neúrodných pôdach. Skôr ako sa necháme uniesť energetickými plodinami, je potrebné sa pozrieť na čísla.

Základné čísla pre jatropu sú na strane 284. Aj keby sa celá Afrika úplne pokryla plantážami jatropy, celková vyrobená energia, po rozdelení medzi 6 miliárd ľudí, by dosiahla 8 kWh/d na osobu (čo predstavuje len tretinu súčasnej svetovej spotreby ropy). Nemôžete vyriešiť svoju závislosť od ropy tým, že prejdete na jatropu!

Pokúsme sa odhadnúť hranicu celkového množstva energie, ktoré by mohli energetické plodiny priniesť svetu, použitím rovnakého postupu ako v prípade Británie v kapitole 6: predstavme si, že všetku ornú pôdu obetujeme na pestovanie energetických plodín. 18 % pevniny predstavuje ornú a inú poľnohospodársku pôdu – t. j. plochu 27 miliónov km². To je 4500 m² na osobu po rozdelení medzi 6 miliárd ľudí. Pri predpoklade hustoty výkonu 0,5 W/m² a stratách 33 % vznikajúcich pri spracovávaní a obrábaní, zistíme, že energetické plodiny, pokrývajúce všetku poľnohospodársku pôdu, by poskytovali 36 kWh/d na osobu. Je možné, že ide o podhodnotenie, pretože cukrová trstina pestovaná v Brazílii (na obrázku 6.11, strana 43) dosahuje energetickú hustotu až 1,6 W/m², čo je trikrát viac ako v tomto predpoklade. Dobré, možno majú energetické plodiny z Brazílie nejakú budúcnosť. Ale rád by som sa posunul k poslednej možnosti.

Slnčný ohrev, slnečná fotovoltaika a koncentračný slnečný výkon

Slnčné kolektory na ohrev vody sú jasné. Oplatia sa takmer kdekoľvek na svete. Čína je svetovým lídrom v tejto technológii. Celkový globálny výkon slnečných kolektorov v súčasnosti presahuje 100 GW, pričom viac ako polovica pripadá na Čínu.

Slnčná fotovoltaika je pre Európu technicky prijateľná, ale považoval som ju za príliš drahú. Dúfam, že sa v tomto mýlim. Bolo by skvelé, keby cena fotovoltaických panelov klesla podobne ako klesla cena počítačov v priebehu posledných 40 rokov.

Odhadujem, že v mnohých oblastiach bude najlepším spôsobom ako zabezpečiť energiu zo slnka využívanie koncentračnej slnečnej technológie, o ktorej sme hovorili na stranách 178 a 236. Na týchto stranách sme zistili, že jedna miliarda ľudí Európy a severnej Afriky by mohla byť energeticky zabezpečená rozsiahlymi slnečnými zariadeniami umiestnenými v púšťach okolo Stredozemného mora; a ďalších 500 miliónov ľudí Severnej Ameriky by mohlo byť zabezpečených podobnými zariadeniami veľkosti Arizony z púští USA a Mexika. Ďalej nechám na čitateľa, nech skúsi nájsť ďalšie púštne oblasti, ktoré by boli vhodné pre zvyšných 4,5 miliardy ľudí.

Konečný súčet

Hodnoty výkonu jednotlivých zdrojov okrem slnečnej energie sú nasledovné. Vietor: 24 kWh/d/o; voda: 3,6 kWh/d/o; príliv: 0,3 kWh/d/o;

Sheffield	28 %
Edinburgh	30 %
Manchester	31 %
Cork	32 %
Londýn	34 %
Cologne	35 %
Kodaň	38 %
Mníchov	38 %
Paríž	39 %
Berlín	42 %
Wellington, NZ	43 %
Seattle	46 %
Toronto	46 %
Detroit, MI	54 %
Winnipeg	55 %
Peking 2403	55 %
Sydney 2446	56 %
Pula, Chorvátsko	57 %
Nice, Francúzsko	58 %
Boston, MA	58 %
Bankok, Thajsko	60 %
Chicago	60 %
New York	61 %
Lisabon, Portugalsko	61 %
Kingston, Jamajka	62 %
San Antonio	62 %
Seville, Španielsko	66 %
Nairobi, Keňa	68 %
Johannesburg, SA	71 %
Tel Aviv	74 %
Los Angeles	77 %
Upington, SA	91 %
Yuma, AZ	93 %
Púšť Sahara	98 %

Tabuľka 30.4. Údaje o slnečnom svite. [3doaeq]

vlny: 0,5 kWh/d/o; geotermálna energia: 8 kWh/d/o – celkovo 36 kWh/d/o. Naším cieľom bolo dosiahnutie spotreby priemerného Európana v budúcnosti, teda 80 kWh/d na osobu. Záver je jednoznačný: obnoviteľné zdroje energie, okrem využitia slnečnej energie, môžu byť “obrovské,” ale nie dostatočne obrovské. Aby sme dokončili zmysluplný plán, musíme sa spoľahnúť na jednu alebo viac foriem slnečnej energie. Alebo využívať jadrovú energiu. Alebo oboje.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

234 *Veterné zdroje pobreží v Severnej Amerike.*

www.ocean.udel.edu/windpower/ResourceMap/index-wn-dp.html

235 *Takže Severná Amerika potrebuje buď slnečnú energiu na vlastných púšťach alebo jadrovú energiu, alebo oboje.* Prečítať si plán spoločnosti Google z roku 2008 na zníženie miery používania fosílnych palív v USA o 40 %, je možné v článku Jefferyho Greenblatta *Čistá energia v roku 2030* [3lcw9c]. Hlavnými črtami tohto plánu je zvyšovanie účinnosti využívania energie, elektrifikácia dopravy a výroba elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Ich plán zahŕňa:

10,6 kWh/d/o	z vetra,
2,7 kWh/d/o	zo slnečnej fotovoltaiky,
1,9 kWh/d/o	zo slnečných elektrární,
1,7 kWh/d/o	z biomasy,
a 5,8 kWh/d/o	z geotermálnych zdrojov,

do roku 2030. To je celkovo 23 kWh/d/o z nových obnoviteľných zdrojov. Rovnako počítajú s malým nárastom jadrovej energie z 7,2 kWh/d/o na 8,3 kWh/d/o a žiadnymi zmenami v oblasti energie z vody. Zemný plyn sa podľa štúdie bude používať aj naďalej, s množstvom 4 kWh/d/o.

237 *Celkový svetový potenciál energie vody. . .*

Zdroj: www.ieahydro.org/faq.htm.

- *Celková využiteľná energia morských vln na pobreží je odhadovaná na 3000 GW.* Pozri Quayle a Changery (1981).
- *Geotermálna energia v roku 1995.* Freeston (1996).

238 *Energetické plodiny.* Pozri: Rogner (2000) pre odhady podobné mojím.

Ďalšie odporúčané čítanie: v časopise *Nature* nájdete 8-stránkový článok zaoberajúci sa problematikou, ako poskytnúť svetu energiu (Schiermeier a kol., 2008).

31 Posledná vec, o ktorej by sme mali hovoriť

Zachytávanie oxidu uhličitého zo vzduchu je tá posledná vec, o ktorej by sme mali hovoriť.

Keď toto hovorím, myslím to vlastne dvojzmyselne. Jeden zmysel je ten, že energetické náklady zachytávania uhlíka zo vzduchu sú také obrovské, že je takmer absurdné o tom hovoriť (a existuje obava, že úvahy o takýchto geo-inžinierskych možnostiach riešenia klimatickej zmeny podporujú nečinnosť dnes). Druhý zmysel je ten, že by sme o tom vlastne mali hovoriť, zvažovať najlepší spôsob a financovať výskum toho, ako to urobiť ešte lepšie, pretože zachytávanie CO₂ zo vzduchu môže byť naša posledná šanca, ak je klimatická zmena taká zlá, ako hovoria klimatológovia, a ak ľudstvo zlyhá v lacnejších a prístupnejších možnostiach, ktoré môžu byť dnes ešte dostupné.

Skôr ako začneme rozoberať zachytávanie uhlíka zo vzduchu, potrebujeme lepšie pochopiť jeho globálny stav.

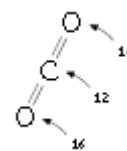
Pochopenie CO₂

Pri plánovaní knihy som sa chcel vyhnúť téme klimatickej zmeny úplne. V niektorých kruhoch bola otázka „Dochádza ku klimatickej zmene?“ sporná. Podobne tak „Môžu za to ľudia?“ či „Vadí to?“ Posledným v dlhom rade sporov je otázka „Čo by sme s tým mali robiť?“ Cítil som, že obnoviteľná energia je dostatočne zdôvodnená a najlepšie by bolo takýmto sporom sa vyhnúť. Môj pôvodný argument mal byť: „Je jedno, kedy nám dôjdu neobnoviteľné zdroje; je jedno, že ku klimatickej zmene dochádza; *spaľovanie fosílnych palív aj tak nie je trvalo udržateľné*; predstavme si trvalo udržateľný život a zistíme, koľko energie máme k dispozícii.“

Avšak klimatická zmena sa dostala do povedomia verejnosti a vyplývajú z nej zaujímavé základné otázky. Takže som sa nakoniec rozhodol ju trochu rozobrať na začiatku knihy a v tejto záverečnej kapitole. Nejde o úplnú diskusiu, ale iba o pár zaujímavých čísiel.

Jednotky

Spoplatnenie znečistenia uhlíkom sa obvykle meria v dolároch, alebo eurách za tonu CO₂, takže použijem *tonu CO₂* ako hlavnú jednotku pri znečisťovaní uhlíkom na osobu. (Priemerné emisie skleníkových plynov Európanov sú rovné 11 tonám CO₂ za rok; alebo 30 kg CO₂ za deň.) Keď ale budem hovoriť o uhlíku vo fosílnych palivách, vegetácii, pôde a vode, budem hovoriť o tonách uhlíku. Jedna tona CO₂ obsahuje 12/44 ton uhlíku, o niečo viac ako štvrtina tony. Na úrovni planéty budem hovoriť o gigatonách uhlíku (GtC). Jedna gigatona uhlíka je miliarda ton. Gigatony sa ťažko predstavujú, ak ich ale chcete previesť do ľudských mierok,



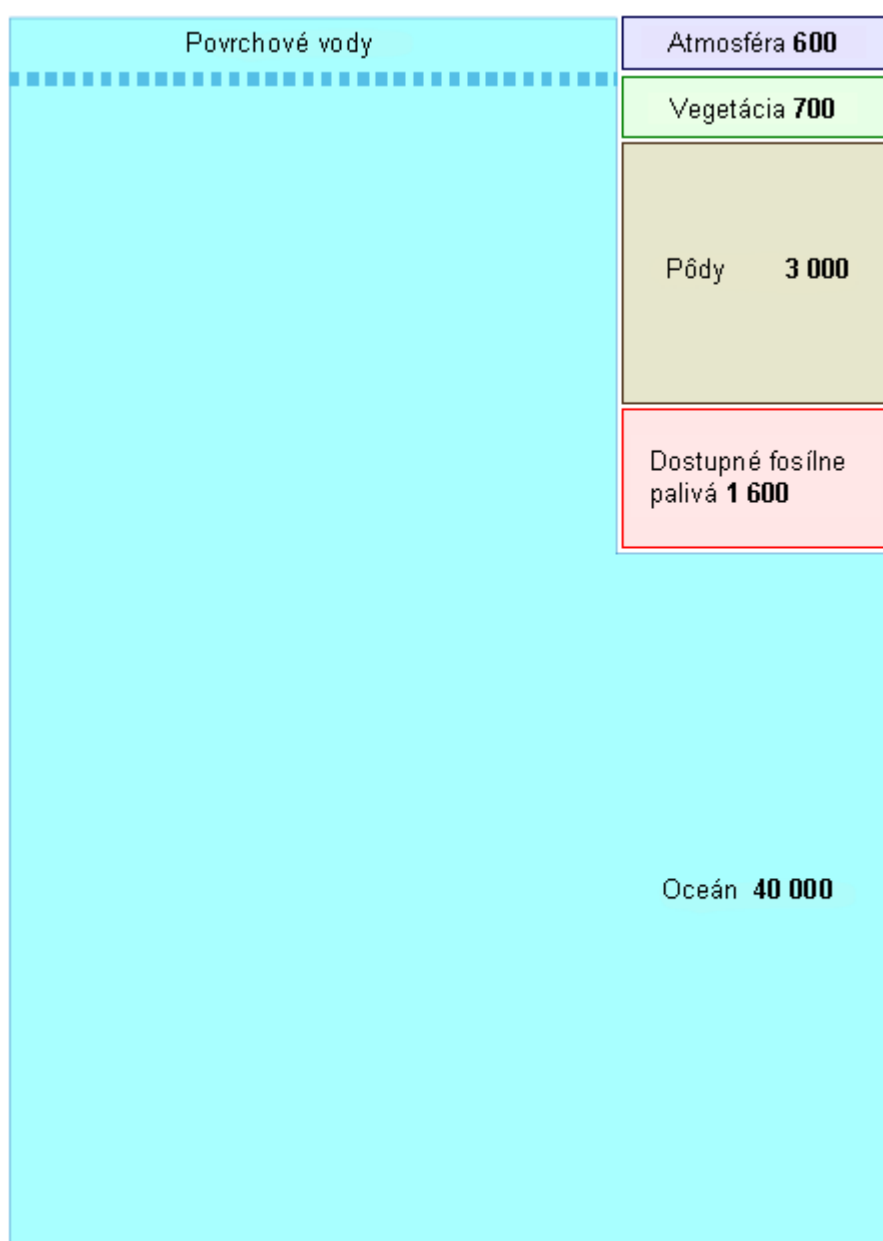
Obrázok 31.1. Hmotnosti atómu uhlíku a molekuly CO₂ sú v pomere 12 k 44, pretože uhlík váži 12 jednotiek a každý z dvoch kyslíkov váži 16. $12 + 16 + 16 = 44$.

predstavte si spálenie jednej tony uhlia (čo je množstvo, ktoré vám postačí na vykurovanie domu jeden rok). Teraz si predstavte, že každý človek na planéte spáli jednu tonu uhlia za rok: to je 6 GtC za rok, pretože na planéte žije 6 miliárd ľudí.

Kde je uhlík?

Kde je všetok ten uhlík? Potrebujeme vedieť, koľko ho je v oceánoch, v zemi a vo vegetácii v porovnaní s atmosférou, aby sme pochopili následky emisií CO₂.

Obrázok 31.2 ukazuje, kde je všetok ten uhlík. Väčšina z neho – 40 000 Gt – sa nachádza v oceánoch (v rozpustenom CO₂ vo forme plynu,



Obrázok 31.2. Odhadované množstvá uhlíka v gigatonách v dostupných miestach na Zemi. (Veľa uhlíku je tiež v horninách; tento uhlík sa pohybuje v časových mierkach miliónov rokov s dlhodobou rovnováhou medzi uhlíkom v usadeninách, ktorý sa sem dostane pri tektonickej činnosti a z času na čas sa uvoľňuje pri sopečných výbuchoch. Pre zjednodušenie som tento geologický uhlík zanedbal).

uhličitanov, živých rastlín a živočíchov a rozkladajúcich sa materiálov). Pôdy a vegetácia spolu obsahujú približne 3700 Gt. Dostupné fosílné palivá – najmä uhlie – obsahujú približne 1600 Gt. A nakoniec atmosféra obsahuje približne 600 Gt uhlíku.

Až donedávna boli všetky tieto úložiská uhlíka v približnej rovnováhe: všetky toky uhlíka z úložísk (povedzme pôd, vegetácie, či atmosféry) boli vyvážené rovnakými tokmi do nich. Toky fosílnych palív (smerom do aj von z úložiska) boli zanedbateľné. Potom ľudia začali spaľovať fosílné palivá. To dodalo dva nové *nevyvážené* toky, ako ukazuje obrázok 31.3.

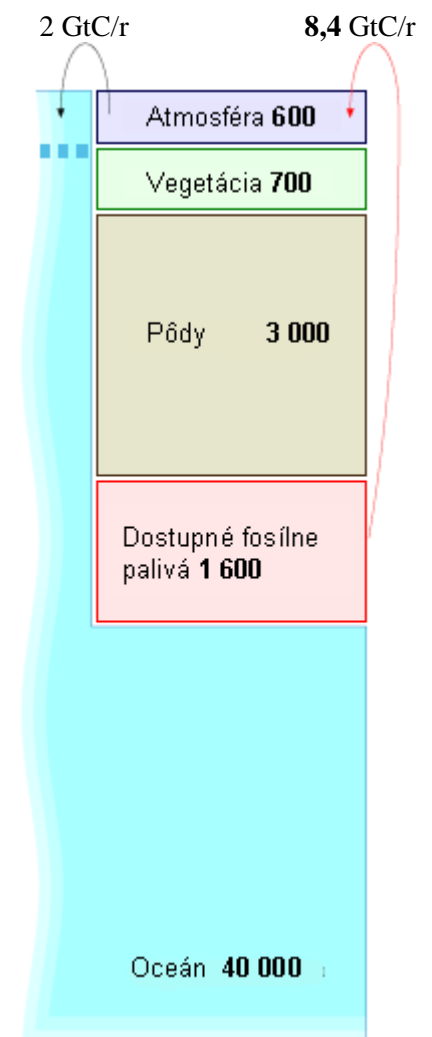
Rýchlosť spaľovania fosílnych palív bola približne 1 GtC/r v roku 1920, 2 GtC/r v roku 1955 a 8,4 GtC v roku 2006. (Tieto údaje zahŕňajú malý príspevok z výroby cementu, ktorý uvoľňuje CO₂ z väpence).

Ako ovplyvnil tento významný dodatočný tok uhlíka obrázok 31.2? No, to nie je presne známe. Obrázok 31.3 ukazuje kľúčové veci, ktoré známe sú. Väčšina dodatočných 8,4 GtC za rok, ktoré dodávame do atmosféry tam zostane a zvyšuje tak atmosférickú koncentráciu oxidu uhličitého. Atmosféra sa dostáva pomerne rýchlo do rovnovážneho stavu s povrchovými vodami oceánov (to trvá iba päť až desať rokov) a celkový tok uhlíka z atmosféry do oceánov predstavuje 2 GtC ročne. (Nedávny výskum však naznačuje, že táto rýchlosť pohlcovania uhlíka oceánmi môže klesať). Tento nevyrovnaný tok do povrchových vôd spôsobuje okysľovanie oceánov, čo je zlá správa pre koral. Určité množstvo uhlíka sa dostáva aj to vegetácii a do pôdy, asi približne 1,5 GtC, ale tieto toky sú zamerané menej presne. Pretože približne polovica emisií zostáva v atmosfére, pokračujúce znečisťovanie uhlíkom 8,4 GtC bude zvyšovať koncentráciu CO₂ vo vzduchu a v povrchových vodách.

Aký je dlhodobý osud nadbytočného CO₂? No, keďže množstvo fosílného uhlíka je o toľko menšie ako jeho celkové množstvo v oceánoch, „v dlhodobom meradle“ si tento uhlík nájde cestu do oceánov a množstvo uhlíka v atmosfére, vegetácii a pôde sa vráti do normálu. Avšak „dlhodobé meradlo“ znamená tisíce rokov. Ako som povedal, vytvorenie rovnováhy medzi atmosférou a *povrchovými* vodami je rýchle, ale obrázky 31.2 a 31.3 ukazujú prerušovanú čiaru, oddeľujúcu povrchové vody oceánov od zvyšku. V časovom horizonte 50 rokov je táto hranica viac menej stenou. Rádioaktívny uhlík rozložený po celej zemi uvoľnený z testov atómových bômb v 60-tych a 70-tych rokoch sa dostal do hĺbky približne iba 400 m. Naopak priemerná hĺbka oceánov je až 4000 m.

Oceány cirkulujú pomaly: Väčšine hlbokých vôd v oceánoch trvá 1000 rokov kým sa dostanú na povrch a znovu na dno. Cirkuláciu hlbokých vôd riadi kombinácia rozdielov teplôt a salinity, takže hovoríme o termo-halinnej cirkulácii (na rozdiel od cirkulácie povrchových vôd, ktorú riadi vietor).

Táto pomalá cirkulácia oceánov má kľúčové dopady: máme dostatok fosílnych palív, aby sme vážne ovplyvnili podnebie nasledujúcich 1000 rokov.



Obrázok 31.3. Šípky znázorňujú dva ďalšie toky uhlíka, ktoré vznikajú ako následok spaľovania fosílnych palív. Existuje nerovnováha medzi 8,4 GtC/r emisií, ktoré smerujú do atmosféry a 2 GtC/r, ktoré pohltí oceán. Tento diagram zanedbáva menej presne známe toky medzi atmosférou, pôdou, vegetáciou, a tak ďalej.

Kam sa ukladá uhlík

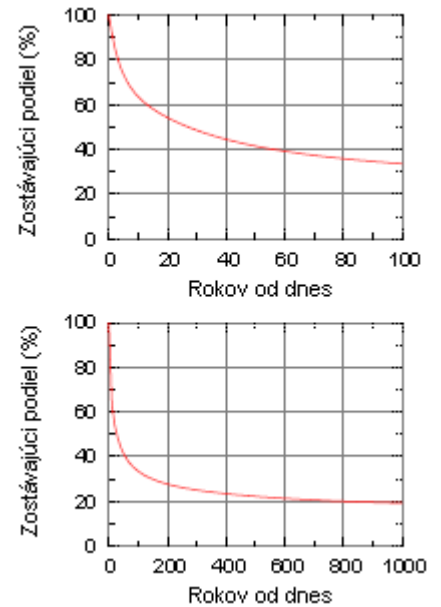
Obrázok 31.3 je veľmi zjednodušený. Ľudia napríklad spôsobujú ďalšie toky, ktoré diagram neukazuje: vypaľovanie rašelinísk a lesov na Borneu v roku 1997 uvoľnilo približne 0,7 GtC. Náhodné požiare uhlia podľa odhadov uvoľňujú približne 0,25 GtC za rok.

Napriek tomu nám tento obrázok pomáha približne pochopiť, čo sa stane v krátkodobom a strednedobom výhľade pri rôznych scenároch. Po prvé, ak znečisťovanie uhlíkom bude pokračovať v „priemysle ako doposiaľ“ a spálime ďalších 500 Gt uhlíku v nasledujúcich 50 rokoch, môžeme očakávať, že uhlík bude pokračovať v postupnom prenikaní do povrchových vôd oceánov rýchlosťou 2 GtC za rok. Do roku 2055 by sa najmenej 100 Gt z 500 Gt dostalo do povrchových vôd a CO₂ koncentrácia v atmosfére by dosiahla približne dvojnásobnú úroveň v porovnaní s obdobím pred priemyselnou revolúciou.

Ak by sme znížili spaľovanie fosílnych palív na nulu v 50-tych rokoch tohto storočia, tok 2 Gt z atmosféry do oceánu by takisto významne klesol. (Predstavoval som si, že tento tok do oceánu by pretrvával po desaťročia, ale to by bola pravda iba v prípade, ak by povrchové vody zostali mimo rovnováhu s atmosférou; ale ako som už spomenul, povrchové vody a atmosféra dosahujú rovnovážny stav v priebehu niekoľkých pár rokov). Väčšina z 500 GtC, ktoré vypustíme do atmosféry, by sa iba pomaly vstrebávalo do oceánov v priebehu nasledujúcich pár tisíc rokov spolu s premiešavaním povrchových vôd, ktoré nahrádza nová voda z hlbín.

Takže naše narušenie koncentrácie uhlíku bude nakoniec uvedené do poriadku, ale až po niekoľkých tisíckach rokov. To ale predpokladá, že toto narušenie nepovedie k drastickým zmenám v ekosystémoch. Napríklad je mysliteľné, že okysľovanie povrchových vôd oceánov môže spôsobiť dostatočné vymieranie rastlínstva a spustí sa nový začarovaný kruh: okysľovanie znamená vymieranie rastlínstva, takže to pohlcuje menej CO₂ z oceánov a to spôsobí ďalšie okysľovanie oceánov. Takéto začarované kruhy (ktoré vedci nazývajú „pozitívne“ alebo „nezvládnuteľné“ spätné väzby) sa v minulosti na zemi odohrali: napríklad sa predpokladá, že doby ľadové skončili pomerne rýchlo, vďaka pozitívnym spätným väzbám, pri ktorých rastúce teploty spôsobili topenie snehu a ľadu, čo znížilo odraz slnečného žiarenia od povrchu, čo znamenalo väčšie pohlcovanie tepla, čo viedlo k vyšším teplotám. (Roztopený sneh – voda – sú oveľa tmavšie ako zmrznutý sneh). Iný príklad pozitívnych spätných väzieb, ktorých sa možno obávať, je spojený s metánovými hydrátmi, ktoré sú zamrznuté v gigatonových množstvách v miestach ako je arktická Sibír a v 100-gigatonových množstvách pri pobrežiach kontinentov. Globálne oteplenie o viac ako 1 °C môže tieto hydráty roztopiť, čo uvoľní metán do atmosféry a metán je silnejší skleníkový plyn ako CO₂.

Tu nie je miesto pre diskutovanie neistôt klimatickej zmeny do ďalších detailov. Miesto toho veľmi odporúčam knihy *Avoiding Dangerous Climate Change* (Schellnhuber a kol., 2006) a *Global Climate Change*



Obrázok 31.4. Rozklad malého pulzu CO₂ vypusteného do dnešnej atmosféry, podľa Bernovho modelu uhlíkového cyklu. Zdroj: Hansen a kol. (2007).

(Dessler a Parson, 2006). A takisto články od Hansena a kol. (2007) a Charneyho a kol. (1979).

Cieľom tejto kapitoly je diskutovanie myšlienky riešiť klimatickú zmenu zachytávaním oxidu uhličitého zo vzduchu; teraz vypočítame energetické náklady takéhoto zachytávania.

Náklady na zachytávanie CO₂

Dnes je veľký biznis ťažba uhlíka zo zeme. V budúcnosti možno bude veľký biznis „ťažba“ uhlíka *do* zeme. Pri predpoklade, že sa nám nepodarí dosiahnuť pre zastavenie znečisťovania uhlíkom adekvátne akcia dnes, možno že humanitárna koalícia (z anglického coalition of the willing) za pár desaťročí zaplatí za vytvorenie gigantického vysávača a vyčistí neporiadok všetkých ľudí.

Skôr ako prejdeme k detailom zachytávania uhlíka zo vzduchu, pozrime sa na to, aké sú minimálne energetické náklady tohto procesu. Nech použijeme akúkoľvek technológiu, musí rešpektovať zákony fyziky a nanešťastie zachytávanie CO₂ zo vzduchu a jeho zakoncentrovanie vyžaduje energiu. Zákony fyziky hovoria, že najmenšia potrebná energia je 0,2 kWh na kg CO₂ (tabuľka 31.5). Ak vezmeme do úvahy, že reálne deje prebiehajú najviac pri 35 % účinnosti, prekvapilo by ma, ak by náklady zachytávania uhlíka niekedy klesli pod 0,55 kWh na kg.

Predpokladajme, že chceme neutralizovať typickú uhlíkovú stopu Európana 11 ton CO₂ za rok [Pozri stránku www.carbonquilt.org – pozn. prekl.], čo predstavuje 30 kg za deň na osobu. Potrebná energia pri predpoklade **0,55 kWh na kg CO₂ je 16,5 kWh za deň na osobu**. To sa presne rovná **spotrebe elektriny Britov**. Takže pohon gigantického vysávača by vyžadoval zdvojnásobenie výroby elektriny – alebo aspoň získanie rovnanej množstva energie, ktorá by vyrovnala našu spotrebu elektriny.

Ak je možné znížiť náklady spojené s gigantickým vysávačom, výborne, urobme to. Ale žiadny výskum a vývoj nedokáže obísť zákony fyziky, ktoré hovoria, že zachytávanie CO₂ zo vzduchu a jeho koncentrovanie do tekutej formy vyžaduje najmenej 0,2 kWh na kilogram CO₂.

Aký je najlepší spôsob odčerpávania CO₂ zo vzduchu? Rozoberiem štyri technológie pre vybudovanie obrovských vysávačov:

- A. chemické pumpy;
- B. stromy;
- C. zrýchlené zvetrávanie skál
- D. hnojenie oceánov

A. Chemické technológie zachytávania uhlíka

Chemické technológie zväčša zachytávajú CO₂ v dvoch krokoch:



Najprv sa CO₂ zakoncentruje z pôvodne nízkej koncentrácie v atmosfére; potom sa stlačí do malého objemu, ktorý je vhodný na uskladnenie (buď hlboko do Zeme alebo do oceánu). Každý z týchto krokov vyžaduje nejakú energiu. Energetické náklady, ktoré vyžadujú fyzikálne zákony sú v tabuľke 31.5.

V roku 2005 boli najlepšie publikované údaje pre zachytávanie CO₂ zo vzduchu pomerne neúčinné: 3,3 kWh na kilogram pri cene 140 dolárov na tonu CO₂. Pri týchto nákladoch by zachytenie európskych 30 kg denne stálo **100 kWh za deň** – takmer rovnaké množstvo ako priemerný Európan spotrebuje, teda 125 kWh za deň. Je možné vymyslieť lepší vysávač?

Klimatológ Wallace Broecker „možno jeden z najlepších vedcov dívajúci sa na Zem ako na biologický, chemický a fyzikálny systém“ nedávno podporoval myšlienku zatiaľ nepublikovanej technológie pre zachytávanie uhlíka, ktorú vyvinul fyzik Klaus Lackner. Broecker si predstavuje, že svet môže viacmenej pokračovať v spaľovaní fosílnych palív tak ako doteraz a približne 60 miliónov CO₂ vysávačov (každý s veľkosťou prevráteného lodného kontajneru) bude čistiť atmosféru. Koľko energie vyžaduje Lacknerov prístup? V júni 2007 mi Lackner povedal, že jeho laboratórium dosiahlo 1,3 kWh na kg, ale odvtedy vyvinuli nový proces založený na špongii pohlcujúcej CO₂, keď je suchá a uvoľňuje ho naspäť, keď je mokrá. V júni 2008 mi Lackner povedal, že pri suchom podnebí znížili náklady na koncentrovanie na približne 0,18 – 0,37 kWh tepla na kilogram CO₂. Náklady na stlačenie sú 0,11 kWh na kg. Takže celkové náklady Lacknerovým postupom sú 0,48 kWh alebo menej na kg. Na odstránenie európskych 30 kg CO₂ za deň by sme stále potrebovali **14 kWh za deň**, z ktorých **3,3 kWh za deň** by bola elektrina a zvyšok teplo.

Sláva technologickému pokroku! Len si prosím nemyslíte, že ide o *malé* náklady. Potrebovali by sme približne zvýšiť celkovú výrobu energie o 20 %, len aby sme začali vysávať.

B. A čo stromy?

Stromy sú systémy zachytávajúce uhlík; pohlcujú CO₂ zo vzduchu a neporušujú žiadne zákony fyziky. Sú to dva stroje v jednom: predstavujú zariadenia na zachytávanie uhlíka poháňané slnečnými elektrárnami. Zachytávajú uhlík pomocou energie zo Slnka. Fosílna palivá, ktoré dnes spaľujeme, pôvodne vznikli v tomto procese. Takže myšlienka znie, ako využiť opačný proces k spaľovaniu fosílnych palív? Čo tak vytvoriť drevo a zakopávať ho do diery v zemi a zároveň pokračovať vo vykopávaní

	Náklady (kWh/kg)
Koncentrovanie	0,31
Stlačenie	0,07
Spolu	0,20

Tabuľka 31.5. Nevyhnutné energetické náklady koncentrovania a stlačenia CO₂ zo vzduchu.



a spaľovanie fosílnych palív? Je hlúpe predstavovať si výrobu dreva na zakopanie a zároveň jeho ťažbu? Aj napriek tomu, poďme sa pozrieť nato, koľko plochy by sme potrebovali na vyriešenie klimatickej zmeny pomocou stromov.

Najlepšie rastliny v Európe zachytávajú uhlík rýchlosťou asi 10 ton suchého dreva na hektár za rok – čo je rovné asi 15 tonám CO₂ na hektár za rok – takže na pohltie európskych 11 ton CO₂ za rok potrebujeme 7500 metrov štvorcových lesa na osobu. Táto požadovaná plocha, teda 7500 metrov štvorcových na osobu znamená dvojnásobok rozlohy Británie na osobu. A potom potrebujete nájsť miesto pre uskladnenie 7,5 ton dreva na osobu za rok! Pri hustote 500 kg na m³ by drevo každej osoby zaberalo 15 m³ ročne. V priebehu života by drevo – ktoré ale musí byť bezpečne uložené a nesmie sa spáliť – zaberalo 1000 m³. To je päťnásobok celého objemu typického domu. Ak ktokoľvek navrhuje ako riešenie klimatickej zmeny stromy, musí si uvedomiť, že by sme na to potrebovali zariadenia veľkosti krajiny. Neviem si predstaviť, aby to mohlo fungovať.

C. Zvetrávanie hornín

Existuje rafinovaný spôsob, ako sa vyhnúť energetickým nákladom chemického spôsobu pohlcovania uhlíka? Tu je zaujímavá myšlienka: rozdrviť horniny pohlcujúce CO₂ a nechať ich na voľnom vzduchu. Túto myšlienku možno chápať ako zrýchlenie prirodzených geologických procesov. Vysvetlím.

Z obrázku 31.3 som vynechal dva toky uhlíka. Patrí sem tok uhlíka z hornín do oceánov, ktorý je spojený s ich prirodzeným procesom zvetrávania a prirodzeným ukladaním uhlíka do morských usadenín, ktoré sa nakoniec premenia na horniny. Tieto toky sú pomerne malé v rozsahu iba približne 0,2 GtC za rok (0,7 Gt CO₂ za rok). Takže v porovnaní s antropogénnymi emisiami CO₂, ktoré sú 40-násobne vyššie, sú zanedbateľné. Myšlienka zástancov zosilneného zvetrávania spočíva v tom, že by sme vyriešili klimatickú zmenu zrýchlením tohto procesu. Na tento účel sú vhodné nerasty olivíny, alebo hojné horečnato-kremičité horniny. Na uskutočnenie myšlienky je potrebné nájsť ložiská na miestach obklopených kilometrami štvorcovými krajiny, kde by bolo možné rozprestrieť rozdrvené horniny, alebo je možné vysypať ich priamo do oceánu. V oboch prípadoch by horniny pohlcovali CO₂ a vytvárali uhličitan, ktoré by nakoniec spláchol oceán. Energia potrebná na drvenie skál tak, aby dokázali dostatočne reagovať s CO₂, je iba **0,04 kWh na kg pohlteneho CO₂**. Počkať, nie je to menej ako spomínaných 20 kWh na kg, ktoré vyžadujú fyzikálne zákony? Áno, ale všetko je v poriadku: samotné horniny sú zdrojom zvyšnej energie. Kremičitany obsahujú viac energie ako uhličitan, takže horniny dodávajú energiu na pohlcovanie CO₂ zo vzduchu.

Páčia sa mi nízke energetické náklady tohto postupu, ale problémom zostáva, kto by dobrovoľne zakryl svoju krajinu rozdrvenými horninami?

D. Hnojenie oceánov

Všetky spomínané postupy pohlcovania CO₂, teda chemické metódy, pestovanie stromov a drvenie hornín, vždy vyžadujú veľa práce, pričom nikto nemá dostatok motivácie, aby ich uskutočnil – pokiaľ neexistuje medzinárodná dohoda, ktorá by to zaplatila. V súčasnosti sú ceny uhlíka príliš nízke.

Posledná myšlienka pre zachytávanie uhlíka môže tento problém obísť. Spočíva v tom, že presvedčíme oceán, aby zachytával CO₂ o trochu rýchlejšie, ako normálne, ako vedľajší produkt chytania rýb.

V niektorých oblastiach sveta je nedostatok jedla. V mnohých oblastiach sveta je nedostatok rýb pre nadmerný rybolov za posledných 50 rokov. Myšlienka *hnojenia oceánov* spočíva v pridávaní živín do nich, aby sa podporil základ potravinového reťazca a umožnila sa tak existencia väčšieho množstva rastlín a rýb a väčšie pohlcovanie CO₂. Pod vedením austrálskeho vedca Iana Jonesa by inžinieri posypávali oceány hnojivom s obsahom dusíku, ako je napríklad močovina v oblastiach chudobných na ryby. Podľa ich tvrdení by posypanie 900 km² oceánu pohltilo približne 5 Mt CO₂/rok. Jones s kolegami sa domnieva, že hnojenie oceánov je možné uskutočniť vo všetkých oceánskych vodách s nedostatkom dusíka. To platí pre väčšinu Severného Atlantiku. Pozrime sa, ako by vyzerala táto myšlienka na mape. Emisie uhlíka v Británii sú asi 600 Mt CO₂/rok. Takže úplná neutralizácia týchto emisií by vyžadovala 120 takýchto plôch v oceáne. Mapa na obrázku 31.6 ukazuje tieto oblasti pozdĺž pobrežia Británie v skutočnej mierke. Ako obvykle, zmysluplný plán vyžaduje operácie v rozmeroch celej krajiny! A to sme ponechali bokom otázku, ako by sme posypávanie na požadovanej ploche dosiahli.



Obrázok 31.6. 120 oblastí v Atlantickom oceáne, každá s veľkosťou 900 km². Spolu tvoria odhadovanú plochu potrebnú na pohltie emisií CO₂ v Británii hnojením oceánu.

Hoci ide o neodskúšanú myšlienku a v súčasnosti nelegálnu operáciu, považujem hnojenie oceánov za zaujímavý nápad, pretože na rozdiel od geologického uskladňovania, ide o technológiu, ktorú je možné uskutočniť aj v prípade, ak sa medzinárodná spoločnosť nedohodne na hodnote vyčistenia znečistenia oxidom uhličitým; rybári jednoducho môžu hnojiť oceány preto, aby chytili viac rýb.

Dá sa predpokladať, že pozorovatelia budú proti hnojeniu oceánov a zamerajú sa na neistoty, skôr ako na možný prospech. Budú hrať na strunu strachu verejnosti z neznámeho. Ľudia radi pasívne príjmu stupňovanie zaužívanej činnosti (napr. pumpovanie CO₂ do atmosféry), ale budú sa brániť inováciám, ktoré môžu zlepšiť ich pohodlie v budúcnosti. Majú nevyváženú averziu k riziku.

Ian Jones

My, ľudia, si nemôžeme dovoliť vypustiť do atmosféry všetok, dokonca ani väčšinu CO₂ z fosílnych palív. To by zaistilo dramatickú zmenu podnebia a odlišnú planétu...

J. Hansen a kol. (2007)

„Vyhnutie sa nebezpečnej klimatickej zmene“ je nemožné – tá prebieha už teraz. Otázka znie, dokážeme sa vyhnúť katastrofickej klimatickej zmene?

David King, hlavný vedecký poradca britskej vlády

Poznámky

Strana číslo

240 *klimatická zmena... bola kontroverzná otázka.* A naozaj stále je „priepasť medzera väčšinovým názorom na klimatickú zmenu medzi vzdelanými elitami Európy a Ameriky“

241 *Kde je uhlík?* Zdroje: Schellnhuber a kol. (2006), Davidson a Janssens (2006).

242 *Rýchlosť spaľovania fosílnych palív...* Zdroj: Marland a kol. (2007).

- *Nedávny výskum však naznačuje, že táto rýchlosť pohlcovania uhlíku oceánmi môže klesať.* www.timesonline.co.uk/tol/news/uk/science/article1805870.ece, www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/1136188, [yofchc], Le Quéré a kol. (2007).

- *približne polovica emisií uhlíka zostane v atmosfére.* Je potrebných 2,1 miliardy ton uhlíka v atmosfére (7,5 Gt CO₂) aby sa zvýšila koncentrácia CO₂ vo vzduchu o jednu milióntinu (1 ppm). Ak by všetok CO₂, ktorý sme vypustili, zostal v atmosfére, koncentrácia by rástla rýchlosťou viac ako 3 ppm za rok – ale v skutočnosti rastie rýchlosťou asi 1,5 ppm za rok.

- *Rádioaktívny uhlík... sa dostal do hĺbky iba približne 400 m.* Priemerná hodnota prenikania ¹⁴C bômb všetkých skúšobných stanovišok na konci 70-tych rokov bola hĺbka 390 +/- 39 m (Broecker a kol., 1995). Z [3e28ed].



- 244 *Globálne otepľovanie väčšie ako 1 °C by mohlo roztopiť hydráty metánu.* Zdroj: Hansen a kol. (2007, strana 1942).
- 245 *Tabuľka 31.5. Nevyhnutné energetické náklady koncentrovania a stlačenia CO₂ zo vzduchu.* Nevyhnutne potrebné náklady energie na koncentrovanie CO₂ z 0,03 % na 100 % pri atmosférickom tlaku sú $kT \ln 100/0,03$ na jednu molekulu, čo predstavuje **0,13 kWh na kg**. Ideálne energetické náklady stlačenia CO₂ na 110 barov (tlak potrebný pre geologické uskladnenie) sú **0,067 kWh/kg**. Takže celkové ideálne náklady zachytávania a stlačenia CO₂ sú **0,2 kWh/kg**. Podľa špeciálnej správy IPCC o zachytávaní a uskladňovaní CO₂ sú praktické náklady druhého kroku, teda stlačenie CO₂ na 110 barov, **0,11 kWh na kg**. (0,4 GJ na tCO₂; 18kJ na mól CO₂; 7kJ na molekulu).
- 245 *Uloží sa buď hlboko do zeme, alebo hlboko do oceánu.* Pre ďalšiu diskusiu pozri Williams (2000). „Aby väčšia časť vstreknutého CO₂ zostala v oceáne, musí sa uskutočniť vo veľkej hĺbke. Začína prevládať zhoda, že najlepšia krátkodobá stratégia je ukládanie CO₂ do hĺbok 1000-1500 metrov, čo je možné uskutočniť s existujúcou technológiou.“
Pozri aj špeciálnu správu IPCC: www.ipcc.ch/ipccreports/srccs.htm.
- 245 *V roku 2005 boli najlepšie publikované údaje pre zachytávanie CO₂ zo vzduchu pomerne neúčinné: 3,3 kWh na kilogram pri cene 140 dolárov na tonu CO₂.* Zdroje: Keith a kol. (2005), Lackner a kol. (2001), Herzog (2003), Herzog (2001), David a Herzog (2000).
- *Wallace Broecker, klimatológ...* www.af-info.or.jp/eng/honor/hot/enbro.html. Vo svojej knihe vyjadruje podporu pre umelé stromy. Broecker a Kunzig (2008).
- 246 *Najlepšie rastliny v Európe zachytávajú uhlík rýchlosťou asi 10 ton suchého dreva na hektár za rok.* Zdroj: Select Committee on Science and Technology.
- Pozri Schuiling a Krijgsman (2006).
- 247 *Hnojenie oceánov.* Pozri Judd a kol. (2006). Pozri aj Chisholm a kol. (2001). Riziká hnojenia oceánov rozoberá Jones (2006.)

32 Povedať áno

Keďže Británia získava v súčasnosti 90 % svojej energie z fosílnych palív, nie je prekvapujúce, že ich odstavenie si bude vyžadovať veľké, skutočne veľké zmeny – úplnú zmenu spôsobu dopravy; kompletnú zmenu vykurovacích zariadení väčšiny budov; a 10- či 20-násobný nárast zelenej energie.

Tým, že ľudia majú všeobecný sklon povedať „nie“ veterným farmám, „nie“ jadrovej energii, „nie“ prílivovým hrádzam – „nie“ všetkému ostatnému okrem energetických zariadení na fosílnu palivá – obávam sa, že sa ich nezbavíme, tak ako je to potrebné. Miesto toho sa uspokojíme s polovičnými riešeniami: trochu účinnejšími elektrárnami na fosílnu palivá, autami a domácim vykurovaním; neúčinným obchodovaním s emisiami; s hŕstkou veterných turbín; a nedostatočným počtom jadrových elektrární.

Musíme si zvoliť zmysluplný plán. *Je možné vymyslieť plán, ktorý dáva zmysel, ale nebude to jednoduché.*

Musíme prestať na všetko hovoriť „nie“ a začať hovoriť „áno“. Musíme sa prestať hrať na Punch a Judy šou [Tradičná britská tragi-komediálna bábková hra – pozn. prekl.] a začať stavať.

Ak chcete čestnú a realistickú energetickú stratégiu, ktorá dáva zmysel, prosím, povedzte to všetkým vašim politickým zástupcom a budúcim politickým kandidátom.

Pod'akovanie

Robert MacKay, Gale Ryba a Mary Archem sa zaslúžili o moje uvedenie do ekológie, ďakujem im.

Za desiatky horlivých diskusií o každom detaile si pod'akovanie zaslúžia Matthew Bramley, Mike Cates a Tim Jervis.

Za dobré nápady, inšpiráciu, vylepšenie slovných obratov, užitočnú kritiku a podporu, ďakujem nasledovným ľuďom, ktorí pomohli vytvoriť túto knihu. John Hopfield, Sanjoy Mahajan, Iain Murray, Ian Fells, Tony Benn, Chris Bishop, Peter Dayan, Zoubin Ghahramani, Kimber Gross, Peter Hodgson, Jeremy Lefroy, Robert MacKay, William Nuttall, Mike Sheppard, Ed Snelson, Quentin Stafford-Fraser, Prashant Vaze, Mark Warner, Seb Wills, Phil Cowans, Bart Ullstein, Helen de Mattos, Daniel Corbett, Greg McMullen, Alan Blackwell, Richard Hills, Philip Sargent, Denis Mollison, Volker Heine, Olivia Morris, Marcus Frean, Erik Winfree, Caryl Walter, Martin Hellman, Per Sillrén, Trevor Whittaker, Daniel Nocera, Jon Gibbins, Nick Butler, Sally Daultrey, Richard Friend, Guido Bombi, Alessandro Pastore, John Peacock, Carl Rasmussen, Phil C. Stuart, Adrian Wrigley, Jonathan Kimmitt, Henry Jabbour, Ian Bryden, Andrew Green, Montu Saxena, Chris Pickard, Kele Baker, Davin Yap, Martijn van Veen, Sylvia Frean, Janet Lefroy, John Hinch, James Jackson, Stephen Salter, Derek Bendall, Deep Throat, Thomas Hsu, Geoffrey Hinton, Radford Neal, Sam Roweis, John Winn, Simon Cran-McGreehin, Jackie Ford, Lord Wilson of Tillyorn, Dan Kammen, Harry Bhadeshia, Colin Humphreys, Adam Kalinowski, Anahita New, Jonathan Zwart, John Edwards, Danny Harvey, David Howarth, Andrew Read, Jenny Smithers, William Connolley, Ariane Kossack, Sylvie Marchand, Phil Hobbs, David Stern, Ryan Woodard, Noel Thompson, Matthew Turner, Frank Stajano, Stephen Stretton, Terry Barker, Jonathan Köhler, Peter Pope, Aleks Jakulin, Charles Lee, Dave Andrews, Dick Glick, Paul Robertson, Jürg Matter, Alan and Ruth Foster, David Archer, Philip Sterne, Oliver Stegle, Markus Kuhn, Keith Vertanen, Anthony Rood, Pilgrim Beart, Ellen Nisbet, Bob Flint, David Ward, Pietro Perona, Andrew Urquhart, Michael McIntyre, Andrew Blake, Anson Cheung, Daniel Wolpert, Rachel Warren, Peter Tallack, Philipp Hennig, Christian Steinrücken, Tamara Broderick, Demosthenis Pafitis, David Newbery, Annee Blott, Henry Leveson-Gower, John Colbert, Philip Dawid, Mary Waltham, Philip Slater, Christopher Hobbs, Margaret Hobbs, Paul Chambers, Michael Schlup, Fiona Harvey, Jeremy Nicholson, Ian Gardner, Sir John Sulston, Michael Fairbank, Menna Clatworthy, Gabor Csanyi, Stephen Bull, Jonathan Yates, Michael Sutherland, Michael Payne, Simon Learmount, John Riley, Lord John Browne, Cameron Freer, Parker Jones, Andrew Stobart, Peter Ravine, Anna Jones, Peter Brindle, Eoin Pierce, Willy Brown, Graham Treloar, Robin Smale, Dieter Helm, Gordon Taylor, Saul Griffith, David Cebonne, Simon Mercer, Alan Storkey, Giles Hodgson, Amos Storkey, Chris Williams, Tristan Collins, Darran Messem, Simon Singh, Gos Micklem, Peter Guthrie, Shin-Ichi Maeda, Candida Whitmill, Beatrix Schlarb-Ridley, Fabien Petitcolas, Sandy Polak, Dino Seppi, Tadashi Tokieda, Lisa Willis, Paul Weall, Hugh Hunt, Jon Fairbairn, Miloš T. Kojašević, Andrew Howe, Ian Leslie, Andrew Rice, Miles Hember, Hugo Willson, Win Rampen, Nigel Goddard, Richard Dietrich, Gareth Gretton, David Sterratt, Jamie Turner, Alistair Morfey, Rob Jones, Paul McKeigue, Rick Jefferys, Robin S Berlingo, Frank Kelly, Michael Kelly, Scott Kelly, Anne Miller, Malcolm Mackley, Tony Juniper, Peter Milloy, Cathy Kunkel, Tony Dye, Rob Jones, Garry Whatford, Francis Meyer, Wha-Jin Han, Brendan McNamara, Michael Laughton, Dermot Mc-Donnell, John McCone, Andreas Kay, John McIntyre, Denis Bonnelle, Ned Ekins-Daukes, John Daghish, Jawed Karim, Tom Yates, Lucas Kruijswijk, Sheldon Greenwell, Charles Copeland, Georg Heidenreich, Colin Dunn, Steve Foale, Leo Smith, Mark McAndrew, Bengt Gustafsson, Roger Pharo, David Calderwood, Graham Pendlebury, Brian Collins, Paul Hasley, Martin Dowling, Martin Whiteland, Andrew Janca, Keith Henson, Graeme Mitchison, Valerie MacKay, Dewi Williams, Nick Barnes, Niall Mansfield, Graham Smith, Wade Amos, Sven Weier, Richard McMahan, Andrew Wallace, Corinne Meakins, Eoin O'Carroll, Iain McClatchie, Alexander Ač, Mark Suthers, Gustav Grob, Ibrahim Dincer, Ian Jones, Adnan

Midilli, Chul Park, David Gelder, Damon Hart- 251 Davis, George Wallis, Philipp Spöth, James Wimberley, Richard Madeley, Jeremy Leggett, Michael Meacher, Dan Kelley, Tony Ward-Holmes, Charles Barton, James Wimberley, Jay Mucha, Johan Simu, Stuart Lawrence, Nathaniel Taylor, Dickon Pinner, Michael Davey, Michael Riedel, William Stoett, Jon Hilton, Mike Armstrong, Tony Hamilton, Joe Burlington, David Howey, Jim Brough, Mark Lynas, Hezlin Ashraf-Ball, Jim Oswald, John Lightfoot, Carol Atkinson, Nicola Terry, George Stowell, Damian Smith, Peter Campbell, Ian Percival, David Dunand, Nick Cook, Leon di Marco, Dave Fisher, John Cox, Jonathan Lee, Richard Procter, Matt Taylor, Carl Scheffler, Chris Burgoyne, Francisco Monteiro, Ian McChesney a Liz Moyer. Ďakujem všetkým.

Za pomoc pri hľadaní klimatologických údajov, ďakujem Emily Shuckburgh. Veľmi vďačný som Kele Baker za údaje o elektrických autách na obrázku 20.21. Ďalej ďakujem Davidovi Sterrattovi za odborné príspevky a Niallovi Mansfieldovi, Jonathanovi Zwartovi a Anne Jones za vynikajúcu radu pri editovaní.

Zostávajúce chyby sú samozrejme moje vlastné.

Som obzvlášť zaviazaný Sebovi Willsovi, Philovi Cowansovi, Oliverovi Stegleovi, Patrickovi Welche a Carlovi Schefflerovi za uržiavanie mojich počítačov v chode.

Ďakujem Africkému inštitútu pre matematické vedy v Kapskom meste a Inštitútu Isaaca Newtona pre matematické vedy v Cambridge, za ich pohostinnosť.

Veľmi pekne ďakujem Digital Technology Group, Výpočtovému stredisku, Oddeleniu fyziky na Cambridge a Heriot-Watt University za poskytnutie meteorologických údajov. Som taktiež vďačný Jersey Water a Guernsey Electricity za umožnenie návštevy ich zariadení.

Ďakujem Gilby Productions za poskytnutie služby TinyURL. TinyURL je obchodná značka spoločnosti Gilby Productions. Ďakujem Ericovi Johnstonovi a spoločnosti Satellite Signals Limited za vytvorenie pekného rozhrania máp [www.satsig.net].

Ďakujem Davidovi Sternovi za vytvorenie podobizne, Becky Smithovi za obrazovú predlohu a Claire Jervisovej za fotografie na stranách ix, 31, 90, 95, 153, 245, 289 a 325. Za ostatné fotky ďakujem Robertovi MacKayovi, Ericovi LeVinovi, Marcusovi Freanovi, Rosie Wardovej, Harrymu Bhadeshiaovi, Catherine Huangovej, Yaan de Carlanovi, Pippa Swannellovej, Corinne Le Quéré, Davidovi Faimanovi, Kele Bakerovi, Timovi Jervisovi a anonymným prispievateľom Wikipédie. Som taktiež vďačný úradu starostu Londýna za poskytnutie kópií inzercie.

Obrazová predloha na strane 240 je "Panna v Londýne," a na strane 288, "Slnečnice," ktoré vytvorila Banksy www.banksy.co.uk. Ďakujem, Banksy!

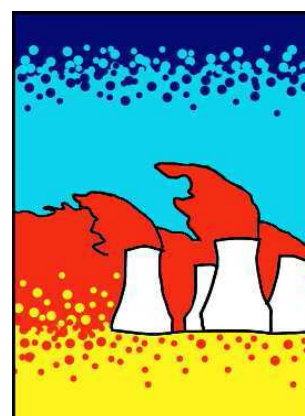
Offsetové služby poskytlo cheatneutral.com.

Táto kniha je napísaná v systéme LATEX pod operačným systémom Ubuntu GNU/Linux s použitím voľne dostupných programov. Grafy boli vytvorené pomocou programov gnuplot a metapost. Mnohé z máp boli vytvorené za pomoci programu gmt Paula Wessela a Waltera Smitha. Ďakujem taktiež Martinovi Weineltovi a OMC. Ďakujem tiež Donaldovi Knuthovi, Leslie Lamportovej, Richardovi Stallmanovi, Linus Torvaldsovi a všetkým tým, ktorí prispeli k voľne dostupným programom.

Nakoniec patrí moja najväčšia vďaka nadácii Gatsby Charitable Foundation, ktorá podporovala mňa a moju vedeckú skupinu pred, počas a po napísaní tejto knihy.

Časť III

Technické kapitoly



A Autá II

Určili sme, že auto na 100 km vzdialenosť spotrebuje približne 80 kWh energie.

Čo sa s touto energiou deje? Ako to závisí od vlastností auta? Dokážeme vyrobiť autá 100-násobne účinnejšie? Aby sme to zistili, vytvoríme jednoduchý model riadenia auta. Energia v typickom aute na fosílné palivo sa premieňa v štyroch hlavných oblastiach, a každú z nich preskúmame:

1. zrýchľovanie a následné spomaľovanie spôsobené brzdením;
2. odpor vzduchu;
3. jazdný odpor;
4. teplo – 75 % energie sa premení v podobe tepla, pretože spaľovanie fosílnych palív je neefektívne.

V tomto modeli spočiatku budeme ignorovať jazdný odpor. Na jeho vplyv sa v tejto kapitole pozrieme neskôr.

Predpokladajme, že vodič prudko zrýchľuje až na rovnomernú rýchlosť a udržiava ju na vzdialenosť d , pričom d predstavuje vzdialenosť medzi semaforami, značkami STOP, alebo dopravnými zápchami. V týchto bodoch vodič dupne na brzdú a premení všetku kinetickú energiu auta na teplo v brzdách (takéto auto nemá účinné regeneratívne brzdenie). Potom, keď je možné znovu začať zrýchľovať, zrýchli opäť na svoju rovnomernú rýchlosť v . Toto zrýchlenie automobilu kinetickú energiu dodáva, zatiaľ čo brzdenie kinetickú energiu uberá.

Energia sa však nestráca len pri brzdení: kým je auto v pohybe, vytvára sa v jeho okolí prúdenie vzduchu. Auto tak zanecháva za sebou prúdiaci vzduch, ktorý sa pohybuje rýchlosťou blízkou rýchlosti v . Ktorá z týchto dvoch foriem energie je väčšia: kinetická energia prúdiaceho vzduchu alebo tepelná energia v brzdách? Podme to zistiť.

- Auto zrýchli a spomalí jedenkrát za čas d/v . Pomer, pri ktorom sa energia dodáva do brzd, je:

$$\frac{\text{kinetická energia}}{\text{čas medzi zastaveniami}} = \frac{\frac{1}{2} m_c \cdot v^2}{\frac{d}{v}} = \frac{\frac{1}{2} m_c \cdot v^3}{d}, \quad (\text{A.1})$$

kde m_c je hmotnosť auta.

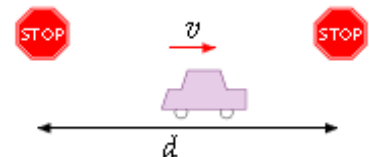


Obrázok A.1. Peugeot 206 má koeficient odporu 0.33. Fotografia Christopher Batt.

Kľúčový vzorec pre väčšinu výpočtov v tejto knižke je:

$$\text{kinetická energia} = \frac{1}{2} m \cdot v^2.$$

Napríklad, automobil s hmotnosťou $m = 1000$ kg pohybujúci sa 100 km/hod, resp. rýchlosťou $v = 28$ m/s má energiu $\frac{1}{2} m \cdot v^2 \approx 390\,000$ J $\approx 0,1$ kWh



Obrázok A.2. Náš model: auto sa pohybuje rýchlosťou v medzi značkami STOP umiestnenými od seba vo vzdialenosti d .

Obrázok A.3. Auto pohybujúce sa rýchlosťou v vytvára za sebou trubicu prúdiaceho vzduchu; plocha prierezu tejto trubice je približne rovnaká ako čelná plocha vozidla a rýchlosť, pri ktorej vzduch prúdi v tejto trubici, je približne v .

• Trubica vzduchu vytváraná za čas t má objem $a \cdot v \cdot t$, kde a je plocha prierezu trubice, ktorá je približne rovnaká ako čelná plocha vozidla. (V prípade aerodynamickejšieho vozidla a je obyčajne trochu menšia ako čelná plocha vozidla A_{auto} a pomer takéhoto prierezu plochy trubice voči ploche auta je koeficient odporu vozidla c_d . V nasledujúcich rovniciach A predstavuje efektívnu plochu auta, $c_d \cdot A_{auto}$.) Trubica vzduchu má hmotnosť $m_{vzduch} = \rho \cdot A \cdot v \cdot t$ (kde ρ je hustota vzduchu) a vzduch v trubici prúdi rýchlosťou v , takže kinetická energia vzduchu je:

$$\frac{1}{2} m_{vzduch} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot t \cdot v^2$$

a rýchlosť vytvárania kinetickej energie v prúdiacom vzduchu je:

$$\frac{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot t \cdot v^2}{t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3.$$

Takže celkové množstvo autom vyrobenej energie je:

energia spotrebovaná v brzdách + energia spotrebovaná prúdiacim vzduchom

$$= \frac{1}{2} m_c \cdot v^3 / d + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (\text{A.2})$$

Obe formy energie sú úmerné v^3 . Takže náš model predpovedá, že vodič, ktorý zníži rýchlosť o polovicu, zníži spotrebovanú energiu osemnásobne. Ale ak pri takomto znížení rýchlosti chceme prejsť rovnakú vzdialenosť, bude nám to trvať dvakrát dlhšie a celková spotrebovaná energia počas celej našej cesty bude štyrikrát menšia.

Ktorá z týchto dvoch foriem energie je väčšia: energia spotrebovaná v brzdnom systéme alebo energia rozptýlená v prúdiacom vzduchu? Závisí to od pomeru

$$(m_c/d)/(\rho \cdot A).$$

Ak je pomer oveľa väčší ako 1, potom viac výkonu prechádza do brzd. Ak je menší, viac výkonu ide do prúdiaceho vzduchu. Upravením tohto pomeru dostaneme, že je väčší ako 1, ak

$$m_c > \rho \cdot A \cdot d.$$

$A \cdot d$ je objem trubice vzduchu prúdiaceho od jednej značky STOP k nasledujúcej. $\rho \cdot A \cdot d$ je hmotnosť tohto vzduchu. Takže máme veľmi jednoduchú situáciu: v prípade, ak je hmotnosť vozidla väčšia ako hmotnosť trubice vzduchu od jednej značky STOP po druhú, tak dominuje kinetická energia vložená do brzd; v prípade, ak je hmotnosť vozidla menšia (obrázok A.4), tak dominuje energia rozptýľovaná v prúdiacom vzduchu.

Podme určiť kritickú vzdialenosť d^* medzi dvomi zastaveniami, pričom pri vzdialenosti menšej ako d^* sa viac energie spotrebuje na brzdenie a pri vzdialenosti väčšej ako d^* sa jej viac spotrebuje na odpor vzduchu. Ak čelná plocha vozidla je:

Používam vzorec:

Hmotnosť = hustota \times objem

Symbol ρ (Grécke písmeno „ró“) označuje hustotu.



Obrázok A.4. Aby sme zistili, či sa energia spotrebuje hlavne v brzdnom systéme alebo na prekonanie odporu vzduchu, porovnáme hmotnosť vozidla s hmotnosťou vzduchovej trubice medzi dvomi značkami STOP.



Obrázok A.5. Energia spotrebovaná na pohon vozidla je priamo úmerná prierezu jeho čelnej plochy počas jeho jazdy mimo mesta a jeho hmotnosti počas jazdy v meste. Uhádnite, ktoré auto je úspornejšie: VW na ľavej strane alebo terénne auto na pravej strane?

$$A_{\text{auto}} = 2 \text{ m široké} \times 1,5 \text{ m vysoké} = 3 \text{ m}^2$$

a koeficient odporu je $c_d = 1/3$ a hmotnosť vozidla je $m_{\text{auto}} = 1000 \text{ kg}$ potom vzdialenosť d^* je:

$$d^* = \frac{m_{\text{auto}}}{\rho \cdot c_d \cdot A_{\text{auto}}} = \frac{1000 \text{ kg}}{1,3 \text{ kg/m}^3 \cdot 1/3 \cdot 3 \text{ m}^2} = 750 \text{ m}$$

Takže pri jazde v meste prevláda kinetická energia a energia spotrebovaná na brzdenie, ak je vzdialenosť medzi dvomi zastaveniami menšia ako 750 m. Pri týchto podmienkach je možné ušetriť energiu nasledovnými spôsobmi:

1. znížením hmotnosti auta;
2. používaním auta s rekuperačným brzdením (ktoré dokáže znížiť spotrebovanú energiu približne dvojnásobne - pozri kap. 20); a
3. pomalšou jazdou.

Ak je vzdialenosť medzi dvomi zastaveniami oveľa väčšia ako 750 m, energia sa spotrebuje najmä na prekonanie odporu vzduchu. V tomto prípade nezáleží na tom, aká je hmotnosť vozidla. Spotreba energie je približne rovnaká, či auto viez jednu osobu alebo šesť osôb. Túto spotrebu je možné znížiť:

1. znížením koeficientu odporu vzduchu;
2. znížením čelnej plochy auta;
3. pomalšou jazdou.

Aktuálnu spotrebu energie auta, vyjadrenú rovnicou A.2, zvýši faktor, ktorý súvisí s nízkou účinnosťou spaľovacieho motora a prevodovkou. Typické spaľovacie motory majú efektívnosť približne 25 %, takže z celkovej chemickej energie viazanej v palive sa tri štvrtiny premenia na teplo v motore a iba jedna štvrtina sa využije:

$$\text{celková energia auta} \approx 4 \cdot \left[\frac{\frac{1}{2} m_c \cdot v^3}{d} + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \right]$$

Overme túto teóriu konkrétnymi možnými hodnotami pre jazdu vozidlom mimo mesta. Majme $v = 110 \text{ km/h} = 31 \text{ m/s}$, $A = c_d \cdot A_{\text{auto}} = 1 \text{ m}^2$. Výkon, ktorý motor potrebuje sa približne rovná:

$$4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = 2 \cdot 1,3 \text{ kg/m}^3 \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot (31 \text{ m/s})^3 = 80 \text{ kW}$$

Čiže ak riadime auto s takouto rýchlosťou jednu hodinu každý deň, potom prejdeme 110 km a spotrebujeme denne **80 kWh** energie. Ak namiesto toho riadime denne polovičnou rýchlosťou dve hodiny a prejdeme tú istú vzdialenosť, spotrebujeme **20 kWh** energie. Takže táto

ENERGIA NA VZDIALENOSŤ	
Auto	↔ 80 kWh/(100 km) pri 110/kmh
Bicykel	↔ 2,4 kWh/(100 km) pri 21 km/h
LIETADLÁ PRI 900 km/h	
A380	27 kWh/100 na sedadlo/km

Tabuľka A.6: Fakty dobré vedieť: spotreba energie auta.

jednoduchá teória sa zhoduje s tým, čo som uviedol v kapitole 3. Navyiac nám táto teória poskytuje pohľad na to, ako môžeme znížiť energiu spotrebovanú autom. Teória má niekoľko chybičiek, ktoré následne preskúmame.

Je možné vyrobiť auto, ktoré spotrebuje stonásobne menej energie a dokáže ísť rýchlosťou 110 km/h? **Nie**. Nie, ak má ten istý tvar. Pri jazde mimo mesta rýchlosťou 110 km/h sa energia spotrebuje hlavne na prekonanie odporu vzduchu. Zmena materiálu vozidla to neovplyvní. Zázračné zlepšenie spaľovacieho motora môže odhadom zvýšiť jeho účinnosť od 25 % do 50 %, čo spôsobí zníženie spotreby energie takéhoto vozidla približne na 40 kWh na 100 km.

Elektromobily majú niekoľko výhod: hoci je hmotnosť akumulátora, ktorý má uskladniť rovnaké množstvo energie ako fosílné palivo, až dvadsaťpäťnásobne vyššia ako hmotnosť paliva, hmotnosť elektrického motora môže byť približne osemnásobne nižšia ako hmotnosť spaľovacieho motora. Jednotlivé kroky využitia energie v elektromobile sú mnohonásobne účinnejšie: u elektrických motorov dosahuje účinnosť až 90 %.

Detailnejšie sa k elektromobilom vrátíme na konci tejto kapitoly.

Bicykle a triky pomocou úprav

Vtipná otázka: koľko energie sa spotrebuje pri jazde na bicykli v kWh na 100 km? Jazda na bicykli si vyžaduje tak ako v prípade auta spotrebovať energiu na prekonanie odporu vzduchu. Teraz môžeme realizovať všetky výpočty nahradením hodnotami týkajúcimi sa bicykla. Ale je tu jednoduchý trik, ktorý môžeme použiť na získanie výsledkov pre bicykel. Energia spotrebovaná autom počas jazdy súvisí s výkonom spotrebovaným na prekonanie odporu vzduchu,

$$4 \times \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

podelená rýchlosťou v , takže

$$\text{energia na vzdialenosť} = 4 \times \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$

„4“ charakterizuje nízku účinnosť spaľovacieho motora, ρ je hustota vzduchu, plocha $A = c_d \cdot A_{\text{auto}}$ je efektívna čelná plocha automobilu a v je jeho rýchlosť.

Teraz môžeme porovnať bicykel s autom vydelením $4 \times \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v$ pre bicykel s $4 \times \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$ pre auto. Všetky čísla a hustoty vzduchu sa vyrušia

Pomer je:

$$\frac{\text{energia bicykla/ vzdialenosť}}{\text{energia auta/ vzdialenosť}} = \frac{c_d^{\text{bicykel}} \cdot A_{\text{bicykel}} \cdot v_{\text{bicykel}}^2}{c_d^{\text{auto}} \cdot A_{\text{auto}} \cdot v_{\text{auto}}^2}$$

KOEFICIENY ODPORU

AUTÁ	
Honda Insight	0,25
Prius	0,26
Renault 25	0,28
Honda Civic (2006)	0,31
VW Polo Gti	0,32
Peugeot 206	0,33
Ford Sierra	0,34
Audi TT	0,35
Honda Civic (2001)	0,36
Citroen 2CV	0,51
Cyklista	0,9
Diaľkový autobus	0,425

LIETADLÁ

Cesna	0,027
Learjet	0,022
Boeing 747	0,031

ČELNÉ PLOCHY (m²)

Land Rover Discovery	1,6
Volvo 740	0,81
Typické auto	0,8
Honda Civic	0,68
VW Polo Gti	0,65
Honda Insight	0,47

Tabuľka A.7: Koeficienty jazdného odporu a čelná plocha.

Trik, ktorý v tomto prípade využívame sa nazýva „škálovanie.“ Ak vieme, koľko energie sa spotrebuje pri danej rýchlosti a ploche, potom dokážeme vypočítať spotrebu vozidiel s celkom inými rýchlosťami a plochami. Predpokladajme, že pomer plôch je:

$$\frac{A_{bicykel}}{A_{auto}} = \frac{1}{4}$$

(4 cyklisti môžu sedieť dotýkajúc sa ramenami na šírku jedného auta). Predpokladajme, že bicykel nemá veľmi účinný, aerodynamický tvar:

$$\frac{c_d^{bicykel}}{c_d^{auto}} = \frac{1}{3}$$

A predpokladajme, že rýchlosť bicykla je 21 km/h, takže:

$$\frac{v_{bicykel}}{v_{auto}} = \frac{1}{5}$$

Potom:

$$\frac{\text{energia bicykla/ vzdialenosť}}{\text{energia auta/ vzdialenosť}} = \frac{c_d^{bicykel} \cdot A_{bicykel} \cdot v_{bicykel}^2}{c_d^{auto} \cdot A_{auto} \cdot v_{auto}^2} = \left(\frac{3}{4}\right) \times \left(\frac{1}{5}\right)^2 = \frac{3}{100}$$

Takže cyklista pri 21 km/h spotrebuje na rovnakú vzdialenosť približne 3 % energie v porovnaní s vodičom auta na ceste – približne **2,4 kWh na 100 km**.

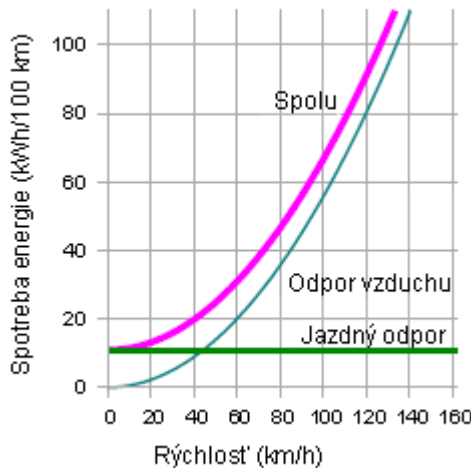
Ak chcete vozidlo, ktorého účinnosť je 30-násobne vyššia ako v prípade auta, je to jednoduché – používajte bicykel. ☺

A čo jazdný odpor?

Doposiaľ sme úplne ignorovali energiu, ktorú spotrebujú pneumatiky a ložiská auta, energiu, ktorá sa premieňa na hluk kolies pri dotyku s asfaltom, energiu, ktorá spôsobuje opotrebovávanie pneumatík a energiu, ktorá spôsobuje vibrácie vozovky. Súhrne sa tieto formy spotreby energie nazývajú jazdný odpor. Štandardný model jazdného odporu tvrdí, že jazdný odpor je jednoducho proporcionálne závislý od hmotnosti vozidla a nezávislý od rýchlosti vozidla. Konštanta proporcionality sa nazýva koeficient jazdného odporu a označuje sa C_{rr} . Tabuľka A.8 poskytuje niektoré typické hodnoty koeficientu jazdného odporu.

Koleso	C_{rr}
vlak (kov na kov)	0,002
pneumatika bicykla	0,005
pneumatika nákladného auta	0,007
pneumatika osobného auta	0,001

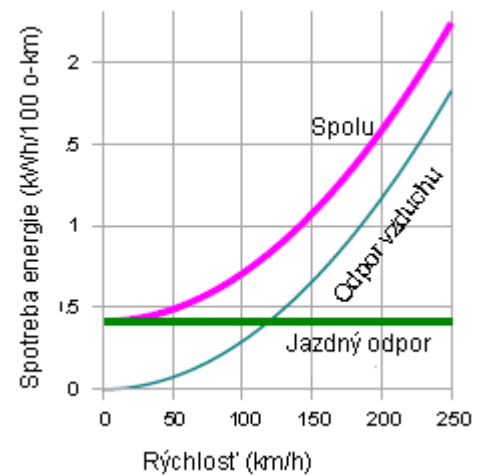
Tabuľka A.8: Jazdný odpor je rovný hmotnosti vozidla vynásobenej koeficientom jazdného odporu C_{rr} . Jazdný odpor zahŕňa silu, ktorú spôsobuje pružnosť kolesa, straty trenia v ložiskách kolesa, trasením a vibráciami vozovky a vozidla (vrátane energie, ktorú spotrebujú tlmiče vozidla) a kĺzanie kolies na vozovke, resp. na koľajniciach. Koeficient sa mení v závislosti od kvality vozovky, od kvality materiálu kolies, a od ich teploty. Čísla tu uvedené predpokladajú hladký povrch vozovky. [2bhu35]



Obrázok A.9. Jednoduchá teória spotreby paliva v aute (energia/vzdialenosť) pri jazde rovnakou rýchlosťou. Predpoklady: spaľovací motor auta využíva energiu s účinnosťou 25 %, pri akejkoľvek rýchlosti; $c_d \cdot A_{\text{auto}} = 1 \text{ m}^2$; $m_{\text{auto}} = 1000 \text{ kg}$ a $C_{rr} = 0,01$.



Obrázok A.10. Jednoduchá teória spotreby energie pri jazde bicyklom (energia/vzdialenosť). Na vertikálnej osi je energia spotrebovaná v kWh na 100 km. Predpoklady: motor bicykla (to ste vy!) využíva energiu s účinnosťou 25 %; čelná plocha cyklistu je $0,75 \text{ m}^2$; hmotnosť cyklistu a bicykla je 90 kg a $C_{rr} = 0,005$.



Obrázok A.11. Jednoduchá teória spotreby energie vlaku na 1 pasažiera vo vlaku s 8 vagónmi a 584 pasažiermi. Na vertikálnej osi je spotrebovaná energia v kWh na 100 km. Predpoklady: motor vlaku využíva energiu s účinnosťou 90 %; $c_d \cdot A_{\text{vlak}} = 11 \text{ m}^2$; $m_{\text{vlak}} = 400000 \text{ kg}$ a $C_{rr} = 0,002$.

Koeficient jazdného odporu auta je približne 0,01. Vplyv takéhoto jazdného odporu je rovnaký ako neustála jazda do kopca s naklonením jedna ku sto. Takže jazdné trenie je približne 100 N/t, nezávisle od rýchlosti. Overiť si to možno tlačením jednotonového auta po rovnej ceste. V prípade, keď s ním dokážete pohnúť, zistíte, že ho potom môžete udržať v pohybe jednou rukou. (100 N je tiaž 100 jabĺk). Takže pri rýchlosti 31 m/s, je výkon potrebný na prekonanie jazdného odporu jednotonového vozidla

$$\text{сила} \times \text{rýchlosť} = (100 \text{ N}) \times (31 \text{ m/s}) = 3100 \text{ W};$$

v prípade motora s účinnosťou 25 % potrebujeme 12 kW výkonu motora. Výkon potrebný na prekonanie odporu vzduchu sme vypočítali na strane 256 na 80 kW. Takže pri vysokej rýchlosti potrebujeme približne 15 % výkonu na prekonanie jazdného odporu.

Obrázok A.9 ukazuje teóriu spotreby paliva (energia na jednotku vzdialenosti) ako funkciu konštantnej rýchlosti, keď dáme spolu odpor vzduchu a jazdný odpor.

Rýchlosť, pri ktorej sa jazdný odpor auta rovná odporu vzduchu, udáva vzorec

$$C_{rr} \cdot m_c \cdot g = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c_d \cdot A \cdot v^2,$$

kde

$$v = \sqrt{2 \cdot \frac{C_{rr} \cdot m_c \cdot g}{\rho \cdot c_d \cdot A}} = 13 \text{ m/s}$$

Bicykle

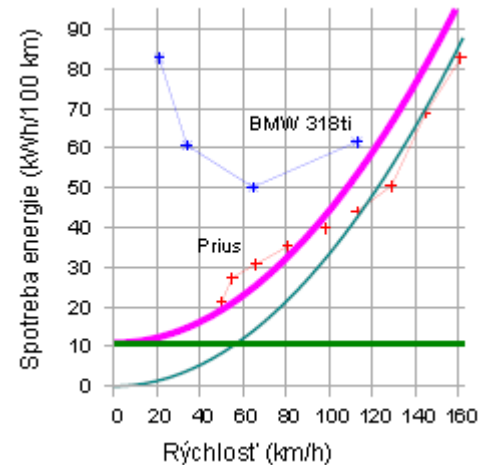
V prípade bicykla ($m = 90 \text{ kg}$, $A = 0,75 \text{ m}^2$) sa prechod medzi rozhodujúcim vplyvom jazdného odporu a dominujúcim vplyvom odporu vzduchu odohráva pri rýchlosti 12 km/h. Pri rýchlosti 20 km/h je spotreba približne 2,2 kWh na 100 km. Ak by sme ešte zvýšili aerodynamickú polohu cyklistu, môžeme znížiť čelnú plochu a tým znížiť spotrebu energie na približne 1,6 kWh na 100 km.

Vlaky

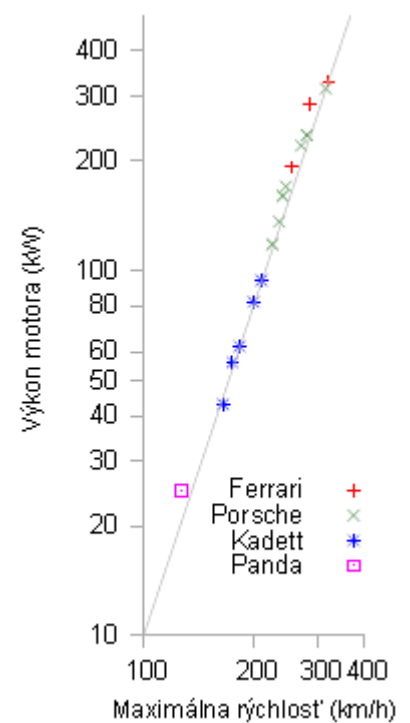
V prípade vlaku s ôsmimi vagónmi, ako ukazuje obrázok A.11 ($m = 400\,000$, $A = 11 \text{ m}^2$), je rýchlosť, nad ktorou je odpor vzduchu väčší ako jazdný odpor: 33 m/s. V prípade vlaku s jedným vozňom ($m = 50\,000$, $A = 11 \text{ m}^2$) je táto rýchlosť 12 m/s.

Závislosť výkonu na rýchlosti

Ak poviem, že znížením rýchlosti na polovicu je možné znížiť spotrebu paliva na *jednu štvrtinu*, ľudia často neveria. Poznávajú, že väčšina motorov áut má optimálne otáčky a možnosť voľby rôznych rýchlostí auta zabezpečí optimálnu účinnosť spotreby paliva. Ak môj pokus, v ktorom navrhujem zníženie rýchlosti auta o polovicu, spôsobí, že auto sa dostane mimo svoj plánovaný rozsah rýchlostí, spotreba nemusí klesnúť až štvornásobne. Môj nevyslovený predpoklad je, že účinnosť motora je rovnaká pri všetkých rýchlostiach a nákladoch, čo znamená, že je vždy dobré jazdiť pomalšie. Ak ale účinnosť motora pri nižších rýchlostiach klesá, potom tá najlepšia rýchlosť môže byť pri strednej rýchlosti, ktorá je kompromisom medzi pomalou jazdou a zachovaním optimálnej účinnosti spaľovania paliva. Pre BMW 318ti na obrázku A.12 napr. optimálna rýchlosť je približne 60 km/h. Ale ak by sa celá spoločnosť dohodla, že rýchlosti áut by mali byť nižšie, nie je žiadny problém prerobiť motory tak, aby sa dosiahla maximálna účinnosť pri požadovanej rýchlosti. Ďalší dôkaz, že potrebný výkon motora sa zvyšuje treťou mocninou rýchlosti, je na obr. A.13, ktorý ukazuje výkon v závislosti od maximálnych rýchlostí rôznych automobilov. Čiara ukazuje závislosť medzi výkonom a treťou mocninou rýchlosti.



Obrázok A.12. V prípade vlaku s ôsmimi vagónmi, ako ukazuje obrázok A.11 ($m = 400\,000$, $A = 11 \text{ m}^2$), rýchlosť, nad ktorou je odpor vzduchu väčší ako jazdný odpor je: $v = 33 \text{ m/s}$. V prípade vlaku s jedným vagónom ($m = 50\,000$, $A = 11 \text{ m}^2$) je táto rýchlosť: $v = 12 \text{ m/s}$.



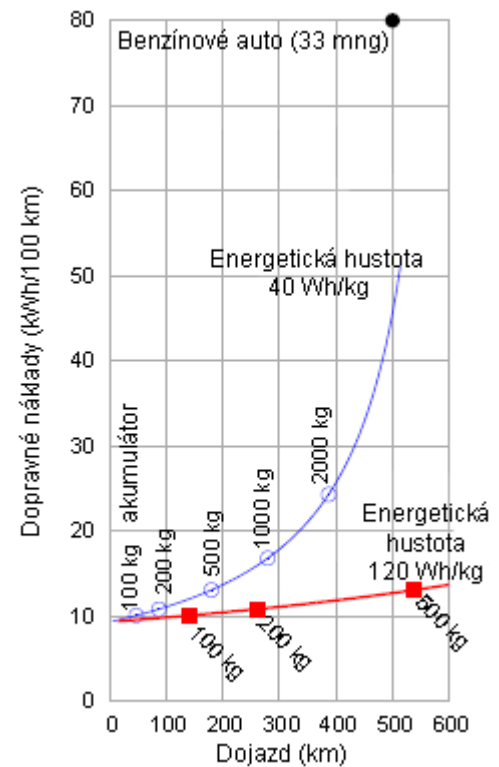
Obrázok A.13. Výkony automobilov (kW) verus ich maximálne rýchlosti (km/h). Obe mierky sú logaritmické. Výkon sa zvyšuje treťou mocninou rýchlosti. Dvojnásobná rýchlosť si vyžaduje osemnásobne vyšší výkon. Tennekes (1997).

Elektrické automobily: je dojazd problém?

Ľudia často hovoria, že elektromobily nedosahujú dostatočný dojazd. Zástancovia elektromobilov zasa hovoria: „žiadny problém, môžeme do nich vložiť viac akumulátorov“ - a to je pravda. Ale potrebujeme zistiť, aký vplyv má pridanie ďalších akumulátorov na spotrebu energie. Odpoveď závisí hlavne od koncentrácie energie (hustota energie), s ktorou sa uvažuje pri akumulátoroch: pri hustote energie 40 Wh/kg (typické olovené akumulátory) uvidíme, že prekonať dojazd 200 až 300 km je ťažké, ale pri hustote energie 120 Wh/kg (typické lítiové akumulátory), je aj dojazd 500 km dosiahnuteľný ľahko.

Predpokladajme, že hmotnosť automobilu s cestujúcimi je 740 kg, bez akýchkoľvek akumulátorov. Postupne budeme pridávať 100 kg, 200 kg, 500 kg alebo možno 1000 kg akumulátory. Predpokladajme typickú rýchlosť 50 km/h, čelnú plochu 0,8 m², jazdný odpor 0,01, vzdialenosť medzi dvomi zastaveniami 500 m, účinnosť motora 85 % a predpokladajme, že pri zastavovaní a štartovaní obnoví rekuperácia polovicu kinetickej energie automobilu. Predpokladajme, že nabíjanie automobilu z elektrickej siete má účinnosť 85 %. Obrázok A.14 ukazuje dopravné náklady auta proti jeho dojazdu pri rozličných akumulátoroch. Horná krivka zobrazuje výsledok pre batérie ktorých hustota energie je 40 Wh/kg (zastarané olovené batérie). Dojazd limituje hranica približne 500 km. Na to, aby sme sa priblížili k tomuto maximálnemu dojazdu by sme potrebovali absurdne veľké množstvo batérií: napr. pre dojazd 400 km potrebujeme 2000 kg batérií a dopravné náklady prekračujú 25 kWh na 100 km. Ak chceme dosiahnuť dojazd 180 km musíme mať 500 kg batérií. Výsledky sú omnoho lepšie, ak berieme do úvahy ľahšie lítiové batérie. Pri hustote energie 120 Wh/kg, elektromobily s batériami s hmotnosťou 500 kg ľahko dosahujú dojazd 500 km. Spotreba energie pri doprave sa odhaduje približne na 13 kWh na 100 km.

Takže, zdá sa mi, že problém s dojazdom vyriešil príchod moderných akumulátorov. Bolo by dobré mať ešte lepšie akumulátory, ale hustota energie 120 Wh/kg je dostatočná, ak sme spokojní s hmotnosťou batérií v aute do 500 kg. V praxi si viem predstaviť, že väčšina ľudí by bola spokojná s dojazdom 300 km, ktorý možno dosiahnuť s 250 kg akumulátormi. Ak by sme tieto akumulátory rozdelili na 25 kg samostatne odpájateľné články, potom by užívateľ automobilu mohol mať v aute iba 4 z 10 kusov, v prípade ak by jazdil na bežnú vzdialenosť (100 kg dáva dojazd 140 km) a vzal so sebou navyše 6 kusov z nabíjacej stanice, ak by chcel ísť na dlhší výlet. Počas dlhších výletov by vymenil batérie za čerstvo nabitú zostavu vo výmennej stanici batérií približne každých 300 km.



Obrázok A.14. Teória dojazdu elektromobilu (horizontálna os) a dopravných nákladov (vertikálna os) ako funkcia hmotnosti akumulátorov pre dve rôzne technológie. Auto s 500 kg starými akumulátormi s hustotou energie 40 Wh/kg má dojazd 180 km. Elektromobil s tou istou hmotnosťou ale s modernými akumulátormi dodávajúcimi 120 Wh/kg môže mať dojazd viac ako 500 km. Obe autá by mali energetické náklady okolo 13 kWh na 100 km. Tieto čísla predpokladajú 85 % účinnosť nabíjania akumulátorov. [Pozn. Prekl.: mng = mpg (miles-per-galon) vyjadruje počet prejdenných míľ pri spotrebovaní paliva o objeme jeden galón (3,78 litrov)].

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

256 Typické benzínové motory majú účinnosť približne 25 %. Podľa Encarty [6by8x] „účinnosť dobrého, moderného motora s Ottovým cyklom je v rozsahu 20-25 %.“ Benzínový motor Toyoty Prius, preslávený jedným z najúčinnějších motorov, využíva Atkinsonov cyklus namiesto Ottovho cyklu; maximálny výstupný výkon je 52 kW a jeho účinnosť je 34 % pri 10 kW [348whs]. Najlepší naftový motor na svete má účinnosť 52 %, ale pre autá sa nehodí, pretože má hmotnosť 2 300 t: Wartsila-Sulzer RTA96-C turbonaftový motor (obr. A.15) je určený pre kontajnerové lode a má výstupný výkon 80 MW.

- *Regeneratívne brzdy majú zhruba polovičné straty energie počas brzdenia.* Zdroj: E4tech (2007).

257 Elektrické motory môžu byť okolo osemkrát ľahšie ako benzínové motory. Štvortaktný benzínový motor má pomer medzi výkonom a hmotnosťou zhruba 0,75 kW/kg. Najlepšie elektrické motory majú účinnosť 90 % a pomer medzi výkonom a hmotnosťou 6 kW/kg. Takže nahradenie 75 kW benzínového motora 75 kW elektrickým motorom ušetrí 85 kg hmotnosti. Nanešťastie, pomer medzi výkonom a hmotnosťou batérií je okolo 1 kW na kg. Takže, čo elektromobil získa na motore, stratí na akumulátoroch.

259 Motor na bicykli využíva energiu s účinnosťou 25 %. Tento a ďalšie predpoklady o cyklistike potvrdil di Prampera a kol. (1979). Brzdná (čelná) plocha cyklistu v pretekárskej polohe je $c_d A = 0,3 \text{ m}^2$. Jazdný odpor cyklistu na vysokokvalitnej cyklistickej dráhe (celková hmotnosť 73 kg) je 3,2 N.

260 Obrázok A.12. Údaje pre Prius sú od B. Z. Wilsona [<http://home.hiwaay.net/~bzwilson/prius/>]. Údaje pre BMW sú od Phil C. Stuarta [<http://www.randomuseless.info/318ti/economy.html>].

Pre ďalšie čítanie: Gabrielli a von Kármán (1950)

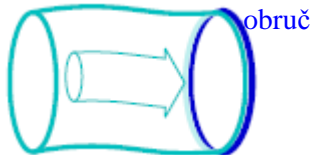


Obrázok A.15. Wartsila- Sulzer RTA96-C 14 cylindrový dvojtaktný dieselový motor. 27 metrov dlhý a 13,5 metrov vysoký. <http://www.wartsila.com/>

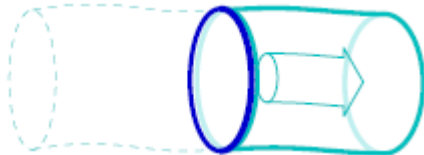
B Vietor II

Fyzika veternej energie

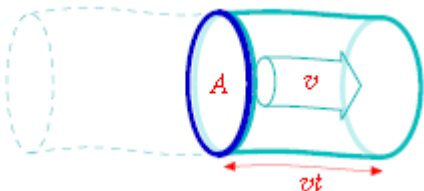
Aby sme odhadli energiu vetra, predstavme si obruč s plochou A , lemujúcu vietor, ktorého rýchlosť je v . Uvažujme s vetrom, ktorý prechádza cez túto obruč za 1 sekundu. Nižšie je znázornený obrázok tejto masy vetra, ktorá je práve pred prechodom obruče:



A tu je obrázok tej istej masy vetra o sekundu neskôr za obručou:



Hmotnosť tohto množstva vetra je výsledkom jeho hustoty ρ , jeho plochy A a jeho dĺžky, ktorá je $v \cdot t$, kde t je 1 s.



Kinetická energia tohto množstva vetra je

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v \cdot t \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot t \cdot v^3. \quad (\text{B.1})$$

Takže výkon vetra pre plochu A – t.j. kinetická energia prechádzajúca cez plochu za jednotku času je

$$\frac{\frac{1}{2} m \cdot v^2}{t} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3. \quad (\text{B.2})$$

Tento vzorec sa vám môže zdať povedomý – rovnaké vyjadrenie sme odvodili na strane 255, keď sa hovorilo o výkone potrebnom na pohon automobilu.

Aká je typická rýchlosť vetra? Počas veterného dňa cyklista skutočne postrehne smer vetra; ak vám vietor fúka od chrbta, môžete ísť oveľa

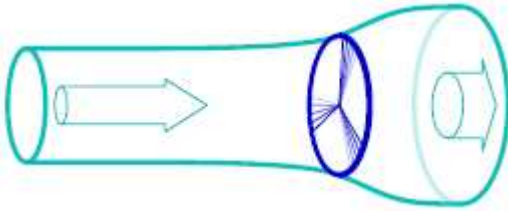


Znovu používam tento vzorec:

hmotnosť = hustota × objem

Míle/h	km/h	m/s	Beaufortova stupnica
2,2	3,6	1	silá 1
7	11	3	silá 2
11	18	5	silá 3
13	21	6	silá 4
16	25	7	silá 4
22	36	10	silá 5
29	47	13	silá 6
36	58	16	silá 7
42	68	19	silá 8
49	79	22	silá 9
60	97	27	silá 10
69	112	31	silá 11
78	126	35	silá 12

Tabuľka B.1. Závislosť sily vetra od jeho rýchlosti.



Obrázok B.2. Tok vetra prechádza cez veterný mlyn. Ten ho spomaľuje a zároveň rozptyľuje.

rýchlejšie ako obvykle; rýchlosť takéhoto vetra je preto porovnateľná s typickou rýchlosťou cyklistu, ktorá je povedzme 21 km/h (6m/s). V Cambridge má vietor takúto rýchlosť iba zriedkavo. Napriek tomu považujeme toto za typickú hodnotu pre Veľkú Britániu (a majme na pamäti, že bude potrebné naše odhady upraviť).

Hustota vzduchu je okolo $1,3 \text{ kg/m}^3$. (Ja obvyčajne zaokrúhľujem túto hodnotu na 1 kg/m^3 , čo je ľahšie zapamätateľné, hoci teraz som takto neurobil.) Potom typický výkon vetra na štvorcový meter obruče je

$$\frac{1}{2} \rho \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,3 \text{ kg/m}^3 \cdot (6 \text{ m/s})^3 = 140 \text{ W/m}^2. \quad (\text{B.3})$$

Veterná turbína však nevyužije všetku túto energiu. Hoci turbína vzduch značne spomaľuje, musí zanechať vzduch s *nejakou* kinetickou energiou. Na obrázku B.2 je náčrtok toku vetra prechádzajúceho veternou turbínou. Maximálny podiel prichádzajúcej energie, ktorú disk tvaru veterného mlyna môže využiť, definoval nemecký fyzik Albert Betz v roku 1919. Ak odchádzajúca rýchlosť vetra predstavuje jednu tretinu prichádzajúcej rýchlosti vetra, využitý výkon je $16/27$ z celkového výkonu vetra, t.j. 0,59. V praxi odhadujeme, že veterné turbíny môžu mať účinnosť 50 %. Skutočné veterné turbíny sú konštruované len na určité rozpätie rýchlosti vetra; ak je rýchlosť vetra podstatne vyššia ako ideálna rýchlosť, tak je potrebné turbínu odstaviť.

Ako modelový príklad predpokladajme priemer $d = 25 \text{ m}$ a výšku stožiaru 32 m , čo je zhruba veľkosť osamotených veterných turbín nad mestom Wellington, Nový Zéland (obr. B.3). Výkon jednej veternej turbíny je

$$\begin{aligned} & \text{účinnosť} \times \text{výkon na jednotku plochy} \times \text{plocha} \\ & = 50 \% \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \end{aligned} \quad (\text{B.4})$$

$$= 50 \% \cdot 140 \text{ W/m}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (25 \text{ m})^2 \quad (\text{B.5})$$

$$= 34 \text{ kW} \quad (\text{B.6})$$

A naozaj, keď som navštívil túto veternú turbínu počas veterného dňa, jej merač ukazoval vyrobený výkon 60 kW.

Na to, aby sme odhadli, aké množstvo výkonu dokážeme získať z vetra, potrebujeme rozhodnúť, aké veľké budú naše veterné turbíny a ako blízko k sebe ich môžeme umiestniť.



Obrázok B.3. Brooklynova veterná turbína nad Wellingtonom, Nový Zéland, s ľuďmi stojacimi pri základni. Počas veterného dňa táto veterná turbína produkovala 60 kW (1400 kWh za deň). Fotografia Philip Banks.

Ako nahusto by mali byť veterné turbíny? Tie, ktoré sú príliš blízko a proti vetru, budú tieniť tým, ktoré sú v smere vetra. Podľa expertov by veterné turbíny nemali byť k sebe bližšie ako na päťnásobok svojho priemeru, ak nemá dôjsť k významnej strate výkonu. Výkon na jednotku plochy, ktorý pri tejto vzdialenosti dokážu turbíny zabezpečiť, je

$$\frac{\text{výkon na jednu turbínu (B.4)}}{\text{plocha na jednu turbínu}} = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot \frac{\pi}{8} \cdot d^2}{(5d)^2} \quad (\text{B.7})$$

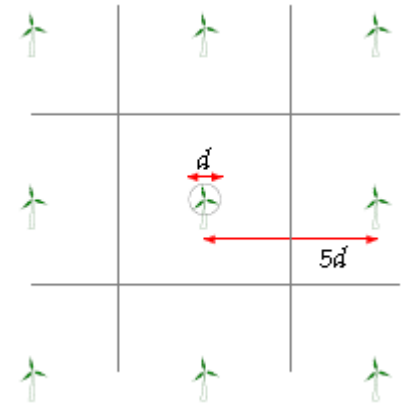
$$= \frac{\pi}{200} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (\text{B.8})$$

$$= 0.016 \times 140 \text{ W/m}^2 \quad (\text{B.9})$$

$$= 2,2 \text{ W/m}^2 \quad (\text{B.10})$$

Toto číslo si je dobré zapamätať: veterná elektrárňa produkuje pri rýchlosti vetra 6 m/s na jeden m² plochy výkon 2 W. Uvedomme si, že náš výsledok nezávisí od priemeru veternej turbíny. Priemery sú vykrátené, pretože väčšie veterné turbíny musia byť umiestnené ďalej od seba. Väčšie veterné turbíny môžu byť vhodné, ak chceme zachytiť silnejší vietor vo vyšších výškach (čím vyššia veterná turbína, tým rýchlejší vietor zachytáva), alebo kvôli úsporám priestoru. Toto sú však jediné dôvody, pre ktoré sa uprednostňujú vysoké veterné turbíny.

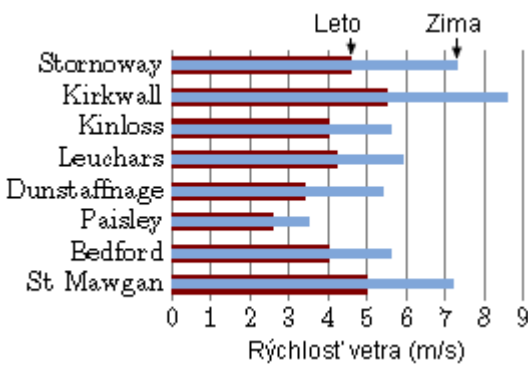
Tento výpočet závisí na nami odhadovanej rýchlosti vetra. Je 6 m/s rýchlosť, ktorá je prijateľná pri dlhodobých meraniach vetra vo Veľkej Británii? Obrázky 4.1 a 4.2 zobrazujú rýchlosti vetra v Cambridge a v Cairngorme. Obrázok B.6 zobrazuje priemernú rýchlosť vetra a rýchlosť vetra počas leta v ďalších ôsmich lokalitách. Obávam sa, že rýchlosť 6 m/s bola nadhodnotená, pretože typické rýchlosti vo väčšine Británie sú nižšie! Ak nahradíme vo výpočtoch predošlých 6 m/s so 4 m/s



Obrázok B.4. Náčrt rozmiestnenia veterných elektrární.

VÝKON NA PLOCHU	
veterná elektrárňa	2 W/m ²
(rýchlosť 6m/s)	

Obrázok B.5. Fakty dobré si zapamätať: veterné elektrárne.



Obrázok B.6. Priemerná rýchlosť vetra v lete (tmavé stĺpce) a priemerná rýchlosť vetra v zime (svetlé stĺpce) v ôsmich lokalitách Veľkej Británie. Rýchlosti boli merané pri štandardnej výške 10 m. Priemery sú za obdobie od roku 1971 do roku 2000.

v Bedforde, musíme znížiť náš odhad vynásobením s $(4/6)^3 \approx 0,3$. (Zapamätajte si, že výkon závisí od tretej mocniny rýchlosti vetra). Na druhej strane na výpočet typického výkonu by sme nemali použiť strednú rýchlosť vetra a umocniť ju na tretiu. Lepšie je nájsť strednú hodnotu tretej mocniny vetra. Priemer tretej mocniny je vyšší ako tretia mocnina priemeru. Ale ak by sme zachádzali do týchto detailov, veci by boli ešte komplikovanejšie, pretože reálne veterné turbíny v skutočnosti nedodávajú výkon úmerný tretej mocnине rýchlosti vetra. Namiesto toho majú iba určitý rozsah rýchlosti vetra, pri ktorom dodávajú ideálny výkon, pri nižších alebo vyšších rýchlostiach v skutočnosti dodávajú menej výkonu.

Zmena rýchlosti vetra v závislosti od výšky

Vyššie veterné turbíny dokážu využiť väčšie rýchlosti vetra. Spôsob, akým sa zvyšuje rýchlosť vetra s výškou je komplikovaný a závisí od nerovnomernosti okolitého terénu a od denného času. Zdvojnásobením výšky sa zvyšuje rýchlosť vetra približne o 10 % a teda výkon sa zvyšuje o 30 %.

Niektoré štandardné vzorce, ktoré formulujú závislosť rýchlosti v ako funkciu výšky z , sú:

1. Podľa vzorca od NREL [ydt7uk], rýchlosť s mocninou výšky:

$$v(z) = v_{10} \cdot \left(\frac{z}{10 \text{ m}} \right)^\alpha,$$

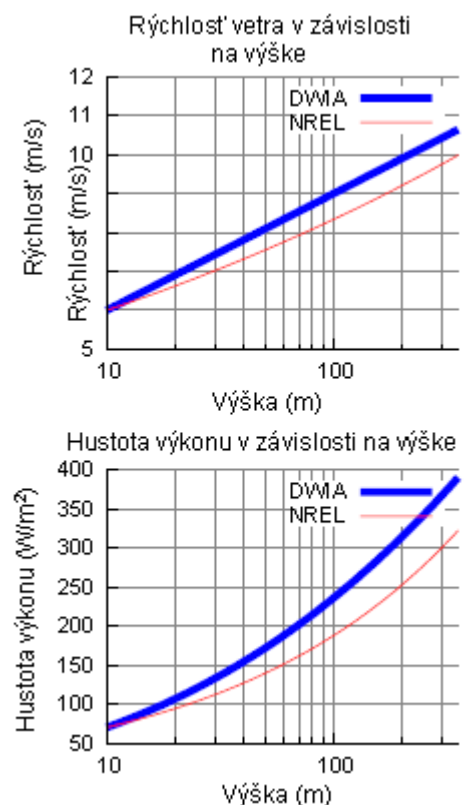
kde v_{10} je rýchlosť pri 10 m a typická hodnota exponentu $\alpha = 0,143$ alebo $1/7$. Zákon jednej sedminy ($v(z)$ je priamo úmerná k $z^{1/7}$) používa napr. Elliott a kol. (1991).

2. Vzorec z Dánskej asociácie veterného priemyslu [yaoonz] je

$$v(z) = v_{ref} \cdot \frac{\log(z/z_0)}{\log(z_{ref}/z_0)},$$

kde z_0 je parameter nazývajúci sa koeficient dynamickej drsnosti povrchu [určuje mieru členitosti povrchu – pozn. prekl.] a v_{ref} je rýchlosť pri referenčnej výške z_{ref} ako napr. 10 m. Dĺžka drsnosti pre typickú krajinu (poľnohospodárska krajina s nejakými domami a s ochrannými živými plotmi s 500 metrovými intervalmi – „trieda drsnosti 2“) je $z_0 = 0,1$ m.

V praxi tieto dva vzorce dávajú podobné hodnoty. To však neznamená, že sú presné vždy. Van den Berg (2004) predpokladá, že v noci sú často veterné profily rozdielne.



Obrázok B.7. Horný obrázok: 2 modely rýchlostí vetra a výkonu vetra ako funkcia výšky. DWIA = Dánska asociácia pre veterný priemysel; NREL = Národné laboratórium obnoviteľnej energie. Pre každý model rýchlosť pri 10 m bola zafixovaná na 6 m/s. Pre dánsky veterný model za hrubú dĺžku sa považuje $z_0 = 0,1$ m. Dolný obrázok: Hustota výkonu (výkon na jednotku plochy) podľa každého z týchto modelov.



Obrázok B.8. Turbína qr5 z [quietrevolution.co.uk]. Nie práve typická veterná turbína.

Štandardné vlastnosti veterných elektrární

Typická veterná turbína má v súčasnosti priemer rotora okolo 54 m vo výške 80 m; takýto stroj má „inštalovaný výkon“ 1 MW. „Inštalovaný“ alebo „maximálny“ výkon je *najvyšší* výkon, ktorý môže veterná turbína dosiahnuť pri optimálnych podmienkach. Obyčajne sa veterné turbíny konštruujú na rozbehnutie pri rýchlostiach vetra okolo 3 až 5 m/s a zastavenie pri vetre 25 m/s. Aktuálny priemerný dodávaný výkon je maximálny výkon vynásobený faktorom, ktorý popisuje podiel času, počas ktorého sú veterné podmienky blízko optima. Tento faktor často nazývaný ako využiteľnosť (load factor) alebo činiteľ využitia (capacity factor), závisí od lokality a typická využiteľnosť veterných elektrární na vhodných lokalitách Veľkej Británie je 30 %. V Holandsku je tento faktor 22 % a v Nemecku 19 %.

Odhady hustoty výkonu veterných elektrární podľa iných autorov

Podľa vládnej štúdie [<http://world-nuclear.org/policy/DTI-PIU.pdf>] sa kapacita vetra v pobrežných oblastiach Veľkej Británie odhaduje, s využitím predpokladanej hustoty výkonu veterných elektrární, na 9 W/m^2 (inštalovaný, nie priemerný výkon). Ak je využiteľnosť 33 %, potom by bol priemerný vyrobený výkon 3 W/m^2 .

London Array je veterná elektráreň na mori (angl. „offshore“), plánovaná za ústím rieky Temža. S jej inštalovaným výkonom 1 GW sa očakáva, že bude najväčšou morskou veternou elektrárnou na svete. Kompletná veterná elektráreň bude pozostávať z 271 veterných turbín na ploche 245 km^2 [6086ec] a bude dodávať priemerne 3 100 GWh (350 MW) za rok [viac ako 5-násobok technického potenciálu veternej energie na Slovensku – pozn. prekl]. Náklady na výstavbu sú 1,5 miliardy libier. Táto veterná elektráreň bude mať hustotu výkonu $350 \text{ MW}/245 \text{ km}^2 = 1,4 \text{ W/m}^2$. Toto je menej ako iné veterné elektrárne na mori, a domnievam sa že preto, lebo táto lokalita zahŕňa veľký kanál (Knock Deep), príliš hlboký (okolo 20 m) pre ekonomické umiestnenie veterných turbín.

Viac sa obávam toho, čo tieto plány [navrhovanej veternej elektrárne London Array] urobia s krajinou a spôsobom života na pobreží, ako som sa kedy obával invázie nacistov.

Bill Boggia z Graveney, teda z miesta, kde podmorské káble veternej elektrárne vystúpia na breh.

Otázky

A čo mikro-generácia? Ak by ste si inštalovali tieto miniturbíny na vašu strechu, aké množstvo energie môžete takto získať?

Ak predpokladáme rýchlosť vetra 6 m/s (pričom, ako som uviedol predtým, priemerná rýchlosť pre väčšinu lokalít Veľkej Británie je nižšia) a priemer turbíny 1 m, dodávaný výkon by mal byť 50 W. To je 1,3 kWh denne – nie veľmi veľa. A v skutočnosti, v typickej urbanizovanej lokalite Anglicka mikroturbína dodá iba 0,2 kWh za deň – pozri stranu 63.

Možno najhoršie veterné turbíny na svete sú inštalované v meste Tsukuba, v Japonsku, ktoré v skutočnosti viac energie spotrebujú, ako vyrobia. Tí, čo si tieto statické turbíny nechali nainštalovať sa cítili natoľko trápne, že im potom dodávali energiu na to, aby turbíny vyzerali tak, že pracujú! [6bkvbn].

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

264 Maximálny podiel energie, ktorý je možné získať z veternej turbíny... Toto je elegantné vysvetlenie získané z web stránky Dánskej asociácie pre veterný priemysel [yekdaa].

267 Obyčajne sú veterné turbíny konštruované na rozbehnutie pri rýchlostiach vetra okolo 3 až 5 m/s [mfbsn].

- *typický faktor využiteľnosti pre dobrú lokalitu je 30 %*. V roku 2005 bola priemerná využiteľnosť pre všetky hlavné britské veterné elektrárne 28 % [ypvbvd]. Využiteľnosť sa mení počas roka, s najnižšími hodnotami 17 % v júni a júli. Využiteľnosť pre najlepšie lokality v krajine – Caithness, Orkneje a Shetlandy – bola 33 %. Využiteľnosti dvoch morských veterných elektrární fungujúcich v roku 2005 boli 36 % pre North Hoyle (blízko Severného Walesu) a 29 % pre Scroby Sands (blízko Great Yarmouth). Priemerné využiteľnosti v roku 2006 pre 10 lokalít boli: Cornwall 25 %; Mid-Wales 27 %; Cambridgeshire a Norfolk 25 %; Cumbria 25 %; Durham 16 %; Southern Scotland 28 %; Orkneje a Shetlandy 35 %; Severovýchodné Škótsko 26 %; Severné Írsko 31 %; moria 29 % [wbd8o].

Podľa Watsona a kol. (2002) je pre komerčné využitie veternej energie potrebná minimálna ročná priemerná rýchlosť vetra 7 m/s. Tieto rýchlosti dosahuje okolo 33 % rozlohy Veľkej Británie.



Obrázok B.9. „60 W“ mikroturbína Ampair. Priemerná energia vyrobená touto mikroturbínou v kúpeľoch v Leamingtone je 0,037 kWh za deň (1,5 W).



Obrázok B.10. 5 kW turbína s priemerom 5,5 m s názvom Iskra [www.iskrawind.com] pri ročnej revízii. Táto turbína umiestnená v Hertfordshire (nie tá z najveternejších lokalít v Británii) s výškou 12 m priemerne vyrobí 11 kWh za deň. Veterná elektráreň s turbínami s takouto výrobou s plochou 30 m × 30 m by mala hustotu výkonu 0,5 W/m².

C Lietadlá II

Potrebujeme zistiť, ako zefektívniť cestovanie z pohľadu spotreby energie, ako vyvinúť nové palivá, ktoré nám umožnia spaľovať menej energie a zároveň menej znečisťovať.

Tony Blair

Dúfať v to najlepšie nie je politika, to je ilúzia.

Emily Armistead, Greenpeace

Aké sú základné limity cestovania lietadlami? Vyžaduje si fyzika lietania určité, nevyhnutné množstvo energie na preletenú tonu/kilometer? Aká je maximálna vzdialenosť, ktorú môže prejsť 300-tonový Boeing 747? A čo kilogramový brehár čiernochvostý alebo stogramový rybár arktický?

Tak ako v kapitole 3, v ktorej sme odhadli spotrebu áut, nasledovanej kapitolou A, ktorá ponúkla model o tom, kde sa premieňa energia v aute, táto kapitola dopĺňa kapitolu 5 a rozoberá, kde sa premieňa energia v lietadlách. Jediná fyzika, ktorú budeme potrebovať, je Newtonov zákon pohybu, ktorý vo vhodnom momente popíšem.

Táto diskusia nám umožní odpovedať na otázky, ako: „Môže let spotrebovať oveľa menej energie, ak cestujeme pomalými vrtuľovými lietadlami?“ Neskôr bude nasledovať množstvo vzorcov: dúfam, že vás to bude baviť!

Ako lietať

Lietadlá (a vtáky) sa pohybujú vzduchom, a tak ako autá a vlaky, ich brzdí trecia sila. Veľa energie potrebnej na pohon lietadla sa spotrebuje na pohon lietadla proti tejto sile. Navyše, na rozdiel od áut a vlakov, lietadlá musia mať aj energiu potrebnú na udržanie sa vo vzduchu.

Lietadlá sa udržiavajú vo vzduchu pretlakom pod krídlami a súčasne podtlakom nad krídlami. Vytváraný pretlak pod krídlami lietadlá vytláča smerom hore. (Tak ako hovorí Newtonov tretí zákon). Kým je tento tlak smerujúci nahor, nazývaný zdvih, dostatočne veľký na vyrovnanie hmotnosti lietadla, ktorá smeruje nadol, odoláva lietadlo zaťaženiu smerujúcemu dole.

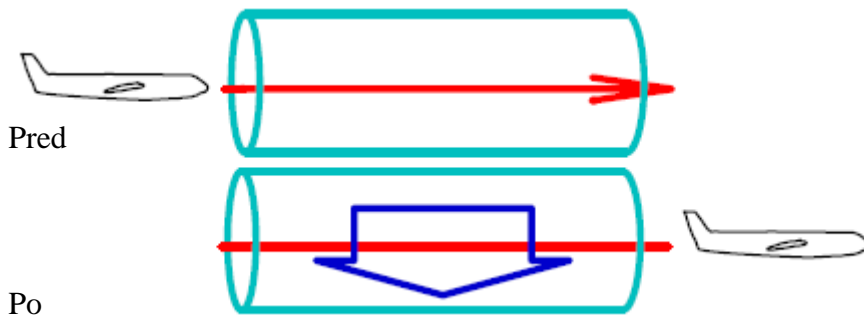
Keď lietadlo stláča vzduch dole, odovzdáva mu kinetickú energiu. Takže umožnenie zdvihu si vyžaduje energiu. Celkový výkon, ktorý lietadlo potrebuje, je sumou výkonu potrebného na umožnenie zdvihu a výkonu potrebného na prekonanie ťahu. (Mimochodom výkon potrebný na vytvorenie zdvihu sa obyčajne nazýva „vyvolaný ťah“, ale ja budem tento výkon nazývať zdvihový výkon, P_{zdvih} .)

Dve rovnice, ktoré budeme potrebovať na pochopenie teórie lietania, sú 2. Newtonov zákon:

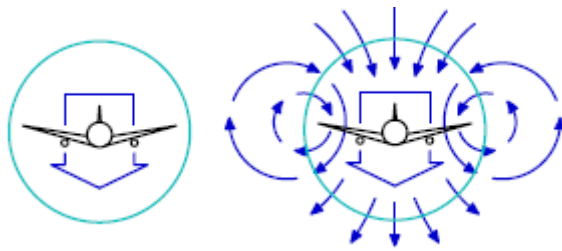
$$\text{Sila} = \text{časová zmena hybnosti}, \quad (\text{C.1})$$



Obrázok C.1. Vtáky: 2 rybáre arktické, brehár čiernochvostý a Boeing 747.



Obrázok C.2. Lietadlo čelí stálej trubici vzduchu. Keď lietadlo preletí vzduchom, vzduch je ním tlačенý nadol. Veľkosť sily, ktorou pôsobí lietadlo na vzduch a dáva ho dole, je rovná a opačné veľkosti sily vzduchu tlačiaceho lietadlo hore.



Obrázok C.3. Náš model predpokladá, že lietadlo zanecháva za sebou trubicu vzduchu klesajúcu dole v jeho brázde. Reálny model zahŕňa zložitejšie vírenie vzduchu. Ako je to v skutočnosti, pozri obr. C.4.

a 3. Newtonov zákon, ktorý som už spomenul:

сила pôsobiaca na A s B = – sila pôsobiaca na B s A.

(C.2)

Ak sa vám nepáčia vzorce, môžem už teraz prezradiť zámer: na nasledujúcich riadkoch zistíme, že výkon potrebný na vytvorenie zdvihu sa musí rovnať výkonu potrebnému na prekonanie ťahu. Takže na to, aby sme „zostali hore“, potrebujeme dvojnásobný výkon.

Vytvorme model zdvihovej sily pre lietadlo letiace rýchlosťou v . Za čas t lietadlo preletí vzdialenosť $v \cdot t$ a zanechá za sebou trubicu vzduchu padajúceho dole (obr.C.2). Prierez plochy tejto trubice označíme A_s . Priemer tejto trubice je približne rovný rozpätiu krídel w lietadla. (V rámci tejto rozsiahlej trubice je malá trubica turbulentne sa víriaceho vzduchu s prierezom rovnajúcim sa približne čelnej ploche lietadla.) Details prúdenia vzduchu sú omnoho zaujímavejšie ako ukazuje obrázok trubice: pri lete lietadla sa v skutočnosti v jeho okolí víri vzduch podľa obrázku C.3 a C.4. Vzduch spôsobujúci pohyb vpred sa využíva vtákmi letiacimi v určitom usporiadaní. Vráťme sa ale späť k našej trubici.

Hmotnosť trubice je

$$m_{\text{trubica}} = \text{hustota} \times \text{objem} = \rho \cdot v \cdot t \cdot A_s. \quad (\text{C.3})$$

Predpokladajme, že celá trubica klesá dole rýchlosťou u a vyrátajme, aká u je potrebná na to, aby sila zdvihu sa rovnala tiaži lietadla $m \cdot g$. Dole smerovaná hybnosť trubice za čas t je



Obrázok C.4. Vzduch prúdiaci za lietadlom. Fotografia od NASA Langley Research Center

$$\text{hmotnosť} \times \text{rýchlosť} = m_{\text{trubica}} \times u = \rho \cdot v \cdot t \cdot A_S \cdot u. \quad (\text{C.4})$$

Podľa Newtonových zákonov sa toto musí rovnať hybnosti dodanej hmotnosťou lietadla za čas t :

$$m \cdot g \cdot t \quad (\text{C.5})$$

Úpravou tejto rovnice:

$$\rho \cdot v \cdot t \cdot A_S \cdot u = m \cdot g \cdot t \quad (\text{C.6})$$

môžeme získať požadovanú rýchlosť klesajúcej trubice

$$u = \frac{m \cdot g}{\rho \cdot v \cdot A_S}.$$

Zaujímavé! Rýchlosť trubice je nepriamo úmerná rýchlosti lietadla v . Pomaly letiace lietadlo stlačí vzduch ťažšie ako rýchlo letiace lietadlo, pretože čelí menšiemu množstvu vzduchu za jednotku času. Preto pristávajúce lietadlá, ktoré letia pomaly, musia rozťahnuť klapky: vytvárajú tak väčšie krídlo, ktoré viac odkláňa vzduch.

Aká je spotreba energie stláčajúca trubicu dole pri potrebnej rýchlosti u ? Potrebný výkon je

$$P_{\text{zdvih}} = \frac{\text{kinetická energia trubice}}{\text{čas}} \quad (\text{C.7})$$

$$= \frac{1}{2} \frac{m_{\text{trubica}}}{t} \cdot u^2 \quad (\text{C.8})$$

$$= \frac{1}{2t} \rho \cdot v \cdot t \cdot A_S \cdot \left(\frac{m \cdot g}{\rho \cdot v \cdot A_S} \right)^2 \quad (\text{C.9})$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v \cdot A_S} \quad (\text{C.10})$$

Celkový výkon potrebný na udržanie lietadla v chode je sumou hnacieho výkonu a zdvihového výkonu:

$$P_{\text{celkový}} = P_{\text{hnačí}} + P_{\text{zdvihový}} \quad (\text{C.11})$$

$$= \frac{1}{2} c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v \cdot A_S} \quad (\text{C.12})$$

kde A_p je čelná plocha lietadla a c_d je jeho koeficient odporu (koeficient ťahu), tak ako v kapitole A.

Účinnosť lietadla vyjadrená ako energia na prejdenú vzdialenosť by bola

$$\frac{\text{energia}}{\text{vzdialenosť}} \Big|_{\text{ideal}} = \frac{P_{\text{total}}}{v} = \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v^2 \cdot A_S}, \quad (\text{C.13})$$

Ak lietadlo účinne premení výkon vo svojom palive na hnací a zdvihový výkon. (Iný názov pre „energiu na prejdenú vzdialenosť“ je „sila“ a môžeme si vyššie všimnúť dva výrazy: hnacia sila $\frac{1}{2} \cdot c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2$ a zdvihová sila $\frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v^2 \cdot A_S}$. Sumou je sila alebo „tlak“, ktorá presne špecifikuje ako veľmi treba zaťažiť motory lietadla.)

Skutočný prúdový motor má účinnosť okolo $\varepsilon = \frac{1}{3}$, takže energia na vzdialenosť lietadla letiaceho rýchlosťou v je

$$\frac{\text{energia}}{\text{vzdialenosť}} = \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{1}{2} \cdot c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v^2 \cdot A_S} \right). \quad (\text{C.14})$$

Táto energia na vzdialenosť je dosť komplikovaná, ale značne sa zjednoduší, ak predpokladáme, že lietadlo je navrhnuté na let pri rýchlosti, ktorá minimalizuje túto energiu. Energiu na vzdialenosť si vieme vyjadriť ako funkciu rýchlosti (obr. C.5). Suma týchto dvoch výrazov podľa vzorca C.14 je najmenšia, ak sa tieto dva výrazy rovnajú. Tento fenomén je vo fyzike a v technike veľmi bežný: dve veci, ktoré vôbec *nemusia* byť rovnaké, v skutočnosti rovnaké *sú*, alebo sú rovnaké v rozsahu dvojnásobku.

Takže princíp rovnosti nám vyjadruje optimálnu rýchlosť lietadla nasledovne:

$$c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2 = \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v^2 \cdot A_S}, \quad (\text{C.15})$$

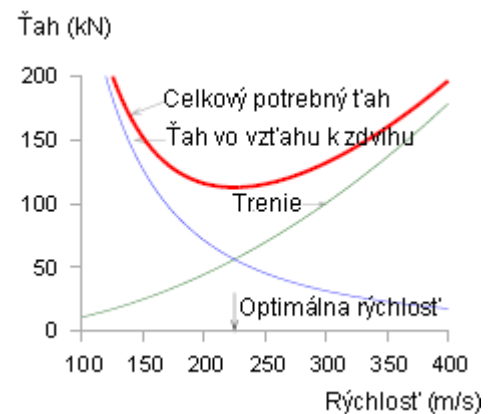
to znamená

$$\rho \cdot v_{opt}^2 = \frac{m \cdot g}{\sqrt{c_d \cdot A_p \cdot A_S}}. \quad (\text{C.16})$$

Toto definuje optimálnu rýchlosť, ak náš model letu je presný; model neplatí, ak účinnosť motora ε značne závisí od rýchlosti, a ak rýchlosť lietadla prekročí rýchlosť zvuku (330 m/s); nad rýchlosťou zvuku by sme potrebovali iný model.

Overme náš model tým, že vypočítame optimálnu rýchlosť pre Boeing 747 a pre vtáka albatrosa. Musíme presne použiť korekciu hustoty vzduchu: ak chceme odhadnúť optimálnu rovnomernú rýchlosť pre Boeing 747 pri výške 30 000 stôp, musíme si pamätať, že hustota vzduchu klesá so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou z s $\exp(-m \cdot g \cdot z / k \cdot T)$, kde m je hmotnosť molekúl kyslíka a dusíka a $k \cdot T$ je tepelná energia (Boltzmanova konštanta \times absolútna teplota). Hustota je približne trojnásobne menšia pri tejto nadmorskej výške.

Predpovedané optimálne rýchlosti (Tab. C.6) sú presnejšie ako sme si trúfali očakávať! Optimálna rýchlosť pre Boeing 747 je 540 míľ za hodinu (220 m/s) a pre albatrosy 32 míľ za hodinu (14 m/s) – oba výpočty sú veľmi blízko ku skutočným rýchlostiam týchto „strojov“ (560 mph [miles-per-hour – míľ za hodinu – pozn. prekl.] a 30 - 55 mph).



Obrázok C.5. Sila potrebná na udržanie lietadla v pohybe ako funkcia jej rýchlosti v je sumou hnacej sily, ktorá sa s rýchlosťou zvyšuje, a zdvihovej sily (tiež známej ako indukovaný ťah), ktorá sa s rýchlosťou znižuje. Existuje ideálna rýchlosť $v_{optimálna}$, pri ktorej je požadovaná sila minimalizovaná. Sila je energia na vzdialenosť, takže minimalizovanie sily tiež minimalizuje náklady na vzdialenosť. Ak chcete optimalizovať spotrebu paliva, leťte rýchlosťou $v_{optimálna}$. Tento graf zobrazuje náš model, ktorý odhaduje celkovú silu v kN pre Boeing 747 s hmotnosťou 319 t, rozpätím krídel 64,4 m, odporovým koeficientom 0,03 a čelnou plochou 180 m², letiacim vo vzduchu s hustotou 0,41 kg/m³ (hustota pri výške 10 km) ako funkciu jeho rýchlosti v v metroch za sekundu. Náš model stanovil optimálnu rýchlosť $v_{optimálna} = 220$ m/s.

PROSTRIEDOK		747	Albatros
Výrobca		Boeing	prirodzený výber
Hmotnosť (plne naložený)	m	363 000 kg	8 kg
Rozpätie krídel	w	64,4 m	3,3 m
Plocha	A_p	180 m ²	0,09 m ²
Hustota	ρ	0,4 kg/m ³	1,2 kg/m ³
Koeficient odporu	c_d	0,03	0,1
Optimálna rýchlosť	v_{opt}	220 m/s = 540 mph	14 m/s = 32 mph

Podme trochu viac preskúmať naše odhady. Môžeme skontrolovať či sila (C.13) je zlučiteľná so známou silou Boeingu 747. Zapamätajme si, že optimálna rýchlosť je pri rovnosti dvoch síl, takže stačí vybrať jednu z nich a vynásobiť ju dvoma:

$$sila = \frac{energia}{vzdialenosť} \Big|_{ideal} = \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{(m \cdot g)^2}{\rho \cdot v^2 \cdot A_s} \quad (C.17)$$

$$= c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot v_{opt}^2 \quad (C.18)$$

$$= c_d \cdot \rho \cdot A_p \cdot \frac{m \cdot g}{\rho \cdot (c_d \cdot A_p \cdot A_s)^{1/2}} \quad (C.19)$$

$$= \left(\frac{c_d \cdot A_p}{A_s} \right)^{1/2} \cdot m \cdot g \quad (C.20)$$

Zadefinujme plniaci faktor f_A , čo je pomer:

$$f_A = \frac{A_p}{A_s} \quad (C.21)$$

(Uvažujme f_A ako časť plochy obsadzovanej lietadlom na obr. C.7). Potom

$$sila = (c_d \cdot f_A)^{1/2} \cdot (m \cdot g) \quad (C.22)$$

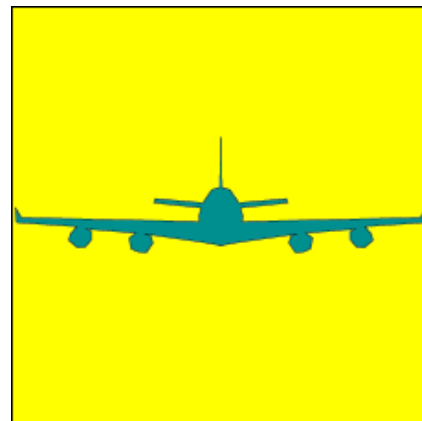
Zaujímavé! Nezávisle od hustoty plynu, cez ktorý lietadlo letí, potrebná celková sila (pre lietadlo letiace optimálnou rýchlosťou) je práve bezrozmerná konštanta $(c_d \cdot f_A)^{1/2}$ krát hmotnosť lietadla. Mimochodom, táto konštanta je známa ako pomer zdvihu ku ťahu lietadla. (tento pomer má niekoľko názvov: kĺzacie číslo, kĺzací pomer alebo aerodynamická účinnosť; typické hodnoty sú uvedené v tabuľke C.8)

Ak vezmeme do úvahy parametre prúdového lietadla, $c_d \approx 0,03$ a $f_A \approx 0,04$, určíme požadovanú celkovú silu:

$$(c_d \cdot f_A)^{1/2} \cdot m \cdot g = 0,036 \cdot m \cdot g = 130 \text{ kN} \quad (C.23)$$

Ako sa toto zhoduje s údajom pre Boeing 747? V podstate každý zo štyroch motorov má maximálnu celkovú silu okolo 240 kN, ale toto maximum je použité iba na vzlietnutie. Počas letu je celková sila omnoho menšia: celková sila pre Boeing 747 je 200 kN, iba o 50 % viac ako

Obrázok C.6. Odhadnutie optimálnych rýchlostí pre prúdové lietadlo a albatrosa. *Odhadovaná čelná plocha pre Boeing 747 s uvažovanou šírkou kabíny (6,1 m) × odhadovaná výška trupu (10 m) a prídanie dvojnásobku k započítaniu čelnej plochy lietadla, krídel a chvosta; v prípade albatrosa je čelná plocha 0,09 m² odhadnutá z fotografie.



Obrázok C.7. Čelný pohľad na Boeing 747 použitý na odhadnutie čelnej plochy A_p lietadla. A_s je plocha krídel.

Airbus A320	17
Boeing 767-200	19
Boeing 767-100	18
Rybár obyčajný	12
Albatros	20

Tabuľka C.8. Pomer zdvihu ku pohonu (ku ťahu).

v našom navrhnutom modeli. Náš model je trochu nepresný pretože náš odhadovaný pomer zdvihu k pohonu bol trochu nízky.

Túto celkovú silu je možné priamo použiť na odvodenie účinnosti dopravy lietadla. Môžeme získať dve účinnosti: energiu potrebnú na udržanie pohybu *hmotnosti* lietadla v kWh na ton-kilometer a energiu potrebnú na prepravu ľudí meranú v kWh na 100 osobo-kilometrov.

Účinnosť vo vzťahu k hmotnosti

Ťah je sila a sila je energia na jednotku vzdialenosti. Celkovú potrebnú energiu na jednotku vzdialenosti je možné vypočítať použitím vzťahu (C.24), kde ε je účinnosť lietadla, ktorá sa vezme ako 1/3.

To znamená, že „energetické“ [pozn. prekl.] dopravné náklady (energia potrebná na dopravu) sú definované ako energia na jednotku hmotnosti (celého lietadla) a na jednotku vzdialenosti:

$$\text{dopravné náklady} = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{\text{sil}a}{\text{hmotnosť}} \quad (\text{C.24})$$

$$= \frac{1}{\varepsilon} \frac{(c_d \cdot f_A)^{\frac{1}{2}} \cdot m \cdot g}{m} \quad (\text{C.25})$$

$$= \frac{(c_d \cdot f_A)^{\frac{1}{2}}}{\varepsilon} \cdot g \quad (\text{C.26})$$

Takže dopravné náklady sú bezrozmerné číslo (súvisiace s tvarom lietadla a jeho účinnosťou motorov) vynásobené s g , urýchľované podľa gravitácie. Tieto dopravné náklady sú aplikovateľné na všetky lietadlá, ale závisí iba od troch jednoduchých charakteristík lietadla: koeficient odporu, tvar lietadla, účinnosť motorov. Nezávisí od veľkosti lietadla ani od jeho hmotnosti ani od hmotnosti vzduchu. Ak pridáme do vzorca $\varepsilon = 1/3$, predpokladáme pomer zdvihu ku pohonu rovný 20, zistíme, že celková energia každého lietadla súvisiaca s našim modelom je

$$0,15 \text{ g.}$$

Alebo

$$0,4 \text{ kWh/ton-km.}$$

Môžeme lietadlá vylepšiť?

Ak by sa dala zvýšiť účinnosť motora technologickým vývojom iba trochu a ak už je tvar lietadla prakticky dokonalý, potom je možné zmeniť náš výsledok len málo. Energia potrebná na prepravu je na hraniciach fyzikálnych limitov. Komunita odborníkov na aerodynamiku hovorí, že tvar lietadiel je možné o niečo vylepšiť za použitia spojených krídel, a že koeficient odporu je možné o niečo znížiť riadením laminárneho prúdenia. Ide o technológiu, ktorá znižuje rast turbulencie cez krídla nasávaním



Obrázok C.9. Cessna 310N: 60 kWh na 100 osobo-km. Cessna 310 Turbo odvezie 6 pasažierov (vrátane pilota) rýchlosťou 360 km/h. Fotografia Adrian Pingstone.

vzduchu cez malé perforácie ich povrchu (Braslow, 1999). Pridanie riadenia laminárneho toku k existujúcim lietadlám by mohlo vylepšiť koeficient odporu o 15 % a zmena v tvare lietadla môže zvýšiť koeficient odporu približne o 18 % (Green, 2006). Rovnica (C.26) hovorí, že energia potrebná na dopravu je priamo úmerná druhej odmocnине koeficientu odporu, takže vylepšenia koeficientu odporu o 15 % alebo 18 % by mohli zefektívniť prepravné náklady o 7,5 %, resp. 9 %.

Tieto hrubé dopravné náklady sú energetické náklady potrebné na pohon lietadla, a *zahŕňajú aj hmotnosť samotného lietadla*. Aby sme odhadli energiu potrebnú na dopravu nákladu lietadlom na jednotku hmotnosti nákladu potrebujeme energiu podeliť podielom tohto nákladu. Napr. ak je hmotnosť lietadla 1/3 hmotnosti nákladu, potom energia potrebná na dopravu je

$$0,45 g,$$

alebo približne 1,2 kWh/ton-km. Toto je iba o málo viac ako energia potrebná v prípade nákladného auta, ktorá je 1 kWh/ton-km.

Účinnosť prepravy a počet pasažierov

Podobne vieme odhadnúť prepravnú účinnosť na jedného pasažiera pre 747.

prepravná účinnosť (osobo-km na liter paliva)

$$= \text{počet pasažierov} \cdot \frac{\text{energia na liter}}{\text{celková sila}} \quad (\text{C.27})$$

$$= \text{počet pasažierov} \cdot \frac{\mathcal{E} \times \text{energia na liter}}{\text{celková sila}} \quad (\text{C.28})$$

$$= 400 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{38 \text{ MJ na liter}}{3200000 \text{ N}} \quad (\text{C.29})$$

$$= 25 \text{ pasažierov-km na liter} \quad (\text{C.30})$$

Toto je iba o málo vyššia účinnosť ako má typické auto s jedným pasažierom (12 km na liter). Takže cestovanie lietadlom je energeticky účinnejšie, ako cestovanie autom, ak v aute sedí jedna alebo dve osoby, a autá sú účinnejšie, ak sú obsadené tromi alebo viacerými osobami.

Kľúčové body

Už sme sa venovali teórii dostatočne! Poďme si zrekapitulovať hlavné myšlienky. Polovica práce, ktorú lietadlo vykoná, ide na to, aby sa *udržalo vo vzduchu*. Druhá polovicu potrebuje na *udržanie pohybu*. Účinnosť spaľovania pri optimálnej rýchlosti vyjadrená energiou na vzdialenosť sme vyjadrili silou (C.22) a bola jednoducho priamo úmerná hmotnosti lietadla; konštantou priamej úmernosti je pomer pohybu k zdvihu, ktorý určuje tvar lietadla. Zatiaľ čo zníženie rýchlostných limitov v prípade áut by mohlo znížiť spotrebu energie na danú vzdialenosť, uvažovať o rýchlostných



Obrázok C.10. Bombardér Learjet 60XR prepravujúci osem pasažierov pri rýchlosti 780 km/h spotrebuje 150 kWh na 100 osobo-km.

Fotografia Adrian Pingstone.

limitoch v prípade lietadiel nemá žiadny význam. Lietadlá vo vzduchu majú rôzne optimálne rýchlosti, ktoré závisia od ich hmotnosti, a tieto lietadlá vždy letia optimálnymi rýchlosťami. Ak by lietadlo letelo pomalšie, spotreba energie by vzrástla. Jediný spôsob ako vylepšiť lietadlo je dostať ho na zem a zastaviť ho. Lietadlá sú dokonale optimalizované a neexistujú žiadne viditeľné vylepšenia, ktoré by zvýšili ich účinnosť (pozri strany 37 a 132 pre ďalšiu diskusiu názoru, že nové prepravné lietadlá sú oveľa účinnejšie ako staré a stranu 35 pre diskusiu názoru, že „turbovrtuľové motory sú oveľa účinnejšie ako spaľovacie motory“).

Dolet

Ďalej, môžeme odhadnúť aký je dolet lietadla alebo vtáka – teda aká je najväčšia vzdialenosť, ktorú môže prejsť bez doplnenia paliva? Môžete sa domnievať, že väčšie lietadlá majú väčší dolet, ale odhad podľa nášho modelu je prekvapujúco jednoduchý. Dolet lietadla, teda maximálna vzdialenosť, ktorú môže prejsť pred doplnením paliva, je priamo úmerný jeho rýchlosti a celkovej energii v palive a nepriamo úmerný výkonu, pri ktorom sa spotrebúva palivo:

$$\text{dolet} = v_{opt} \cdot \frac{\text{energia}}{\text{výkon}} = \frac{\text{energia} \cdot \varepsilon}{\text{sila}} \quad (\text{C.31})$$

Teraz, celková energia paliva je kalorická hodnota paliva C (J/kg) vynásobená jeho hmotnosťou a hmotnosť paliva je nejaká čiastka celkovej hmotnosti lietadla. Takže

$$\text{dolet} = \frac{\text{energia} \cdot \varepsilon}{\text{sila}} = \frac{C \cdot m \cdot \varepsilon \cdot f_{\text{palivo}}}{(c_d \cdot f_A)^{\frac{1}{2}} \cdot (m \cdot g)} = \frac{\varepsilon \cdot f_{\text{palivo}}}{(c_d \cdot f_A)^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{C}{g}. \quad (\text{C.32})$$

Je ťažké si predstaviť jednoduchší výpočet: dolet hociktorého vtáka alebo lietadla je výsledkom bezrozmerného faktoru $\frac{\varepsilon \cdot f_{\text{palivo}}}{(c_d \cdot f_A)^{\frac{1}{2}}}$, ktorý zohľadňuje

vo výpočte účinnosť motora, koeficient odporu a geometriu letiaceho prostriedku s konštantou, ktorú môžeme označiť ako „základná vzdialenosť“,

$$\frac{C}{g},$$

čo je vlastnosť paliva a gravitačná sila, nič viac. Žiadna veľkosť prepravného prostriedku, žiadna hmotnosť, žiadna dĺžka, žiadna hrúbka, žiadna závislosť od hustoty plynu.

Takže čo je táto magická dĺžka? Je to tá istá vzdialenosť, či je palivo husací tuk alebo letecké palivo: obe tieto palivá sú v podstate uhľovodíky $(\text{CH}_2)_n$. Palivo má kalorickú hodnotu $C = 40$ MJ/kg. Vzdialenosť spojené s týmto palivom je

$$D_{\text{palivo}} = \frac{C}{g} = 4\,000 \text{ km}. \quad (\text{C.33})$$

Dolet lietajúceho prostriedku je vlastný dolet paliva, 4 000 km, vynásobený faktorom $(\varepsilon \cdot f_{\text{palivo}} / (c_d \cdot f_A)^{1/2})$. Ak má náš lietajúci prostriedok



Obrázok C.11. Boeing 737-700: 30 kWh na 100 osobo-km. Fotografia Tom Collins.

Môžeme si predstaviť d_{palivo} ako vzdialenosť, pri ktorej by sa spotrebovalo celé palivo, ak by sme premenili všetku jeho chemickú energiu na kinetickú energiu a vymrštili ho na parabolickú trajektóriu bez odporu vzduchu. [Ak chceme byť presní, vzdialenosť dosiahnutá optimálnou parabolou je dvojnásobkom C/g .] Táto vzdialenosť je tiež vertikálna výška, do ktorej by sa mohlo vymrštiť palivo, ak by sme nebrali do úvahy odpor vzduchu. Ďalšia prekvapujúca vec, ktorá stojí za zmienku je, že kalorická hodnota paliva C , ktorú som uviedol v J/kg, je tiež druhá mocnina rýchlosti (práve ako pomer medzi energiou a hmotnosťou E/m v Einsteinovej rovnici $E = m \cdot c^2$ je umocnená rýchlosť c^2): $40,10^6$ J/kg je $(6\,000 \text{ m/s})^2$. Takže jeden zo spôsobov ako sa pozerať na tuk, je: „tuk je 6 000 m/s.“ Ak chcete zhodiť zo svojej váhy džogingom, 6 000 m/s je rýchlosť, ktorú by ste mali dosiahnuť za účelom zhodiť ju všetku v jednom gigantickom skoku.

účinnosť pohonu $\varepsilon = 1/3$ a pomer posunu k zdvihu, $(c_d f_A)^{1/2} \approx 1/20$, a ak takmer polovica lietajúceho prostriedku tvorí palivo (v plne zaťaženom Boeingu 747 tvorí palivo 46 %), zistíme, že všetky vtáky a lietadlá ľubovoľnej veľkosti majú ten istý dolet: približne trojnásobok palivovej vzdialenosti – asi 13 000 km.

Model je opäť blízko skutočnosti: let Boeingu 747 bez pristátia (uskutočnený 23. - 24. 3. 1989) dosiahol dĺžku 16 560 km.

A tvrdenie, že dolet je nezávislý od veľkosti letiaceho prostriedku, podporuje pozorovanie, že vtáky všetkých veľkostí od veľkých husí po malé lastovičky či rybárov arktických prekonávajú medzikontinentálne vzdialenosti. Najdlhší zaznamenaný nepretržitý vtáčí let dosiahol vzdialenosť 11 000 km a preletel ju brehár čiernochvostý.

Ako ďaleko sa dostal Steve Fossett v špeciálne navrhnutom prostriedku Scaled Composites Model 311 Virgin Atlantic GlobalFlyer? 41 467 km [33ptcg]. Neobyčajné lietadlo: 83 % jeho vzletovej hmotnosti tvorilo palivo; počas letu sa prúdové motory používali starostlivo, aby sa dosiahla čo najväčšia vzdialenosť. Krehké lietadlo malo počas letu niekoľko porúch.

Týmto modelom sme dosiahli zaujímavý poznatok. Ak sa opýtame „aká je optimálna hustota vzduchu pre let?“ zistíme, že celková sila vyžadovaná (C.20) pri optimálnej rýchlosti nezávisí od hustoty. Takže naše modelové lietadlo by mohlo letieť rovnako pri ľubovoľnej výške; neexistuje optimálna hustota; lietadlo môže dosiahnuť tú istú spotrebu pri ľubovoľnej hustote; ale optimálna rýchlosť od hustoty závisí ($v^2 \approx 1/\rho$, rovnica (C.16)). Takže ak všetko ostatné zostáva rovnaké, naše modelové lietadlo by mohlo dosiahnuť najkratší čas na cestu, ak by letelo vzduchom s najnižšou možnou hustotou. Účinnosť súčasných motorov nezávisí od rýchlosti a hustoty vzduchu. Náš model hovorí, že tým ako je lietadlo stále ľahšie s ubúdajúcim palivom, jeho optimálna rýchlosť by sa pri danej hustote vzduchu mala znižovať ($v^2 \approx mg/(\rho c_d A_p A_s)^{1/2}$). Takže lietadlo letiace vo vzduchu s konštantnou hustotou by malo so znižovaním svojej hmotnosti spomaľovať. Ale lietadlo dokáže udržiavať *konštantnú rýchlosť* a zároveň pokračovať v lete pri *optimálnej* rýchlosti zvyšovaním svojej nadmorskej výšky, čím sa dostáva do vzduchu s nižšou hustotou. Takže ak nabudúce poletíte lietadlom za oceán, môžete skontrolovať, či pilot ku koncu letu zvýšil letovú výšku povedzme z 31 000 stôp na 39 000 stôp.

Ako by obstáli lietadlá na vodíkový pohon?

Už sme teda definovali, že účinnosť letu vyjadrená energiou na tonu na kilometer, je iba jednoduché bezrozmerné číslo vynásobené s g. Zmena paliva nevedie k zmene tohto základného argumentu. Takže lietadlá na vodíkový pohon sú cenným príspevkom, ak chceme znížiť emisie skleníkových plynov spôsobujúcich klimatické zmeny. Môžu mať lepší dolet. Ale nečakajme, že by dosiahli významne vyššiu energetickú účinnosť.

Spôsoby zvýšenia účinnosti lietadiel

Usporiadáním letu v štýle husí by sme mohli dosiahnuť 10 % zlepšenie palivovej účinnosti (pretože pomer zdvihu k posunu takejto formácie je vyšší ako v prípade jedného lietadla), ale tento trik, samozrejme, spolieha na to, že husi migrujú v rovnakom čase na rovnaké miesto.

Optimalizovaním dĺžky letu: lietadlá na dlhý dolet (navrhnuté pre dolet povedzme 15000 km) nie sú také efektívne ako lietadlá na kratší dolet, pretože musia niesť palivo navyše, ktoré spôsobuje, že je menej priestoru pre náklad a pasažierov. Letieť na kratšie vzdialenosti, môže byť efektívnejšie. Vhodné je, ak sú lety približne 5000 km dlhé, takže typické cesty na dlhé vzdialenosti by mali mať jednu alebo dve zastávky na doplnenie paliva (Green, 2006). Takéto lety s viacerými zastávkami by mohli zvýšiť účinnosť o 15 %, ale, samozrejme, by to mohlo predstavovať ďalšie náklady.

Ekologicky prijateľné aeroplány

Občas je počuť o ľuďoch, ktorí vyrábajú ekologické aeroplány. Avšak v začiatkoch tejto kapitoly som na našom modeli ukázal, že transportná energia ľubovoľného lietadla je približne

$$0,4 \text{ kWh/ton-kilometer.}$$

Podľa tohto modelu sú jediné možnosti, akými sa dá lietadlo významne vylepšiť, zníženie odporu vzduchu (možno nejakým trikom nových odsávačov vzduchu v krídlach), alebo zmena geometrie lietadla (vytvorením tvaru na spôsob klzáka, so širokými krídlami v porovnaní k trupu lietadla, alebo v podstate odstránením trupu).

Takže, aké sú najnovšie trendy v „ekologicky prijateľnom lietaní“? Pozrime sa, či niektoré z týchto lietadiel môže prekonať hranicu 0,4 kWh na ton-kilometer. Ak lietadlo spotrebuje menej ako 0,4 kWh/ton-kilometer, môžeme usúdiť, že náš model je chybný.

Electra, z dreva postavené jednomiestne lietadlo, preletelo za 48 minút 50 km okolo Južných Álp [6r32rf]. Rozpätie krídel je 9 m a má 18 kW elektrický motor poháňaný 48 kg lítium-polymérovými akumulátormi. Hmotnosť lietadla pri vzlietnutí je 265 kg (134 kg lietadlo, 47 kg akumulátory a 84 kg hmotnosť človeka). 23. 12. 2007 preletelo 50 km. Ak predpokladáme, že hustota energie v akumulátoroch bola 130 Wh/kg a let využil 90 % plného nabitia batérií (5,5 kWh), spotrebovaná energia bola približne

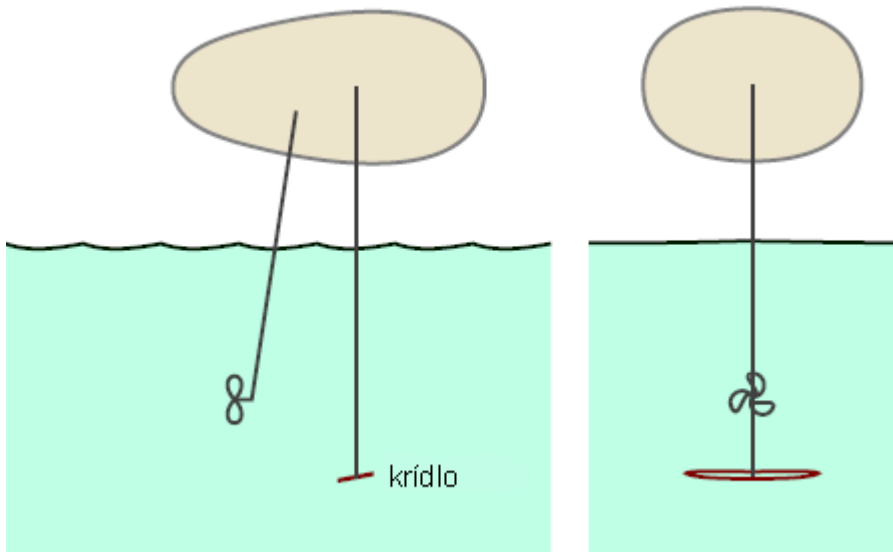
$$0,4 \text{ kWh/ton-km,}$$

čo sa presne zhoduje s našim modelom. Toto elektrické lietadlo teda nemá nižšiu spotrebu energie ako normálne lietadlo na fosílny pohon.



Obrázok C.12. Electra F- WMDJ: 11 kWh na 100 o-km.

Fotografia: Jean- Bernard Gache.
<http://www.apame.eu/>



Obrázok C.13. Krídlóvá loď.
Fotografia Georgios Pazios.

Samozrejme, to neznamená, že elektrické lietadlá nie sú zaujímavé. Ak by sme mohli nahradiť tradičné lietadlá alternatívnymi s rovnakou energetickou spotrebou, ale bez uhlíkových emisií, tak by to bola užitočná technológia. A v prípade osobnej dopravy Electra ponúka úctyhodných **11 kWh na 100 osobo-km**, podobne ako elektrické auto v našom diagrame na strane 128. Ale v tejto knihe je vždy kľúčová otázka: „odkiaľ táto energia pochádza?“.

Niektoré lode sú tiež ako vtáky

Nejaký čas po napísaní tohto modelu lietadla som si uvedomil, že je možné aplikovať ho nielen na letiace prostriedky vo vzduchu, ale aj na krídlóvé lode a iné vysokorýchlostné plavidlá; všetky tie, ktoré sa vznášajú nad vodou, keď sú v pohybe. Obrázok C.13 zobrazuje princíp krídlóvých lodí. Hmotnosť prostriedku podopiera naklonené podvodné krídlo, ktoré môže byť dosť tenké v porovnaní s daným dopravným prostriedkom. Krídlo spôsobuje zdvih vytváraním pretlaku v kvapaline pod ním, tak ako lietadlo na obrázku C.2. Ak predpokladáme, že ťahu dominuje ťah na krídle, a že rozmery krídla a rýchlosť plavidla minimalizujú spotrebu energie na jednotku vzdialenosti, potom najlepšie možné dopravné náklady v zmysle energie na ton-kilometer budú práve také isté ako v rovnici (C.26):

$$\frac{(c_d \cdot f_A)^{\frac{1}{2}}}{\varepsilon} \cdot g, \quad (\text{C.34})$$

kde c_d je koeficient ťahu (koeficient odporu) podvodného krídla, f_A je pomer bezrozmerného pomeru plochy definovaný skôr, ε je účinnosť motora a g je gravitačné zrýchlenie.

Možno c_d a f_A nie sú celkom tie isté ako tie v optimalizovanom aeropláne, ale významné na tejto teórii je to, že vôbec nezávisí od hustoty kvapaliny, cez ktorú sa krídlo pohybuje. Takže náš približný odhad je, že dopravné náklady (energia na vzdialenosť na hmotnosť, vrátane hmotnosti dopravného prostriedku) krídlóvej lode sú *také isté* ako dopravné náklady

aeroplánu! Konkrétne zhruba 0,4 kWh na ton-km. Presný model pre plavidlá, ktoré akoby sa kĺzali po vodnej hladine, ako napr. vysokorýchlostné katamarány a vodní lyžiari, by mal tiež zahŕňať energiu potrebnú na tvorenie vln. Prikláňam sa však k tomu, že táto teória krídlavej lode je aj tak približne správna.

Ešte sa mi nepodarilo získať údaje o dopravných nákladoch krídlavej lode, ale údaje pre katamarán prepravujúci pasažierov rýchlosťou 41 km/h sa celkom dobre zhodujú: spotreba energie je približne 1 kWh na ton-km. Je pre mňa celkom prekvapujúce dozvedieť sa, že ten, kto sa presúva z ostrova na ostrov lietadlom, nielenže sa presunie rýchlejšie ako ten, kto ide loďou, ale pravdepodobne spotrebuje menej energie.

Iné spôsoby, ako sa udržať vo vzduchu

Vzducholode

Táto kapitola zdôraznila, že lietadlá nemôžu byť energeticky účinnejšie spomalením svojej rýchlosti, pretože každú výhodu získanú znížením odporu vzduchu eliminuje ťažšie stláčanie vzduchu [ťažším vytváraním vztľaku – pozn. prekl.]. Môže tento problém vyriešiť iná stratégia: teda nie stláčať vzduch dole, ale namiesto toho mať lietadlo ľahké ako vzduch? Vzducholod', hliadkový balón, zeppelin alebo navigovateľný balón používa veľký, héliom naplnený balón, ktorý je ľahší ako vzduch a vyvažuje hmotnosť malej kabíny. Nevýhoda tohto prístupu je, že veľký balón značne zvyšuje odpor vzduchu dopravného prostriedku.

Spôsob, ako možno držať potrebnú energiu (na hmotnosť, na vzdialenosť) nízko, je pomalý pohyb, mať tvar ryby a byť veľmi veľký a dlhý. Určíme energiu potrebnú na pohon takto idealizovanej vzducholode.

Budem uvažovať o elipsoidnom balóne s prierezom A a dĺžkou L . Objem je $V = 2/3(A \cdot L)$. Ak sa vzducholod' pohybuje konštantnou rýchlosťou vzduchom s hustotou ρ , jej celková hmotnosť zahrňujúca hmotnosť nákladu a hélia musí byť $m_{\text{total}} = \rho \cdot V$. Ak sa pohybuje rýchlosťou v , sila odporu vzduchu je

$$F = \frac{1}{2} \cdot c_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2, \quad (\text{C.35})$$

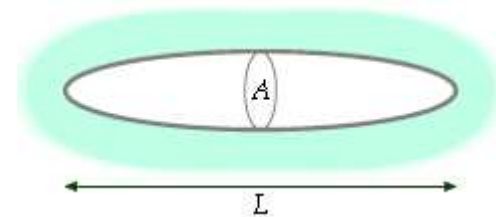
kde c_d je koeficient odporu, ktorý môžeme na základe lietadiel uvažovať s hodnotou 0,03. Potrebná energia na jednotku vzdialenosti sa rovná sile F podelenej účinnosťou strojov ε . Takže celková energia potrebná na jednotku vzdialenosti a jednotku hmotnosti je

$$\frac{F}{\varepsilon \cdot m_{\text{total}}} = \frac{\frac{1}{2} \cdot c_d \cdot A \cdot \rho \cdot v^2}{\varepsilon \cdot \rho \cdot \frac{2}{3} \cdot A \cdot L}, \quad (\text{C.36})$$

$$= \frac{3}{4 \cdot \varepsilon} \cdot c_d \cdot \frac{v^2}{L} \quad (\text{C.37})$$



Obrázok C.14. 239 m dlhá vzducholod' USS Akron (ZRS-4) pri prelete nad Manhattanom. Mala hmotnosť 100 t a uniesla 83 t. Jej motory mali celkový výkon 3,4 MW a dokázala previesť 89 osôb a množstvo zbraní rýchlosťou 93 km/h. Používala sa aj ako vojenský transportér.



Obrázok C.15. Vzducholod' v tvare elipsy.

To je celkom pekný výsledok! Celková potrebná energia na pohon tejto idealizovanej vzducholode závisí len od jej rýchlosti v a dĺžke L , nie od hustoty vzduchu ρ ani od čelnej plochy vzducholode A .

Tento model je možné aplikovať aj na ponorky. Celková energia (v kWh na ton-km) vzducholode je rovnaká ako celková energia pri ponorke identickej dĺžky a rýchlosti. Ponorka bude 1000-násobne ťažšia, pretože voda je 1000 násobne ťažšia ako vzduch a to bude viesť k 1000-násobne väčšej spotrebe energie na jej pohyb.

Použijme nejaké čísla. Predpokladajme, že túžime cestovať rýchlosťou 80 km/h (takže prechod cez Atlantik nám bude trvať 3 dni). V SI jednotkách je to 22 m/s. Predpokladajme účinnosť strojov $\varepsilon = 1/4$. Aká je najväčšia možná dĺžka balóna na dosiahnutie najlepšej energetickej náročnosti? Hindenburg mal dĺžku 245 m. Ak predpokladáme $L = 400$ m určíme celkovú energiu:

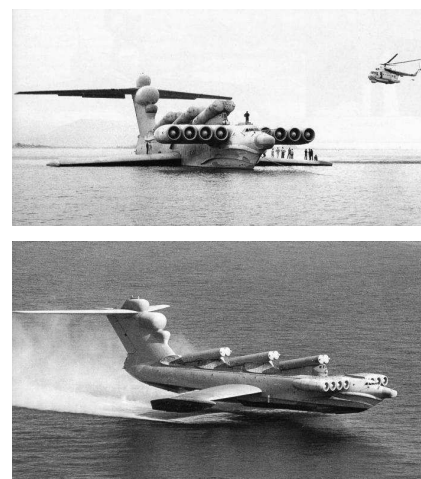
$$\frac{F}{\varepsilon \cdot m_{total}} = 3 \times 0,03 \cdot \frac{(22 \text{ m/s})^2}{400 \text{ m}} = 0,1 \text{ m/s}^2 = 0,03 \text{ kWh/t - km.}$$

Ak by užitočný náklad tvoril polovicu hmotnosti vzducholode, čisté dopravné náklady na pohon tohoto monštra by boli **0,06 kWh/t-km** – podobné ako v prípade vlaku.

Ekranoplány

Ekranoplán, alebo vodou vznášajúca sa krídlová loď, je lietadlo využívajúce dynamický prízemný efekt: lietadlo, ktoré leží veľmi blízko k povrchu vody nadnášajúce sa nie stláčaním vzduchu dole ako lietadlo alebo stláčaním vody dole ako krídlová loď, ale vznášaním sa na vankúši stlačeného vzduchu nachádzajúcom sa medzi krídlami a najbližším povrchom. Dynamický prízemný efekt môže byť demonštrovaný pohybom kúska kartičky po rovnom povrchu. Udržanie tejto vzduchovej podušky si vyžaduje veľmi málo energie, takže takéto "lietadlo" v energetických pojmach je ako povrchové dopravné zariadenie bez jazdného odporu. Jeho hlavný energetický výdaj súvisí s odporom vzduchu. Pripomeňme si, že v prípade lietadla a jeho optimálnej rýchlosti, polovica jeho potreby energie súvisí s odporom vzduchu a polovica so stláčaním vzduchu nadol.

ZSSR vyvinula ekranoplán ako vojenský dopravný prostriedok a zariadenie na odpaľovanie rakiet počas éry Chruščova. Ekranoplán Lun sa mohol pohybovať rýchlosťou 500 km/h, celková sila jeho ôsmich strojov bola 1000 kN. Predpokladajme, že celková energia bola štvrtinová, že účinnosť strojov je 30% a že z jeho 400 t hmotnosti tvoril náklad 100 t, toto plavidlo vyžadovalo čistou energiu 2 kWh na ton-km. Myslím si, že v prípade zdokonalenia plavidla na dopravu nákladu by bolo možné v prípade ekranoplánu dosiahnuť približne polovicu dopravných nákladov bežných lietadiel.



Obr. C.16 Ekranoplán Lun – trošku ťažší a dlhší ako Boeing 747. Fotograf: A.Belyaev.

[Pozn. prekl.: Ekranoplán potrebuje na rozdiel od vznášadla (vznášadlo pod seba vŕhá vzduch pomocou dúchadiel a vytvára tak statický prízemný efekt (vznášadlo sa môže zastaviť)) ku svojmu pohybu hybnosť (doprednú rýchlosť – dynamický prízemný efekt)].

Mýty

Lietadlo by aj tak letelo, takže môj let bol energeticky neutrálny.

Nie je to pravda z dvoch dôvodov: Po prvé, vaša hmotnosť v lietadle vyžaduje energiu navyše, je nutné spotrebovať na udržanie lietadla vo vzduchu. Po druhé, aerolínie reagujú na dopyt vyšším počtom lietadiel.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

272 *Boeing 747*. Koeficient ťahu pre Boeing 747 je získaný z www.aerospaceweb.org. Ďalšie údaje pre Boeing 747 sú z [2af5gw]. Fakty o albatrosovi sú z [32judd].

- *Skutočné motory majú účinnosť okolo $\varepsilon = 1/3$* . Typické účinnosti motorov sú v rozmedzí 23 - 36 % [<http://adg.stanford.edu/aa241/propulsion/sfc.html>]. Typické lietadlo má celkovú účinnosť motora 20 - 40 % s najlepšou účinnosťou 30 - 37 % v prípade letu s rovnakou rýchlosťou [<http://www.grida.no/climate/ipcc/aviation/097.htm>]. Avšak nemôžete sa zamerať iba na ten najúčinnjší motor, pretože môže byť ťažší (tým myslím, že môže mať vyššiu hmotnosť na jednotku celkovej sily) a tým sa znižuje celková účinnosť lietadla.

277 *Najdlhší zaznamenaný nepretržitý let letiacim prostriedkom...*

New Scientist 2492. „Brehár čiernochvostý je kráľom oblohy“ 26. 3. 2005. 11. 9. 2007: Brehár čiernochvostý letel 11 500 km z Aljašky na Nový Zéland. [2qbquv]

278 *Optimalizovanie dĺžky letu: optimálny let je, ak je 5 000 km dlhý*. Zdroj: Green (2006).

280 *Údaje pre katamarán vezúci pasažierov*. Z [5h6xph]: Prenášanie (plná záťaž) 26,3 ton. Na ceste 1 050 námorných míľ spotreboval 4 780 litrov paliva. Vyčíslil som, že transportná energia je 0,93 kWh/ton-km. Mimochodom, spočítal som celkovú hmotnosť plavidla. Spotrebovaná energia je zhruba 35 kWh na 100 osobo-km.

281 *Ekranoplán Lun*. Zdroje: www.fas.org [4p3yco], (Taylor, 2002a).

Ďalšie informácie: Tennekes (1997), Shyy a kol. (1999).

D Slnko II

Na strane 41 sme uviedli 4 možnosti biomasy získanej zo Slnka:

1. „Náhrada uhlia“.
2. „Náhrada ropy“.
3. Jedlo pre ľudí alebo zvieratá.
4. Spaľovanie vedľajších poľnohospodárskych produktov.

Takže odhadneme maximálny hodnoverný príspevok každého z týchto procesov. V praxi veľa týchto metód vyžaduje rovnaké množstvo energie, koľko je potrebné vložiť, takže sú sotva energeticky ziskové (obrázok 6.14). Ale v nasledujúcom rozbere tieto náklady spojené so zabudovanou energiou zanedbám.

Energetické plodiny ako náhrada uhlia

Ak vypestujeme v Británii energetické plodiny ako napr. vŕba, ozdobnica alebo topoľ (ktoré majú priemerný výkon $0,5 \text{ W/m}^2$ pôdy), a potom ich spálime v 40 % účinnej elektrárni, výsledkom je výkon na jednotku plochy $0,2 \text{ W/m}^2$. Ak by bola 1/8 Británie (500 m^2 na osobu) pokrytá takýmito plodinami, dostali by sme výkon $2,5 \text{ kWh/deň na osobu}$.

Náhrada ropy

Existuje niekoľko spôsobov premeny rastlín na tekuté palivá. Vysvetlím potenciál každej metódy v súvislosti s jej výkonom na jednotku plochy (ako na obr. 6.11).

Hlavná anglická plodina na výrobu bionafty, repka

Obyčajne sa repka seje v septembri a zbiera v auguste nasledujúceho roku. V súčasnosti rastie vo Veľkej Británii každý rok 450 000 hektárov repky olejnej (t.j. 2 % Veľkej Británie). Repkové polia produkujú 1200 litrov bionafty/hektár/rok; bionafta má energiu $9,8 \text{ kWh/l}$. Z toho vyplýva výkon na jednotku plochy $0,13 \text{ W/m}^2$.

Ak by sme využili 25 % Veľkej Británie na pestovanie repky, získali by sme bionaftu s energetickým obsahom $3,1 \text{ kWh/deň na osobu}$.



Obrázok D.1. Dva stromy.



Obrázok D.2. Repka olejná. Ak sa použije na výrobu bionafty, výkon na jednotku plochy repky je $0,13 \text{ W/m}^2$. Fotografia Tim Dunne.

Bioetanol z cukrovej repy

Cukrová repa vo Veľkej Británii poskytuje pôsobivý výt'azok 53 t/ha/rok. 1 tona cukrovej repy poskytuje 108 l bioetanolu. Bioetanol má energetickú hustotu 6 kWh/l, takže tento proces má hustotu výkonu 0,4 W/m².

Bioetanol z cukrovej trstiny

Tam, kde sa cukrová trstina vyrába (napr. v Brazílii), produkcia je 80 t/ha/rok, z čoho je výt'azok 17 600 litrov etanolu. Bioetanol má energetickú hustotu 6 kWh/l, takže tento proces má hustotu výkonu 1,2 W/m².

Bioetanol z kukurice v USA

Výkon bioetanolu z kukurice na jednotku plochy je neuveriteľne nízky. Len tak pre zábavu, poďme uviesť čísla najskôr v starobylých jednotkách. Jeden akér (približne 4000 m²) vyrobí 120 bušlov (1 bušel = cca 36 l) kukurice ročne, čo znamená 122 × 2,6 amerických galónov etanolu (1 americký galón = 3,78543 l), ktorý pri 84 000 BTU na galón znamená výkon na jednotku plochy iba 0,2 W/m² – nepredpokladali sme pri výpočtoch žiadne energetické straty!

Celulózoový etanol z prosa

Celulózoový etanol - úžasné biopalivo „ďalšej generácie“? Schmer a kol. (2008) zistili, že čistý energetický výt'azok z trávy rastúcej 5 rokov na okrajovej ploche na 10 farmách vo vnútrozemí USA bol 60 GJ/ha/rok, čo predstavuje 0,2 W/m². „Toto je základná štúdia, ktorá reprezentuje genetický materiál a agronomickú technológiu pre produkciu trávy v roku 2000 a 2001, keď boli tieto polia osiate. Vylepšenie genetiky a agronómie môže v budúcnosti zvýšiť energetickú udržateľnosť a výt'azok biopaliva z prosa.“

Jatropa má tiež nízky výkon na jednotku plochy

Jatropa je olejovitá plodina, ktorá najlepšie rastie v suchých tropických oblastiach (300 - 1000 mm zrážok ročne). Obl'ubuje teploty 20 - 28 °C. Predpokladaný výt'azok v horúcich krajinách na úrodnej pôde je 1600 litrov bionafty/ha/rok. To predstavuje výkon na jednotku plochy 0,18 W/m². V pustatinách je výt'azok 583 l/ha/rok. To predstavuje 0,065 W/m². Ak by sa ľudia rozhodli využiť 10 % Afriky na získanie 0,065 W/m² a rozdelili tento výkon medzi 6 miliárd ľudí, čo z toho získame? 0,8 kWh/d/o. Na porovnanie svetová spotreba ropy je 80 mil. barelov denne, čo po rozdelení medzi 6 miliárd ľudí znamená 23 kWh/d/o. Takže aj keby sme celú Afriku pokryli plantážami jatropy, vyrobený výkon by predstavoval iba 1/3 svetovej spotreby ropy.

	Energetická hustota (kWh/kg)
ľahké drevo	
- sušené vzduchom	4,4
- teplovzdušne sušené	5,5
ťažké drevo	
- sušené vzduchom	3,75
- teplovzdušne sušené	5
biely kancelársky papier	4
hladký papier	4,1
novinový papier	4,9
kartón	4,5
uhlie	8
slama	4,2
odpad z hydiny	2,4
všeobecný priemyselný odpad	4,4
nemocničný odpad	3,9
komunálny pevný odpad	2,6
recyklovaný odpad	5,1
pneumatiky	8,9

Obrázok D.3. Kalorická hodnota dreva a podobných materiálov. Zdroje: Yaros (1997); Uccuncu (1993); Digest of UK Energy



A čo riasy?

Riasy sú tiež len rastliny, takže čokoľvek som hovoril o nich, sa vzťahuje aj na riasy. Slizké vodné rastliny nemajú účinnejšiu fotosyntézu ako ich suchozemské príbuzné. Existuje však jeden trik, o ktorom som nehovoril, ktorý je bežnou praktikou v komunite výrobcov paliva z rias: pestujú svoje riasy vo vode obohatenej oxidom uhličitým, ktorý je možné získať z elektrární, alebo iných priemyselných zariadení. Rastliny vynakladajú na fotosyntézu oveľa menej námahy, ak je okolo nich koncentrovaný oxid uhličitý. Na slnečnom mieste v Amerike, v jazerách s dodávaným koncentrovaným CO₂ (okolo 10 %), rastú riasy rýchlosťou 30 gramov na meter štvorcový za deň a vyrobia tak 0,01 litra bionafty. To zodpovedá energii na jednotkovú plochu jazera 4 W/m² – podobne ako fotovoltaiická elektrárň v Bavorsku. Ak by ste chceli jazdiť na typickom aute (teda asi 12 km na jeden liter) vzdialenosť 50 km za deň, potom by ste potrebovali 420 štvorcových metrov jazera s riasami, a z toho 69 m² je voda (obrázok 6.8). Prosím, nezabúdajte, že takáto technológia je limitovaná jednak plochou zeme – koľko rozlohy v Británii môžeme venovať jazerám s riasami – a tiež koncentrovaným CO₂, ktorého zachytávanie tiež znamená energetické náklady (k tomu sa dostaneme neskôr). Pozrime sa na to, čo znamená limitovanie CO₂. Získanie 30 gramov rias na štvorcový meter za deň by vyžadovalo najmenej 60 gramov CO₂ na štvorcový meter za deň. Ak by sme dokázali zachytiť všetok CO₂ z tovární (zhruba 2½ tony za rok na osobu), znamenalo by to 230 štvorcových metrov jazier s riasami na osobu – asi 6 % krajiny. To by znamenalo množstvo bionafty s energiou 24 kWh/deň na osobu, ak predpokladáme tie isté čísla, ktoré platia pre slnečnú Ameriku. Je to pravdepodobné? Možno desatina z tohto množstva? Rozhodnutie nechám na vás.

A čo riasy v oceánoch?

Pamätajte si, čo som práve povedal: riasy na výrobu bionafty vždy potrebujú ako potravu koncentrovaný CO₂. Ak sa chystáte využívať tento postup v oceánoch, s cieľom pumpovať CO₂ aj tu, budete neúspešní. A bez tohto zdroja klesne účinnosť rias až stonásobne. Preto by museli mať zariadenia na využívanie rias v oceánoch rozmery celej krajiny.

A čo riasy vyrábajúce vodík?

Využívať slizké organizmy na výrobu vodíka je rozumná myšlienka, pretože nás zbavuje krokov, ktoré sú potrebné pri továrňach s pestovaním rias pre uhl'ovodíky. Každý chemický krok o niečo znižuje účinnosť celého procesu. Fotosyntetický aparát dokáže vyrábať vodík priamo, hneď v prvom kroku. Štúdia Národného laboratória pre obnoviteľnú energiu v Colorade predpovedala, že reaktor naplnený geneticky upravenými riasami s rozlohou 11 hektárov v Arizonskej púšti by mohol vyrábať až

300 kg vodíka za deň. Vodík obsahuje 39 kWh na kilogram, takže takéto zariadenie na výrobu vodíka z rias by dodávalo energiu s hustotou $4,4 \text{ W/m}^2$. Ak vezmeme do úvahy odhadovanú elektrinu potrebnú na chod továrne, celkový energetický zisk by klesol na $3,6 \text{ W/m}^2$. To stále znie ako veľmi sľubné číslo – porovnajme to napríklad so slnečnou farmou v Bavorsku (5 W/m^2).

Potraviny pre ľudí alebo zvieratá

Obilniny ako sú pšenica, ovos, jačmeň a kukurica majú energetickú hustotu okolo 4 kWh/kg . Vo Veľkej Británii je typická výnosnosť pšenice 7,7 ton na hektár na rok. Ak je pšenica pojedaná zvieratami, výkon na jednotku plochy tohto procesu je $0,34 \text{ W/m}^2$. Ak by sme 2800 m^2 na osobu v Británii (to je všetka poľnohospodárska pôda) venovali pestovaniu týchto obilnín, vyrobená chemická energia by bola okolo $24 \text{ kWh/d na osobu}$.

Spaľovanie vedľajších poľnohospodárskych produktov

Pred chvíľou sme zistili, že výkon na jednotku plochy elektrárne na biomasu spaľujúcej najlepšie obilniny, je $0,2 \text{ W/m}^2$. Ak namiesto toho pestujeme obilniny na jedlo a použijeme zvyšky jedla, ktoré nezjeme, do elektrárne – alebo dáme jedlo kurčatám a ich zvyšky vrátime späť do elektrárne – aký výkon by sme získali z jednotky plochy farmy? Poďme vykonať hrubý odhad a potom sa pozrime na niektoré skutočné údaje. Pre hrubý odhad si predstavme, že vedľajšie poľnohospodárske produkty sa zberajú z polovice plochy Veľkej Británie (2000 m^2 na osobu) a dodávajú sa do elektrární, a že vo všeobecnosti vedľajšie poľnohospodárske produkty dodajú 10 % množstva výkonu na jednotku plochy ako najlepšie energetické plodiny: $0,02 \text{ W/m}^2$. Vynásobením tejto hodnoty s 2000 m^2 získame $1 \text{ kWh za deň na osobu}$.

Bol som nespravodlivý voči poľnohospodárskemu odpadu, keď som urobil takýto hrubý odhad? Môžeme znovu prehodnotiť prijateľnú produkciu zo zvyškov jedla z poľnohospodárstva zovšeobecnením prototypu elektrárne na spaľovanie slamy v Elean vo východnom Anglicku. Vystupujúci výkon z Elean je 36 MW a využíva 200 000 ton ročne pôdy lokalizovanej v okolí 50 míľ. Ak by sme predpokladali, že túto hustotu možno použiť pre celú krajinu, model elektrárne poskytuje $0,02 \text{ W/m}^2$. Pri 4000 m^2 na osobu to predstavuje 8 W na osobu alebo $0,2 \text{ kWh/d na osobu}$.

Poďme to spočítať iným spôsobom. Produkcia slamy vo Veľkej Británii je 10 mil. ton ročne alebo $0,46 \text{ kg/d na osobu}$. Pri 42 kWh/kg má táto slama chemickú energiu 2 kWh/d na osobu . Ak by sa všetka slama spaľovala v elektrárnach s 30 % účinnosťou – to je návrh, ktorý by sa veľmi neujal u poľnohospodárskych zvierat, ktoré využívajú slamu inak – vyrobená elektrina by mohla byť $0,6 \text{ kWh/d na osobu}$.

Skládkový plyn metán

V súčasnosti väčšina metánu uniká z odpadu, ktorý pochádza z biologických materiálov, najmä z potravinového odpadu. Takže dovedy kým budeme vyhadzovať veci, ako jedlo či novinový papier, bude skládkový plyn obnoviteľným zdrojom – plus spaľovanie tohto metánu môže byť dobrou myšlienkou z pohľadu klimatických zmien, pretože metán je významnejší skleníkový plyn ako CO₂ [asi 25x účinnejší – pozn. prekl.]. Skládku uskladňujúca 7,5 mil. ton domového odpadu ročne môže produkovať 50 000 m³ metánu za hodinu.

V roku 1994 sa emisie metánu zo skládok odhadovali na 0,05 m³ za deň na osobu, a s chemickou energiou 0,5 kWh/d na osobu. V prípade ak by sa všetko množstvo premenilo na elektrinu so 40 % účinnosťou, môžu zabezpečiť **0,2 kWh(e)/d na osobu**. Emisie metánu zo skládok klesajú kvôli zmenám v legislatíve a teraz sú zhruba o 50 % nižšie.

Spaľovanie komunálneho odpadu

SELCHP („South East London Combined Heat and Power“) <http://www.selchp.com> je 35 MW elektráreň, ktorá dokáže spaľovať 420 kt komunálneho odpadu z Londýnskej oblasti ročne. Spaľuje všetok odpad bez triedenia; železo sa po spálení odstráni a použije na recykláciu, nebezpečné odpady sa filtrujú a posielajú na špeciálnu skládku a zvyšný popolček sa odosiela na zovuspracovanie do zrecyklovaného materiálu na výstavbu ciest alebo konštrukcií. Kalorická hodnota odpadu je 2,5 kWh/kg a tepelná účinnosť elektrárne je okolo 21 %, takže 1 kg odpadu sa premení na 0,5 kWh elektriny. Uhlíkové emisie sú približne 1000 g CO₂/kWh. Z vyrobených 35 MW sa zhruba 4 MW použije na vlastnú spotrebu spaľovne.

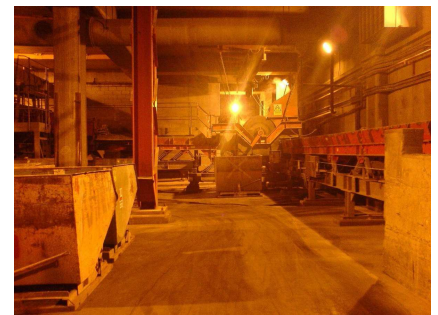
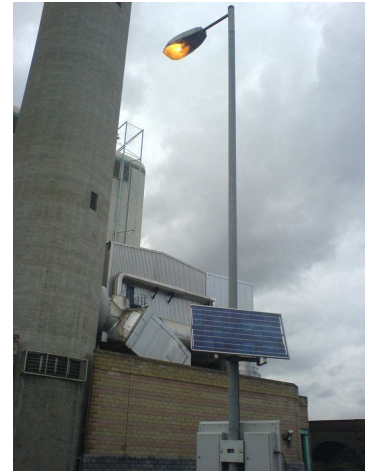
Ak túto myšlienku zovšeobecníme, a každá mestská časť, resp. mesto by malo jednu takúto spaľovňu, a každý obyvateľ by poslal 1 kg denne, potom by sme získali **0,5 kWh (e) za deň na osobu** zo spaľovania odpadu.

Podobá sa to odhadu získanému zo zachytávania metánu zo skládok. Pamätajte, že nemôžeme mať oboje. Viac spaľovania odpadu znamená menej produkcie metánu zo skládok. Pozri obr. 27.2 na str. 206 a 27.3 na str. 207 pre ďalšie údaje o spaľovaní odpadu.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

283 Výkon na jednotku plochy pri využití vrby, ozdobnice alebo topoľa na elektrinu je 0,2 W/m². Zdroj: Select Committee on Science and Technology Minutes of Evidence- Memorandum from the Biotechnology and Biological Sciences Research Council [http://www.publications.parliament.uk/pa/1d200304/1dselect/1dsctech/126/40



Obrázok D.4: SELCHP – váš odpad je ich biznis.

32413.htm]. „V severnej Európe je možné zabezpečiť trvalo udržateľným zberom 10 suchých ton na hektár za rok drevnej biomasy...

Takže plocha 1 km² bude vyrábať 1000 suchých ton/r – dostatok pre energetický výstup 150 kWe pri nízkej konverznej účinnosti alebo 300 kWe pri vysokej konverznej účinnosti.“ To predstavuje 0,15 – 0,3 W(e)/m².

Pozri tiež Layzell a kol. (2006), [3ap7lc].

283 *Repka olejná*. Zdroje: Bayer Crop Science (2003), Evans (2007), <http://www.defra.gov.uk/>.

- *Cukrová repa*. Zdroj: <http://statistics.defra.gov.uk/esg/default.asp>

284 *Bioetanol z kukurice*. Zdroj: Shapouri a kol. (1995).

- *Bioetanol z celulózy*. Pozri tiež Mabee a kol. (2006).

- *Jatropa*. Zdroje: Francis a kol. (2005), Asselbergs a kol. (2006)

285 *V Amerike, v jazerách s dodávaným koncentrovaným CO₂, rastú riasy rýchlosťou 30 gramov na meter štvorcový za deň a vyrobia tak 0,01 litra bionafty*. Zdroj: Putt (2007). Tento výpočet zanedbal energetický náklad údržby jazera a spracovanie rias na bionaftu. Putt (2007) opisuje energetickú bilanciu navrhovaného projektu pre 100-akrovú farmu s riasami, poháňanú metánom z tráviaceho traktu zvierat. Navrhovaná farma by v skutočnosti vyrábala menej energie, ako by bolo množstvo získanej energie z metánu. Potrebovala by 2600 kW metánu, čo zodpovedá vstupnej energetickej hustote 6,4 W/m². Výstupná energetická hustota vo forme bionafty by bola iba 4,2 W/m². Všetky návrhy výroby biopalív by sme mali hodnotiť veľmi kriticky!

286 *Štúdia Národného laboratória pre obnoviteľnú energiu v Colorade predpovedala, že reaktor naplnený geneticky upravenými riasami s rozlohou 11 hektárov v Arizonskej púšti by mohol vyrábať až 300 kg vodíka za deň*. Zdroj: Amos (2004).

- *Elektráreň v Elean*: Zdroj: Government White Paper (2003). Elektráreň v Elean (36 MW) – prvá elektráreň na spaľovanie slamy. *Výroba slamy*: www.biomassenergycentre.org.uk.

287 *Skládkový plyn*. Zdroje: Matthew Chester City University, London, osobná komunikácia; Meadows (1996), Aitchison (1996); Alan Rosevear, (UK representative on methane to markets landfill gas sub- committee), máj 2005 [http://www.methanemarkets.org/resources/landfills/docs/uk_lf_profile.pdf].



E Vykurovanie II

Dokonale utesnené a izolované budovy by mohli držať teplo navždy a nepotrebovali by vykurovať. Dve hlavné príčiny, prečo budovy strácajú teplo, sú:

1. **Vedenie** – teplo prúdi priamo cez steny, okná a dvere;
2. **Ventilácia** – horúci vzduch tečie von cez trhliny, medzery alebo ventilačné potrubie.

V štandardných modeloch strát tepla sú oba tieto teplotné toky priamo úmerné teplotnému rozdielu medzi vzduchom vo vnútri a vonku. Pre typický britský dom je z týchto dvoch strát vyššia kondukcia, ako uvidíte neskôr.

Straty vedením

Množstvo tepla prechádzajúceho vedením (kondukciou) cez stenu, strop, podlahu alebo okno závisí od troch faktorov: plocha steny, miera vodivosti steny nazývaná „*U*-faktor“ alebo tepelná priepustnosť, a teplotný rozdiel –

$$\text{straty výkonu} = \text{plocha} \times U \times \text{teplotný rozdiel}$$

U-faktor sa obyčajne meria v $\text{W/m}^2/\text{K}$. (Jeden kelvin (1 K) je to isté ako jeden stupeň Celzia (1 °C).) Vyššia hodnota *U*-faktora znamená vyššie straty výkonu. Čím je hrubšia stena, tým je nižšia hodnota jej *U*-faktora. Dvojité sklo je podobne účinné, ako pevná tehlová stena (pozri Tab. E.2).

U-faktor objektov, ktoré sú usporiadané v „sérii“, ako napr. stena a jej vnútorné obloženie, možno vypočítať rovnako ako sa počítajú elektrické vodivosti:

$$u_{\text{sériové radenie}} = \frac{1}{\frac{1}{u_1} + \frac{1}{u_2}}$$

Príklad použitia tohto pravidla je uvedený na strane 296.

Straty ventiláciou

Na určenie tepla potrebného na ohriatie prichádzajúceho studeného vzduchu potrebujeme tepelnú kapacitu vzduchu: $1,2 \text{ kJ/m}^3/\text{K}$.

V stavebnom priemysle sa bežne popisujú straty výkonu spôsobené ventiláciou priestoru ako výsledok počtu zmien *N* vzduchu za hodinu, objemom *V* priestoru v metroch kubických, tepelnou kapacitou *C*, a teplotným rozdielom ΔT medzi vnútorným a vonkajším priestorom budovy.



kuchyňa	2
kúpeľňa	2
chodba	1
spálňa	0,5

Tabuľka E.1. Zmeny vzduchu za hodinu: typické hodnoty *N* pre uzavreté miestnosti. Najhoršie uzavreté izby môžu mať *N* = 3 zmeny vzduchu za hodinu. Odporúčaná minimálna hodnota výmeny vzduchu je medzi 0,5 a 1 (tj. 50 – 100 %) za hodinu, ktorá poskytuje dostatočný čerstvý vzduch pre ľudské zdravie, pre bezpečné spaľovanie paliva, a zabezpečuje prevenciu nebezpečného prekročenia vlhkosti vzduchu pre konštrukciu budovy (EST, 2003).

	U-faktor (W/m ² /K)		
	staré budovy	moderné budovy	najlepšie budovy
Steny		0,45-0,6	0,12
Jenoliata murovaná stena	2,4		
Vonkajšia stena: 9 palcová jednoliata tehla	2,2		
Tehlová stena s medzerami, nevyplnená	1,0		
Tehlová stena s medzerami, vyplnená	0,6		
Podlahy		0,45	0,14
Podlaha zo závesných trámov	0,7		
Jednoliata betónová podlaha	0,8		
Strechy		0,25	0,12
Plochá strecha s 25 mm izoláciou	0,9		
Naklonená strecha so 100 mm izoláciou	0,3		
Okná			1,5
S jedným sklom	5,0		
S dvojitým sklom	2,9		
S dvojitým sklom, 20 mm medzera	1,7		
S trojitým sklom	0,7-0,9		

Tabuľka E.2. Hodnoty U-faktora stien, podláh, stropu a okien.

$$\text{výkon (watty)} = C \cdot \frac{N}{1h} \cdot V(m^3) \cdot \Delta T(K) \quad (E.1)$$

$$= \left(1.2 \text{ kJ} / m^3 / K\right) \cdot \frac{N}{3600s} \cdot V(m^3) \cdot \Delta T(K) \quad (E.2)$$

$$= \frac{1}{3} \cdot N \cdot V \cdot \Delta T \quad (E.3)$$

Straty energie a teplotné požiadavky (denné stupne)

Pretože energia je výkon \times čas, môžeme napísať straty energie *vedením* cez plochu za určitý čas ako

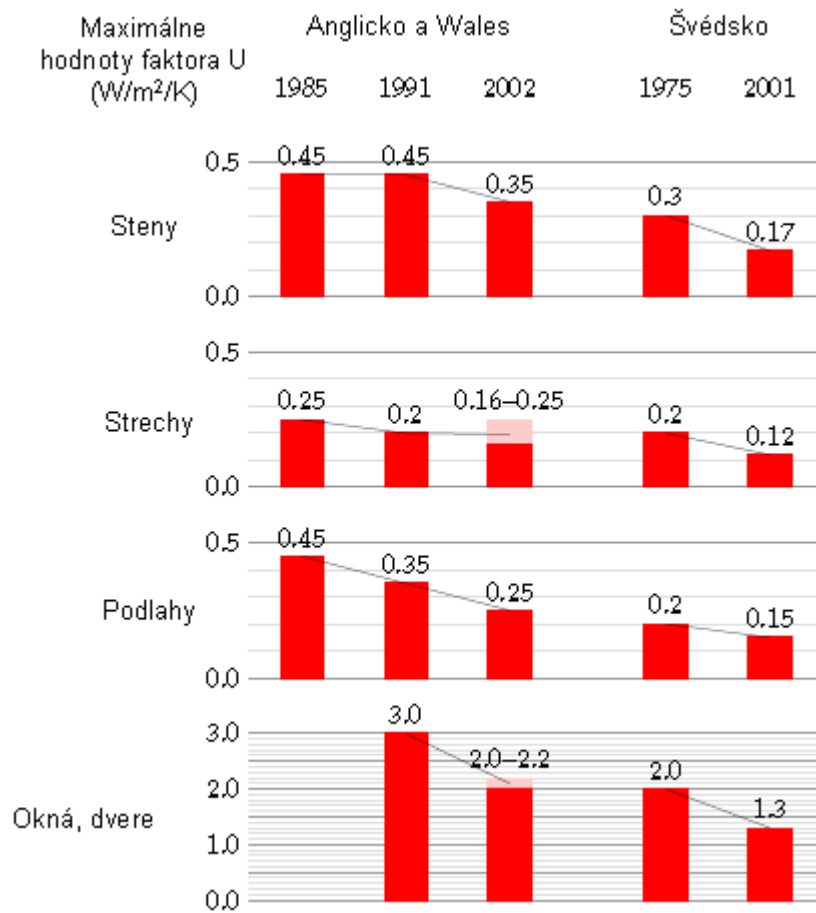
$$\text{straty energie} = \text{plocha} \times U \times (\Delta T \times \text{doba}),$$

a straty energie *ventiláciou* ako

$$\frac{1}{3} \cdot N \cdot V \times (\Delta T \times \text{doba}).$$

Obe tieto straty energie majú podobu

$$\text{niečo} \times (\Delta T \times \text{doba}),$$

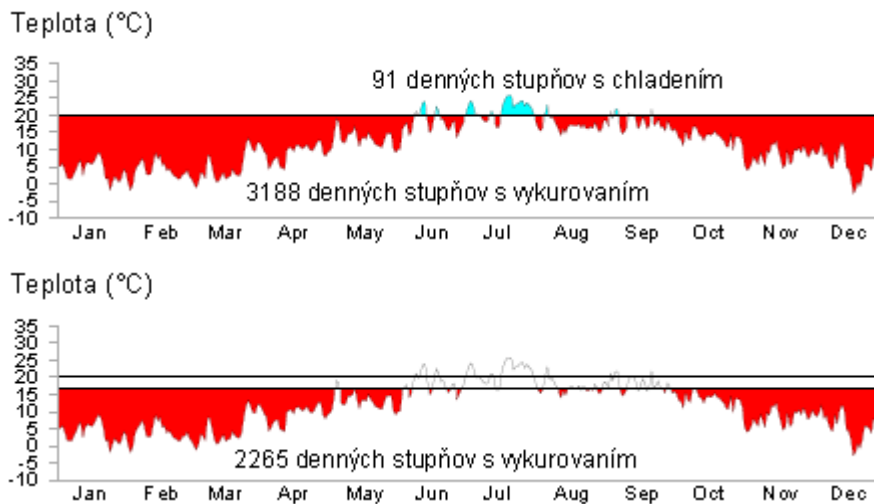


Obr. E.4: Hodnoty U -faktora požadované reguláciami v Británii a Švédsku.

kde sa „niečo“ meria vo wattoch na °C. Keď sa stmieva a menia sa ročné obdobia, menia sa aj teplotné rozdiely ΔT ; môžeme potom uvažovať o dlhej perióde rozdelenej na kratšie časové úseky, pričom počas každého z nich je teplotný rozdiel zhruba konštantný. Medzi časovými úsekmi sa teplotné rozdiely menia, ale „niečo“ sa nemení. Keď počítame straty v celom priestore spôsobené vedením a ventiláciou počas nejakého dlhého obdobia, potrebujeme v takomto prípade vynásobiť dva faktory:

1. sumu všetkých *niečo* (pridaním *plochy* $\times U$ pre všetky steny, stropy, podlahy, dvere a okná a $1/3.N.V$ pre objem); a
2. sumu všetkých teplotných rozdielov \times faktory časových úsekov (pre všetky časové úseky).

Prvý faktor je vlastnosť stavby meraná vo $W/^\circ C$. Budeme hovoriť o *priepustnosti* budovy (priepustnosť budovy sa niekedy nazýva *koeficient straty tepla*). Druhý faktor je vlastnosť počasia. Tento druhý faktor sa často vyjadruje ako počet „denných stupňov“, pretože teplotný rozdiel sa meria v stupňoch a dni sú vhodná jednotka pre popisovanie časových úsekov. Napr., ak je jeden týždeň v interiéri vášho domu $18^\circ C$ a v okolí domu $8^\circ C$, potom hovoríme, že týždeň celkovo prispel $10 \times 7 = 70$ dennými stupňami ($\Delta T \times$ doba). Sumu všetkých ($\Delta T \times$ doba) faktorov budem nazývať ako *teplotná požiadavka* danej časovej periódy.



Obr. E.4: Teplotná požiadavka v Cambridge, 2006, znázornená ako plocha na grafe denných priemerných teplôt. (a) Termostat nastavený na 20 °C, zahŕňa aj chladenie v lete (b) zimný termostat nastavený na 17 °C.

straty energie = priepustnosť × spotreba teploty.

Naše straty energie môžeme obmedziť znížením priepustnosti budovy alebo znížením našej spotreby teploty, alebo oboma spôsobmi. V nasledujúcich častiach knihy sa týmto dvom faktorom venujeme podrobnejšie, na názornom rozbere domu v Cambridge.

Existuje ešte tretí faktor, s ktorým musíme počítať. Straty energie nahrádza vykurovací systém v budove a ďalšie zdroje energie, ako sú napr. obyvatelia budovy, ich prístroje a variče, a Slnko. V prípade vykurovacieho systému energia vykurovaním *dodávaná* nie je rovnaká ako energia vykurovaním *spotrebovaná* . Ich vzájomný vzťah definuje *koeficient účinnosti* vykurovacieho systému.

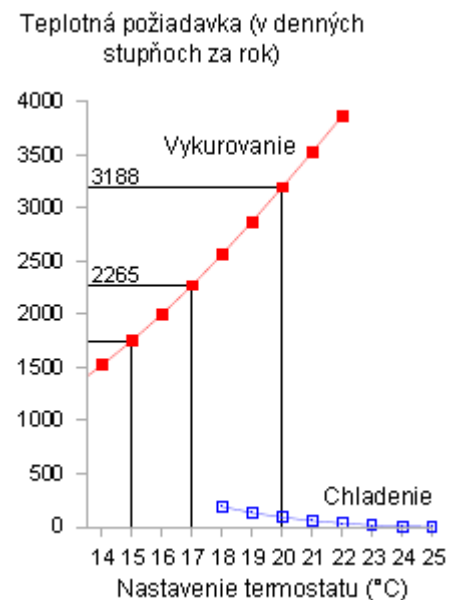
spotrebovaná energia = dodaná energia/koeficient účinnosti

Ak máme napr. kotol na zemný plyn, koeficient účinnosti je 90 %, pretože 10 % energie sa stratí v komíne.

Keď to zhrnieme, spotrebu energie v budove môžeme znížiť troma spôsobmi:

1. Znížením spotreby teploty.
2. Znížením priepustnosti budovy.
3. Zvýšením koeficientu účinnosti.

Teraz môžeme kvantifikovať potenciál týchto možností. (Štvrtá možnosť – zvýšenie vedľajšieho tepelného príjmu, špeciálne zo slnka – môže tiež byť užitočné, ale tu sa tomu nebudem venovať).



Obr. E.5: Teplotná požiadavka v Cambridge, v denných stupňoch za rok ako funkcia nastavenia termostatu (°C). Zníženie zimného termostatu z 20 °C na 17 °C, zníži spotrebu tepla na kúrenie o 30 % z 3188 na 2265 denných stupňov. Zvýšenie letného termostatu z 20 °C na 23 °C zníži spotrebu tepla na chladenie o 82 % z 91 na 16 denných stupňov.

Teplotná požiadavka

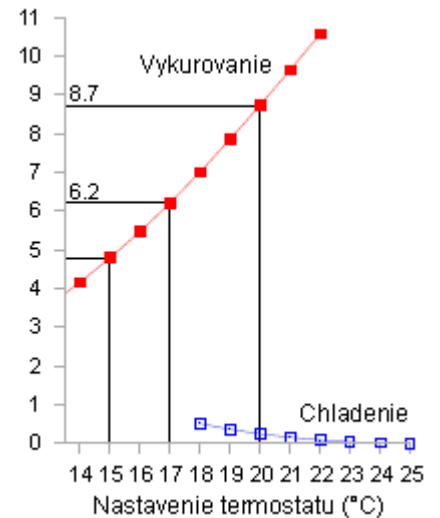
Dopyt po teplote môžeme znázorniť grafom znázorňujúcim závislosť vonkajšej teploty od času (obrázok E.4). V budovách, kde sa teplota udržiava na 20 °C, je celkový dopyt po teplote *plocha* medzi horizontálnou čiarou pri 20 °C a vonkajšou teplotou. Na obrázku E.4a môžeme vidieť, že za jeden rok v Cambridge, držaním teploty na 20 °C počas roka teplotná požiadavka bola 3188 denných stupňov na vykurovanie a 91 denných stupňov na chladenie. Tieto obrázky nám umožňujú ľahko ohodnotiť vplyv zníženia teploty na termostate a bývania bez klimatizácie. Nastavením teploty termostatu v zime na 17 °C spotreba tepla na vykurovanie klesla z 3188 denných stupňov na 2265 denných stupňov (obr. E.4b), čo zodpovedá 30 % zníženiu. Zníženie teploty na termostate na 15 °C klesne spotreba tepla z 3188 denných stupňov na 1748 denných stupňov, čo zodpovedá 45 % zníženiu.

Tieto výpočty nám poskytujú odhad výhod znižovania teploty na termostatoch, ale poskytnú nám presný odhad iba ak do výpočtu zahrnieme dva detaily: po prvé, budovy prirodzene absorbujú energiu zo Slnka, ktorá zvyšuje vnútornú teplotu nad vonkajšiu teplotu, bez akéhokoľvek vykurovania a po druhé, obyvatelia budovy a ich zariadenia vyžarujú teplo, ktoré následne znižuje potrebu vykurovania. Je trochu nepraktické vyjadrovať spotrebu tepla v danej lokalite. Zdá sa mi ťažké zapamätať si čísla typu „3500 denných stupňov“. Aj pre úspešných vysokoškolákov môže byť jednotka „denných stupňov“ nevhodná, pretože oni už na túto jednotku majú iný význam (a to keď sa prezliekajú do slávnostných šiat a baretov na promócie). Hodnota veličiny bude mať lepší zmysel a možno aj ľahšiu použiteľnosť, ak ju podelíme číslom 365, teda počtom dní v roku a získame tak spotrebu tepla v „denných stupňoch/deň“, alebo ak chcete jednoduchšie, v „stupňoch“. Obrázok E.6 zobrazuje takto vykreslenú spotrebu tepla, a vtedy predstavuje spotreba tepla jednoducho *priemerný* rozdiel teplôt medzi vnútrojstvom a vonkajškom. Zvýraznená je spotreba tepla pre: 8,7 °C, pre nastavenie termostatu na 20 °C; 6,2 °C, pre nastavenie 17 °C a 4,8 °C, pre nastavenie 15 °C.

Priepustnosť- príklad: môj dom

Bývam v trojpodlažnom dvojdomu, postavenom okolo roku 1940 (obrázok E.7). V roku 2006 bola jeho kuchyňa trochu rozšírená a väčšina okien bola dvojito zasklenených. Predné a zadné dvere boli jednoducho zasklené.

Môj odhad priepustnosti v roku 2006 ukazuje tabuľka E.8. Celková priepustnosť domu bola 322 W/°C (alebo 7,7 kWh/d/°C), so stratami vedením 72 % a ventiláciou 28 %. Straty vedením sú zhruba rovnako rozdelené do troch častí: okná, steny a podlaha, a strop.



Obrázok E.6: Teplotná požiadavka v Cambridge, v roku 2006, zobrazená v jednotkách denných stupňov/deň, tiež známych ako stupne. V týchto jednotkách je spotreba tepla zhodná s priemerným teplotným rozdielom medzi vnútrojstvom a vonkajškom.



Obrázok E.7: Môj dom.

ÚNIKY VEDENÍM	plocha (m ²)	faktor-U (W/m ² /°C)	priepustnosť (W/°C)
Horizontálne povrchy			
Naklonená strecha	48	0,6	28,8
Rovná strecha	1,6	3	4,8
Podlaha	50	0,8	40
Vertikálne povrchy			
Pokračovanie striech	21,4	0,6	14,5
Hlavné steny	50	1	50
Tenké steny (päťpalcové)	2	3	6
Okná a dvere s jedným sklom	7,35	5	36,7
Okná s dvojitým sklom	17,8	2,9	51,6
Celkové úniky vedením			242,4

Tabuľka E.8: Výpis strát vedením a ventiláciou v mojom dome pred rokom 2006. Upravil som hlavnú stenu dvojdому tak, že je z nej dokonale izolovaná stena, ale nemusí to byť vhodné, ak je medzera medzi priľahlými domami dobre ventilovaná. Zvýraznil som parametre, ktoré som zmenil po roku 2006

ÚNIKY VENTILÁCIOU	objem (m ³) (výmena vzduchu za hodinu)	N	priepustnosť (W/°C)
Spálne	80	0,5	13,3
Kuchyňa	36	2	24
Chodba	27	3	27
Ostatné izby	77	1	25,7
Celkové úniky ventiláciou			90

Aby sme mohli porovnať úniky tepla dvoch domov, ktoré majú rozdielne plochy podláh, môžeme únik tepla podeliť plochou. Z toho získame *koeficient tepelných strát*, ktorý sa meria v jednotkách W/°C/m². Koeficient tepelných strát tohto domu (celková plocha domu je 88 m²) je

$$3,7 \text{ W/°C/m}^2.$$

Použime tieto hodnoty pre odhad dennej spotreby energie v dome počas studeného zimného dňa, a počas celého roku.

Počas studeného dňa s predpokladom vonkajšej teploty -1 °C a vnútornej teploty 19 °C, je teplotný rozdiel $\Delta T = 20$ °C. Ak sa tento rozdiel zachová 6 hodín v priebehu dňa, potom sú denné straty energie

$$322 \text{ W/°C} \times 120 \text{ hodinových stupňov} \approx 39 \text{ kWh.}$$

Ak sa teplota udržiava celý deň na 19 °C, denné straty energie sú

$$155 \text{ kWh/d.}$$

Na výpočet ročných strát energie môžeme vziať spotrebu tepla v Cambridge z obr. E.5. Spotreba tepla v roku 2006 pri nastavení termostatu na 19 °C bola 2866 denných stupňov. Priemerná hodnota tepelných strát, ak je v dome vždy 19 °C, je potom:

$$7,7 \text{ kWh/d/}^\circ\text{C} \times 2866 \text{ denných stupňov/rok}/(365 \text{ dní/rok}) = 61 \text{ kWh/d.}$$

Znížením termostatu na 17°C klesnú priemerné straty tepla na 48 kWh/d . Nastavením termostatu na 21°C je priemerná hodnota straty tepla 75 kWh/d .

Vplyv dodatočnej izolácie

V roku 2007 som urobil na svojom dome nasledovné úpravy:

1. Spárovanie dier v stenách – (ktorá pôvodne v hlavných stenách domu nebola) – obrázok 21.5.
2. Zlepšenie izolácie strechy.
3. Pridanie nových predných dverí zvonku starých dverí – obr. 21.6.
4. Výmena zadných dverí za dvere s dvojitým sklom.
5. Výmena okna s jednoduchým sklom za okno s dvojitým sklom.

Aké sú odhadované zmeny v tepelných stratách?

Celkové úniky pred úpravami boli $322 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

Pridanie ďalšej izolácie (nová hodnota $U = 0,6$) k hlavným stenám znížilo straty tepla v dome o $20 \text{ W/}^\circ\text{C}$. Zlepšenie izolácie povaly (nová hodnota $U = 0,3$) by mohlo znížiť straty vedením o $14 \text{ W/}^\circ\text{C}$. Výmena okien (nová hodnota $U = 1,6 - 1,8$) by mohla znížiť straty vedením o $23 \text{ W/}^\circ\text{C}$ a straty ventiláciou približne o $24 \text{ W/}^\circ\text{C}$. Celkové zníženie únikov je cca 25% , z 320 na $240 \text{ W/}^\circ\text{C}$ (zo $7,7$ na $6 \text{ kWh/d/}^\circ\text{C}$).

Koeficient tepelných strát domu (celková plocha 88 m^2) sa takto zníži z $3,7$ na $2,7 \text{ W/}^\circ\text{C/m}^2$. (Toto je ešte dlhá cesta k $1,1 \text{ W/}^\circ\text{C/m}^2$ požadovaných pre “trvalo udržateľný“ dom podľa nových pravidiel).

- Upchávanie dier v stenách (aplikovaná na dve tretiny plochy všetkých stien)	4,8 kWh/d
- Zlepšenie izolácie stropu	3,5 kWh/d
- Zníženie strát vedením po dvojitom zasklení dvoch dverí a jedného okna	1,9 kWh/d
- Zníženie strát ventiláciou v chodbe a kuchyni po zlepšení dverí a okien	2,9 kWh/d

Tabuľka E.9: Výpis vypočítaného zníženia strát tepla v mojom dome počas chladného zimného dňa.

Je naozaj ťažké dosiahnuť skutočne veľkú zmenu v únikoch tepla v už postavenom dome! Ako sme mohli pred chvíľou vidieť, omnoho jednoduchší spôsob, ako dosiahnuť významného zníženia tepelných strát, je znížiť teplotu na termostatoch. Zníženie teploty z 20 na 17 °C vedie k zníženiu tepelných strát o 30 %.

Spojenie týchto dvoch akcií – fyzikálne zmeny a zníženie teploty na termostate – by mohlo podľa nášho výpočtu viesť k zníženiu strát tepla takmer o 50 %. Pretože nejaké teplo do domu prináša slnečné žiarenie, zariadenia a obyvatelia, zníženie strát tepla by mohlo byť viac ako 50 %.

Urobil som všetky tieto zmeny na mojom dome a sledoval merače tepla každý týždeň. Môžem potvrdiť, že spotreba tepla sa znížila o viac ako 50 %. Ako je možné vidieť na obr. 21.4 moja spotreba plynu sa znížila zo 40 kWh/d na 13 kWh/d – zníženie o 67 %.

Zníženie úniku tepla vnútornou izoláciou stien

Je možné izoláciou stien z vnútra znížiť úniky tepla? Odpoveď je „áno“, ale môžu sa vyskytnúť dva problémy. Prvý: hrúbka vnútornej izolácie je väčšia, ako môžeme očakávať. Zmena existujúcej 9 palcovej plnej tehlovej steny (hodnota $U = 2,2 \text{ W/m}^2/\text{K}$) na poriadnu $0,30 \text{ W/m}^2/\text{K}$ stenu si vyžaduje približne 6 cm izoláciu. [65h3cb] Druhý: na takýchto zaizolovaných stenách sa môže vyskytnúť vlhkosť, čo môže viesť k problémom.

Ak sa nechystáte dosiahnuť takéto veľké zníženie únikov tepla stenami, môžete aplikovať užšiu vnútornú izoláciu stien. Napr. si môžete kúpiť 1,8 cm hrubú izolačnú nástennú dosku s hodnotou $U = 1,7 \text{ W/m}^2/\text{K}$. S týmto je možné dosiahnuť s už existujúcou stenou zníženie hodnoty U z $2,2 \text{ W/m}^2/\text{K}$ na:

$$1 / \left(\frac{1}{2,2} + \frac{1}{1,7} \right) \approx 1 \text{ W/m}^2/\text{K}$$

Jednoznačne užitočné zníženie.

Výmena vzduchu

Keď sa raz budova skutočne dobre zaizoluje, straty tepla bude spôsobovať hlavne ventilácia (vetranie), a nie vedenie. Straty tepla spôsobené ventiláciou je možné znížiť prenosom tepla z odchádzajúceho vzduchu do prichádzajúceho vzduchu. Značná výhoda spočíva v tom, že väčšina tepla sa premiestni bez akejkoľvek spotreby dodatočnej energie. Trik je použitie nosa, ako to odhalil už prirodzený výber. Nos otepluje prichádzajúci vzduch chladením odchádzajúceho vzduchu. Pozdĺž nosa je teplotný gradient; steny nosa sú najchladnejšie blízko nosných dierok. Čím je váš nos dlhší, tým lepšie pracuje ako protiprúdový výmenník tepla. V prípade nosov vytvorených evolúciou, sa prúdenie vzduchu obyčajne mení. Iný spôsob usporiadania nosa je v podobe dvoch vzdušných prechodov – jeden

na prúdenie dovnútra a jeden na prúdenie von, oddelene z pohľadu vzduchu, ale pevne spojené navzájom tak, že teplo môže ľahko prúdiť medzi oboma časťami. Takto to funguje v budovách. Štandardne sa takéto „nosy“ nazývajú výmenníky tepla.

Energeticky efektívny dom

V roku 1984 energetický konzultant Alan Foster postavil blízko Cambridge energeticky účinný dom; a ochotne mi poskytol svoje detailné merania. Dom je bungalov postavený zo stavebného dreva na základe škandinávského dizajnu „Heatkeeper Serrekunda“ (Obrázok E.10) s plochou 140 m², pozostávajúci z troch spální, pracovne, dvoch kúpeľní, obývacej izby, kuchyne a chodby. Drevené vonkajšie steny dodala škótska spoločnosť poskladané a postavenie hlavných častí domu trvalo iba niekoľko dní.

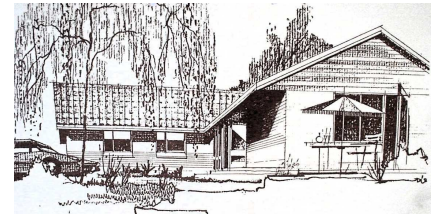
Steny majú hrúbku 30 cm a hodnota faktora $U = 0,28 \text{ W/m}^2/\text{°C}$. Z vnútornej po vonkajšiu stranu pozostávajú steny z 13 mm sadrokartóna, 27 mm vzdušného priestoru, vlhkostnej bariéry, 8 mm preglejky, 90 mm minerálnej vlny, 12 mm živicom impregnovanej drevovláknitej dosky, 50 mm dutiny a 103 mm tehly. Stropná konštrukcia je podobná, s 100–200 mm izoláciou z minerálnej vlny. Strop má hodnotu $U = 0,27 \text{ W/m}^2/\text{°C}$ a podlaha má $U = 0,22 \text{ W/m}^2/\text{°C}$. Okná majú dvojité sklo ($U = 2 \text{ W/m}^2/\text{°C}$) so sklenenou tabuľou špeciálne potiahnutou za účelom zníženia žiarenia. Okná sú usporiadané tak, aby umožňovali významný slnečný zisk, a prispievajú tým k ohrievaniu priestoru v dome 30 %.

Dom je dobre utesený, každé dvere a okná sú potiahnuté neoprénovými tesneniami. Dom sa vykuruje horúcim vzduchom pumpovaným cez podlahové rúrky; v zime pumpy využijú použitý vzduch z niekoľkých izieb, vypustia ho von a vezmú do vnútra vzduch z priestoru povaly. Prichádzajúci a odchádzajúci vzduch prechádza cez výmenník tepla (Obrázok E.11), ktorý šetrí 60 % tepla v získanom vzduchu. Výmenník tepla je pasívne zariadenie, ktoré nevyžaduje žiadnu energiu: je to ako veľký kovový nos ohrievajúci prichádzajúci vzduch odchádzajúcim vzduchom. Počas chladného zimného dňa teplota vonkajšieho vzduchu bola -8 °C . Teplota vzduchu na povale bola 0 °C a teplota vychádzajúca z výmenníka tepla $+8 \text{ °C}$.

Počas prvej dekády teplo dodávali len elektrické ohrievače, ohrievajúce 150 galónov (1 britský galón = 4,545 l) tepla uskladneného počas nočnej tarify. Nedávno do domu zaviedli plyn a ohrievanie priestoru teraz zabezpečuje plynový kotol.

Straty tepla spôsobené vedením a ventiláciou predstavujú $4,2 \text{ kWh/d/°C}$. Koeficient tepelných strát (únik na m² podlahovej plochy) je $1,25 \text{ W/m}^2/\text{°C}$ (na porovnanie v mojom dome je to $2,7 \text{ W/m}^2/\text{°C}$).

Pri dome, ktorý obývajú dvaja ľudia, priemerná spotreba na ohrev priestoru s termostatom nastaveným na 19 alebo 20 °C počas dňa bola 8100 kWh/rok alebo 22 kWh/d; celková spotreba energie na všetky účely



Obrázok E.10: The Heatkeeper Serrekunda



Obrázok E.11: Výmenník tepla

bola okolo 15000 kWh/rok alebo 40 kWh/deň. Vyjadrené v priemernom výkone na jednotku plochy to je **12,2 W/m²**.

Obrázok E.12 porovnáva spotrebu energie na jednotku plochy tohto domu s mojím domom (pred a po úpravách) a s európskych priemerom.

Štandardy domov a kancelárií

Nemecké oficiálne štandardy pre pasívne domy majú limity na spotrebu energie na ohrev a chladenie 15 kWh/m²/rok, čo je **1,7 W/m²** a na celkovú spotrebu 120 kWh/m²/rok, čo predstavuje **13,7 W/m²**.

Priemerná spotreba energie v britskom sektore služieb na jednotku plochy je 30 W/m².

Energeticky účinná kancelária

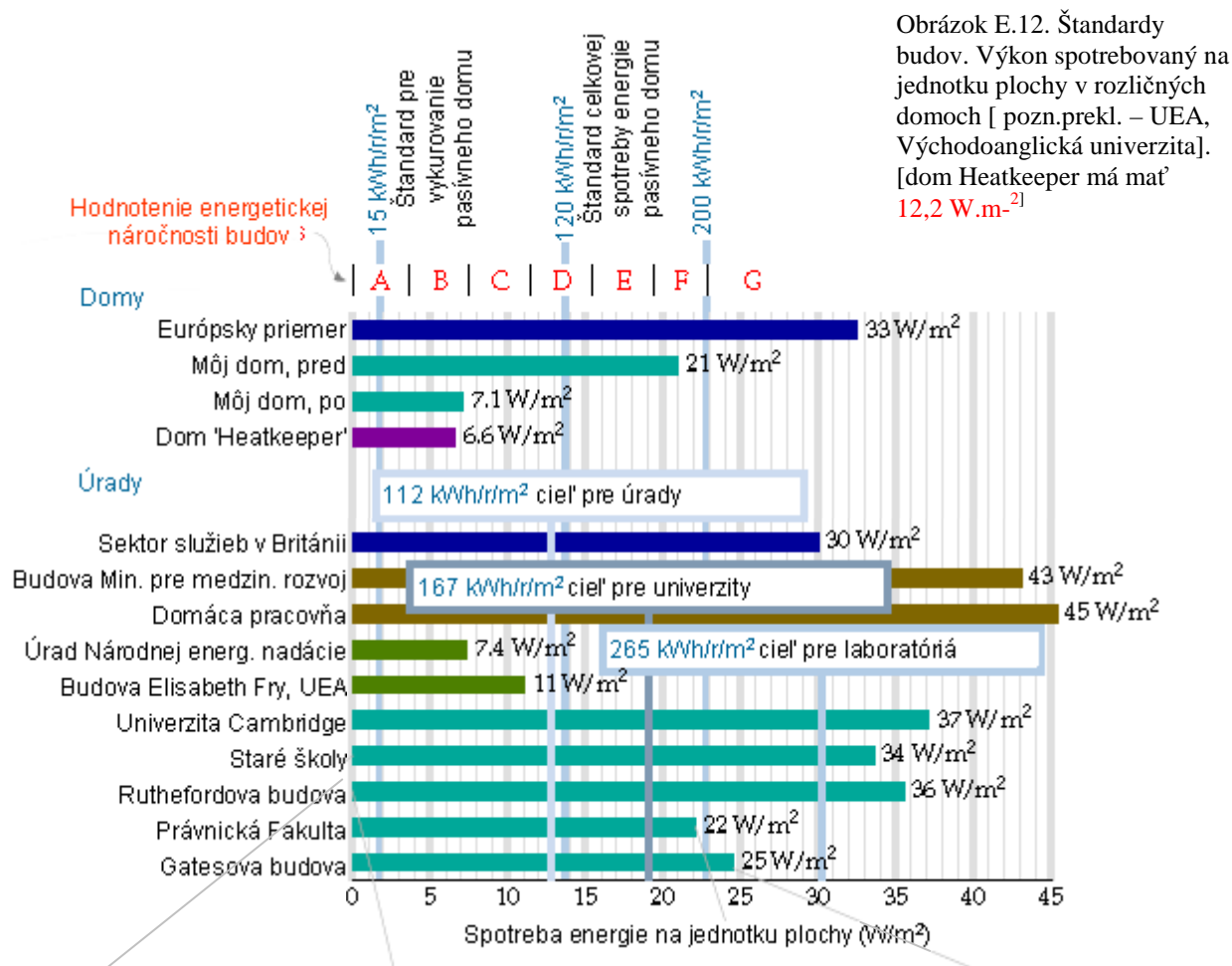
Národná energetická nadácia (NEF) postavila pre vlastnú potrebu nízko-nákladovú a nízko-energetickú budovu. Budova má slnečné kolektory na ohrev vody, fotovoltaické panely (PV) s maximálnym výkonom 6,5 kW a vyhrieva ju 14-kW tepelné čerpadlo zem-zem, a niekedy kachle na drevo. Podlahová plocha je 400 m² a počet nájomníkov je približne 30. Je to jedno-podlažná budova. Steny majú 300 mm izoláciu z minerálnej vlny. Koeficient využiteľnosti tepelného čerpadla v zime je 2,5. Spotrebovaná energia je 65 kWh/rok/m² (**7,4 W/m²**). Fotovoltaický systém dodáva takmer 20 % tejto energie.

Moderné kancelárie

Nové administratívne budovy sú z pohľadu ekologických dopadov často vychvaľované až do neba. Poďme sa teda pozrieť na niektoré čísla.

V budove Williama Gatesa pri Univerzite Cambridge sídlia počítačoví vedci, administrátori a jej súčasťou je aj malá kaviareň. Rozloha budovy je 11 110 m² a spotreba energie v budove je 2392 MWh za rok, takže energia na jednotku plochy je 215 kWh/m²/rok, čo predstavuje **25 W/m²**. Stavba vyhrala ocenenie RIBA v roku 2001 pre jej predpokladanú spotrebu energie. “Architekti združili v budove množstvo environmentálne prijateľných prvkov.” [5dhups].

Sú tieto budovy naozaj také pôsobivé? Neďaleká budova (Rutherford), postavená v roku 1970 bez nejakých módnych ekologických požiadaviek – samozrejme aj bez použitia okien s dvojítm sklom – má podlahovú plochu 4998 m² a spotrebuje 1557 MWh/rok, čo predstavuje 0,85 kWh/d/m², alebo 36 W/m². Takže ocenená budova je iba o 30 % lepšia, z hľadiska spotreby energie na jednotku plochy, ako jednoduchá budova z roku 1970. Obrázok E.12 porovnáva tieto dve a ďalšie nové budovy: Právnickú fakultu so starými školami, kde sú staromódne kancelárie postavené pred rokom



Staré školy



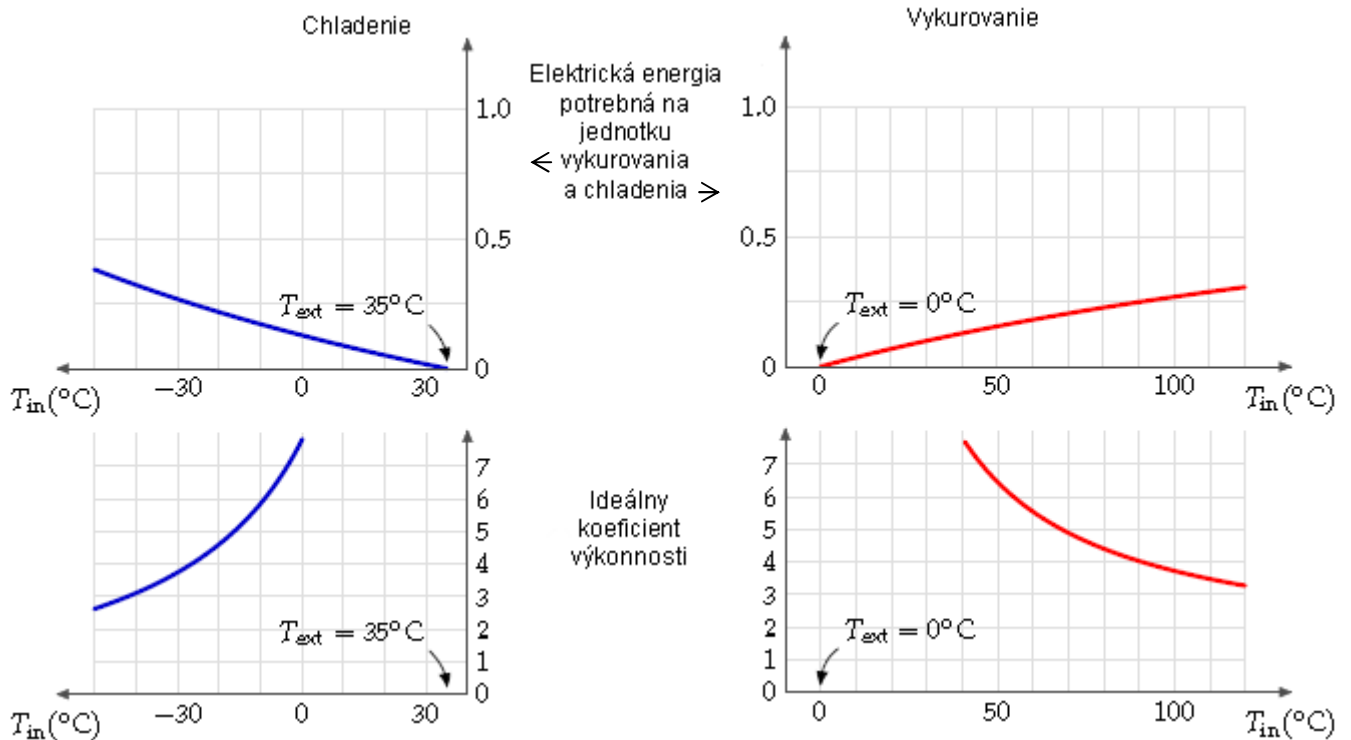
Budova Rutherford



Právnická fakulta



Gatesova budova



1890. Vzhľadom na všetku tú slávu, sú rozdiely medzi novými a starými budovami veľkým sklamaním!

Všimnime si, že spotreba energie na jednotku plochy má tú istú jednotku (W/m^2) ako obnoviteľné zdroje energie na jednotku plochy, ktorým sme sa venovali na stranách 43, 47 a 177. Porovnanie čísel na strane spotreby a na strane výroby nám pomôže si uvedomiť, aké ťažké je zásobovať energiou moderné budovy vlastnými obnoviteľnými zdrojmi. Výkon na jednotku plochy pre biopalivá (obrázok 6.11, strana 43) je $0,5 \text{ W}/\text{m}^2$; pre veterné elektrárne $2 \text{ W}/\text{m}^2$; pre fotovoltaiku $20 \text{ W}/\text{m}^2$ (obrázok 6.18, strana 47); iba slnečné kolektory majú dostatočný výkon na jednotku plochy $53 \text{ W}/\text{m}^2$ (obrázok 6.3, strana 39).

Zvýšenie koeficientu výkonnosti

Mohlo by sa zdať, že účinnosť 90 % kondenzačného kotla je takmer nemožné prekonať. S použitím tepelných čerpadiel to však možné je. Zatiaľ čo kondenzačný kotol premieňa chemickú energiu na využiteľnú tepelnú energiu pri účinnosti 90 %, tepelné čerpadlo používa elektrickú energiu na *prenos* tepla z jedného miesta na iné (napríklad z okolia budovy do vnútra budovy). Množstvo dodaného užitočného tepla je obyčajne významne vyššie, ako množstvo spotrebovanej elektrickej energie. Koeficient výkonnosti je 3 až 4 (t. j. účinnosť 300 – 400 %).

Obrázok E.13. Účinnosť ideálnych tepelných čerpadiel. Vľavo hore: Ideálna požadovaná elektrická energia podľa limitov termodynamiky potrebná na odčerpanie tepla *von* z priestoru pri teplote T_{in} , keď je teplo čerpané do priestoru pri teplote $T_{\text{ext}} = 35^\circ\text{C}$. Vpravo: ideálna požadovaná elektrická energia na čerpanie tepla *do* priestoru pri teplote T_{in} , keď sa teplo čerpá z priestoru pri teplote $T_{\text{ext}} = 0^\circ\text{C}$. Dolný rad: účinnosť vyjadrená „koeficientom výkonnosti“, ktorý znamená prečerpané teplo na jednotku elektrickej energie. V praxi majú tepelné čerpadlá typu zem-zem a najlepšie tepelné čerpadlá zem-vzduch koeficient výkonnosti 3 alebo 4.

Teória tepelných čerpadiel

V tejto časti sú uvedené matematické vzťahy pre ideálnu účinnosť tepelných čerpadiel, t. j. elektrickú energiu spotrebovanú na jednotku výkonu výstupnej tepelnej energie. Ak pumpuje teplo zvonka pri teplote T_1 smerom dovnútra, kde je teplota T_2 vyššia a obe teploty vztiahneme k absolútnej nule (t.j. T_2 v Kelvinoch je daná v st. Celzia T_{in} použitím $273,15 + T_{in}$), ideálna účinnosť je:

$$\eta = \frac{T_2}{T_2 - T_1}$$

Ak pumpujeme teplo von z priestoru pri teplote T_2 do teplejšieho exteriéru pri teplote T_1 , ideálna účinnosť je:

$$\eta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Tieto teoretické limity je možné dosiahnuť iba pomocou systémov, ktoré čerpajú teplo nekonečne pomaly. Všimnime si, že účinnosť je tým väčšia, čím je hodnota vnútornej teploty T_2 bližšie k hodnote vonkajšej teploty T_1 .

Zatiaľ čo tepelné čerpadlá typu zem-zem môžu mať teoreticky lepšiu účinnosť ako tepelné čerpadlá typu zem-vzduch, pretože teplota zeme je obyčajne bližšie k izbovej teplote ako teplota vzduchu, v skutočnosti môžu byť tepelné čerpadlá typu zem-vzduch tou najlepšou a najjednoduchšou voľbou. V mestách môže byť použitie tepelných čerpadiel typu zem-zem v budúcnosti neisté, pretože čím viac ich ľudia v zime používajú tým viac sa zem ochladzuje. Tento problém zmeny teploty (ale v opačnom smere) sa môže prejaviť aj v lete, keď sa používa príliš veľa tepelných čerpadiel typu zem-zem na klimatizáciu.

Vykurovanie a zem

Nižšie uvádzam zaujímavý výpočet. Predstavme si na našej streche solárne kolektory a vždy, keď panely dosiahnu $50\text{ }^\circ\text{C}$, pumpuje sa voda do kameňa pod naším domom. Vždy, keď príde chmúrne zamračené mesiace, teplo v kameni je možné použiť na ohrev nášho domu. Zhruba aké množstvo kameňa je potrebné na uchovanie dostatočného množstva tepelnej energie na ohrev domu počas jedného mesiaca? Predpokladajme, že potrebujeme 24 kWh denne počas 30 dní a že v dome je teplota $16\text{ }^\circ\text{C}$. Tepelná kapacita žuly je $0,195 \times 4200\text{ J/kg/K} = 820\text{ J/kg/K}$. Požadovaná hmotnosť je:

$$\text{hmotnosť} = \frac{\text{energia}}{\text{tepelná kapacita} \times \text{teplotný rozdiel}} = \frac{24 \cdot 30 \cdot 3,6\text{ MJ}}{(820\text{ J/kg/}^\circ\text{C}) \cdot (50^\circ\text{C} - 16^\circ\text{C})} = 100000\text{ kg}$$

100 ton, ktoré zodpovedajú kvádru skaly veľkosti $6\text{ m} \times 6\text{ m} \times 1\text{ m}$.

Tepelná kapacita:	$C = 820\text{ J/kg/K}$
Vodivosť:	$\kappa = 2,1\text{ W/m/K}$
Hustota:	$\rho = 2750\text{ kg/m}^3$
Tepelná kapacita na jednotku objemu:	$C_V = 2,3\text{ MJ/m}^3/\text{K}$

Tabuľka E.14. Potrebná štatistika pre žulu. (Použil som žulu ako príklad pre typický kameň)

Uskladnenie v zemi bez stien

Dobre, určili sme veľkosť užitočného podzemného zásobníka, ale je ťažké v ňom skladovať tepelnú energiu? Je potrebné obkolesiť náš zásobník množstvom izolácie? Ukáže sa, že zem je sama o sebe dobrým izolantom. Teplo sa v zemi šíri podľa:

$$\frac{1}{\sqrt{4\pi \cdot \kappa \cdot t}} \exp\left(-\frac{x^2}{4 \cdot (\kappa / (C_p)) \cdot t}\right)$$

de κ je vodivosť zeme, C je tepelná kapacita a ρ je jej hustota. Popisuje to krivku v tvare zvona so šírkou

$$\sqrt{2 \cdot \frac{\kappa}{C_p} \cdot t}$$

napríklad, po šiestich mesiacoch ($t = 1,6 \times 10^7$ s), použitím parametrov pre žulu ($C = 0,82$ kJ/kg/K, $\rho = 2500$ kg/m³, $\kappa = 2,1$ W/m/K), šírka je 6 m. Použitím parametrov pre vodu ($C = 4,2$ kJ/kg/K, $\rho = 1000$ kg/m³, $\kappa = 0,6$ W/m/K), šírka je 2 m.

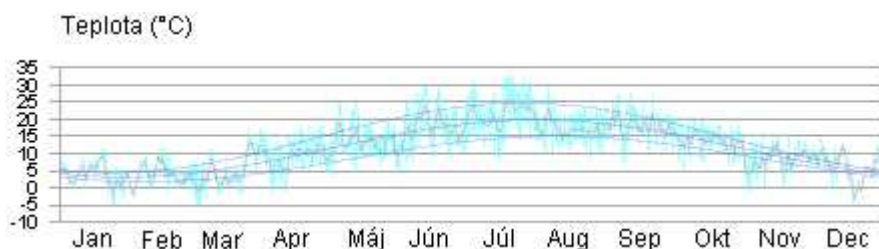
Takže, ak je priestor na zásobník väčší ako 20 m × 20 m × 20 m, tak väčšina uskladneného tepla zostane v zásobníku dlhšie ako 6 mesiacov.

Limity tepelných čerpadiel typu zem-zem

Nízka tepelná vodivosť zeme je dvojsečnou zbraňou. Vďaka nízkej vodivosti zem udržiava teplo dlhší čas, ale na druhej strane, nízka vodivosť znamená, že nie je jednoduché rýchlo uskladniť teplo dovnútra a čerpať ho von.

Teraz ukážeme, ako vodivosť zeme limituje prevádzku tepelných čerpadiel typu zem-zem.

Uvažujme o lokalite s pomerne vysokou hustotou populácie. Môže každý používať tepelné čerpadlo bez použitia aktívneho doplnenia v lete (ako sme rozoberali na strane 152)? Vec sa má tak, že ak by sme všetci odčerpávali teplo zo zeme v rovnakom čase, mohli by sme zem zmraziť na kosť.



Obrázok E.14. Teplota v Cambridge, 2006, a obrázok, ktorý ukazuje, že teplota je súčtom ročnej sínusovej variácie medzi 3 °C a 20 °C a dennej sínusovej variácie s rozsahom do 10,3 °C. Priemerná teplota je 11,5 °C.

	(W/m/K)
voda	0,6
kryštál	8
žula	2,1
zemská kôra	1,7
suchá zem	0,14

Tabuľka E.15. Tepelné vodivosti. Pre viac informácií pozri tabuľku E.18, na strane 304.

Táto otázka je nižšie vysvetlená dvomi výpočtami. Po prvé vypočítam prirodzený tok energie vtekajúcej a vytekajúcej zo zeme v lete a v zime.

Ak je požadovaný tok tepelnej energie v zime oveľa vyšší ako tento prirodzený tok, vieme, že naša požiadavka spôsobuje značnú zmenu teploty zeme a preto môže byť neprijateľná. Pri tomto výpočte budeme predpokladať, že teplotu zeme pod povrchom udržuje kombinovaný vplyv Slnka, vzduchu a zamračená a nočná obloha na teplote, ktorá sa počas roka mení iba pomaly. (obrázok E.16).

Reakcia na zmeny vonkajších teplôt

Určiť, ako sa mení teplota vo vnútri zeme a aké sú toky prichádzajúcej a odchádzajúcej tepelnej energie si vyžaduje trochu viac matematiky, ktorú som uviedol v tabuľke E.19 (strana 306).

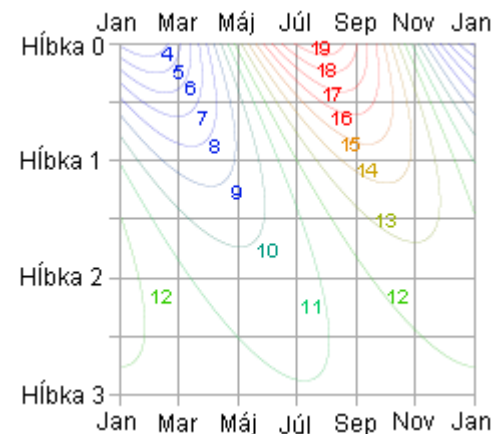
Výsledkom tohto výpočtu je názorný diagram (obrázok E.17), ktorý ukazuje zmenu teplôt v čase v rôznych hĺbkach zeme. Tento diagram poskytuje odpoveď pre každý materiál v zmysle charakteristickej dĺžky z_0 (rovnica (E.7)), ktorá závisí od vodivosti κ a tepelnej kapacity C_V materiálu a od frekvencie ω vonkajších zmien teploty. (Použitím tejto metódy si môžeme vybrať pohľad buď na denné alebo na ročné zmeny.) V prípade denných zmien a tuhej žuly, charakteristická dĺžka je $z_0 = 0,16$ m. (Takže 32 cm vrstva kameňa je hrúbka, ktorú potrebujeme na prekonanie vonkajších zmien teploty.) Pre ročné zmeny a žulu je charakteristická dĺžka $z_0 = 3$ m.

Podme sa zamerať na ročné zmeny a rozoberme zopár materiálov. Charakteristické dĺžky pre rôzne materiály sú v treťom odstavci tabuľky E.16. Pre vlhké piesočnaté pôdy alebo betón charakteristická dĺžka z_0 je podobná dĺžke pri žule – okolo 2,6 m. V suchých alebo rašelinových pôdach je dĺžka z_0 kratšia – okolo 1,3 m. To je možno dobrá správa, pretože to znamená, že nemusíme kopať hlboko, aby sme sa dostali k zemi so stabilnou teplotou. Ale je to spojené aj s niektorými zlými správami: prirodzené toky sú nižšie v suchých pôdach.

Prirodzený tok sa mení počas roka a má maximálnu hodnotu (rovnica (E.9)), ktorá je tým menšia, čím menšia je vodivosť.

Tuhá žula má maximálnu hodnotu tepelného toku 8 W/m^2 . Suché pôdy majú maximálnu hodnotu medzi $0,7 \text{ W/m}^2$ a $2,3 \text{ W/m}^2$. Vlhké pôdy majú maximálnu hodnotu od 3 W/m^2 do 8 W/m^2 .

Čo to znamená? Navrhujem zobrať hodnotu toku v strede týchto čísel 5 W/m^2 , ako užitočný štandard, ktorý poskytuje predstavu o tom, aký výkon by sme mohli získať na jednotku plochy s použitím tepelných čerpadiel zem-zem. Ak čerpáme tok významne menší ako 5 W/m^2 , rozdiel oproti prirodzeným tokom je malý. Ak na druhej strane skúsime čerpať viac ako 5 W/m^2 , je možné očakávať, že značne zmeníme teplotu zeme oproti jej prirodzenej teplote a môže byť nemožné dosiahnuť takéto toky.



Obrázok E.17. Teplota (v °C) vo vzťahu k hĺbke a času. Hĺbky sú dané v jednotkách charakteristických hĺbok z_0 , ktorá pre žulu a ročné zmeny je 3 m. Pri „hĺbke 2“ (6 m), je teplota stále okolo 11 alebo 12 °C. Pri „hĺbke 1“ (3 m), teplota kmitá medzi 8 a 15 °C.

Typická hustota populácie na predmestí v Británii je 160 m^2 na osobu (rady dvojdomov s približne 400 m^2 na dom, vrátane chodníkov a ulíc). Pri tejto hustote obývaných priestorov môžeme vypočítať, že limit pre dodávku tepla pre tepelné čerpadlo je

$$5 \text{ W/m}^2 \times 160 \text{ m}^2 = 800 \text{ W} = 19 \text{ kWh/d na osobu.}$$

Toto je nedostatočné na výkon, ktorý by sme radi dodávali v zime: je pravdepodobné, že naša maximálna spotreba teplého vzduchu a vody v dome ako je ten môj, môže byť až 40 kWh/d na osobu.

Tento výpočet predpokladá, že v typickej predmestskej oblasti *nemôže každý používať tepelné čerpadlá typu zem-zem*, len v prípade, ak každý aktívne dodáva teplo späť do zeme v letných mesiacoch.

Urobme druhý výpočet, v ktorom zistíme, koľko výkonu by sme mohli stabilne čerpať zo zeme z hĺbky $h = 2 \text{ m}$. Predpokladajme, že čerpaním znížime teplotu o $\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ pod priemernú teplotu na povrchu zeme a predpokladajme, že teplota na povrchu je konštantná. Potom môžeme vyvodit' tepelný tok. Pri predpoklade vodivosti $1,2 \text{ W/m/K}$ (typická pre vlhkú ílovitú pôdu),

	tepelná vodivosť κ (W/m/K)	tepelná kapacita C_v (MJ/m ³ /k)	char. dĺžka z_0 (m)	tok $A \cdot \sqrt{C_v \cdot \kappa \cdot \omega}$ (W/m ²)
Vzduch	0,02	0,0012		
Voda	0,57	4,18	1,2	5,7
Granit	2,1	3,28	3	8,1
Betón	1,28	1,94	2,6	5,8
<i>Piesčité pôda</i>				
suchá	0,3	1,28	1,5	2,3
50 % saturovaná	1,8	2,12	2,9	7,2
100 % saturovaná	1,58	2,96	2,7	9,5
<i>Ílovitá pôda</i>				
suchá	2,25	1,42	1,3	2,2
50 % saturovaná	1,18	2,25	2,3	6
100 % saturovaná	1,58	3,1	2,3	8,2
<i>Rašelina</i>				
suchá	0,06	0,58	1	0,7
50 % saturovaná	0,29	2,31	1,1	3
100 % saturovaná	0,5	4,02	1,1	5,3

Tabuľka E.18. Tepelná vodivosť a tepelná kapacita rôznych materiálov a typov pôd

a dedukovaná dĺžka $z_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{C_v \cdot \omega}}$

a maximálny tok $A \cdot \sqrt{C_v \cdot \kappa \cdot \omega}$ priradené k rôznym teplotným zmenám s amplitúdou $A = 8,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Piesočnaté a ílovité pôdy majú pórovitosť 0,4, rašelínové pôdy majú pórovitosť 0,8.

$$\text{Tok} = \kappa \times \Delta T/h = 3 \text{ W/m}^2.$$

Ak, ako je uvedené vyššie, predpokladáme hustotu populácie 160 m² na osobu, a ak každý z obyvateľov používa tepelné čerpadlo, potom je maximálny výkon na osobu dostupný použitím tepelných čerpadiel typu zem-zem 480 W, čo je 12 kWh/d na osobu.

Takže, znovu prichádzame k záveru, že v typickej predmestskej oblasti, v ktorej sa nachádzajú nedostatočne izolované domy, ako je ten môj, *nemôže každý používať tepelné čerpadlá*, iba ak by aktívne všetci dodávali teplo späť do zeme počas letných mesiacov. A v mestách s vyššou populačnou hustotou sú tepelné čerpadlá zem-zem použiteľné ešte ťažšie.

Preto navrhujem tepelné čerpadlá zem-vzduch ako najlepšiu voľbu pre vykurovanie v prípade väčšiny ľudí.

Tepelná hmota

Pomáha zvýšenie tepelnej hmoty budovy znížiť účty za chladenie a vykurovanie? To závisí na viacerých okolnostiach. Vonkajšia teplota sa môže počas dňa meniť o približne 10 °C. Budovy s veľkou tepelnou hmotou – napríklad silné kamenné steny – budú prirodzene znižovať tieto zmeny teploty a bez vykurovania a chladenia bude teplota blízko priemernej vonkajšej teplote. Takže budovy v Británii počas niekoľkých mesiacov v roku vykurovanie, ani chladenie nepotrebujú. V kontraste s tým málo izolované budovy s nízkou tepelnou hmotou sa môžu cez deň príliš zohriať a cez noc príliš ochladiť, a vyžadujú preto vyššie náklady na klimatizáciu a kúrenie.

Avšak veľká tepelná hmota nie je vždy výhodná. Ak miestnosť obývame v zime len niekoľko hodín denne (napr. prednášková miestnosť), náklady na energiu potrebnú na ohrev miestnosti na komfortnú teplotu budú tým vyššie, čím väčšia bude jej tepelná hmota. Toto extra uložené teplo zostane v tepelne masívnej miestnosti zachované dlhšie, ale ak v nej nikto nie je, nikto si to neužije a teplo sa nevyužije. Takže v prípade málo obývaných miestností má zmysel budova s nízkou tepelnou hmotou s možnosťou zohriať ju, ak je potreba.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

301 *Tabuľka E.18*. Zdroje: Bonan (2002),
<http://www.hukseflux.com/thermalScience/thermalConductivity.html>

Ak predpokladáme, že zem je z homogénneho materiálu s vodivosťou κ a tepelnou kapacitou C_v potom teplota v hĺbke z pod povrchom zeme a čas t zodpovedá predpísanej teplote na povrchu v súlade s rovnicou:

$$\frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = \frac{\kappa}{C_v} \cdot \frac{\partial^2 T(z,t)}{\partial z^2} \quad (\text{E.4})$$

Pre sínusoidný priebeh teploty s frekvenciou ω a amplitúdou A pri hĺbke $z = 0$

$$T(0,t) = T_{\text{povrch}}(t) = T_{\text{priemer}} + A \cdot \cos(\omega \cdot t) \quad (\text{E.5})$$

výsledná teplota v hĺbke z a v čase t je utlmujúca a oscilujúca funkcia

$$T(z,t) = T_{\text{priemer}} + A \cdot e^{-z/z_0} \cdot \cos(\omega \cdot t - z/z_0) \quad (\text{E.6})$$

kde z_0 je charakteristická dĺžka útlmu a oscilácie

$$z_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa}{C_v \cdot \omega}} \quad (\text{E.7})$$

Tok tepelnej energie (výkon na jednotku plochy) v hĺbke z je

$$\kappa \frac{\partial T}{\partial z} = \kappa \frac{A}{z_0} \cdot \sqrt{2} \cdot e^{-z/z_0} \cdot \sin(\omega t - z/z_0 - \pi/4) \quad (\text{E.8})$$

Napríklad, na povrchu je maximálny tok

$$\kappa \frac{A}{z_0} \cdot \sqrt{2} = A \sqrt{C_v \cdot \kappa \cdot \omega} \quad (\text{E.9})$$

Box E.19. Určovanie prirodzených tokov spôsobených sínusovými teplotnými variáciami.

F Vlny II

Fyzika vln vo veľkých hĺbkach

Vlny obsahujú energiu v dvoch formách: potenciálnej energii a kinetickej energii. Potenciálna energia je energia potrebná na presun všetkej vody z koryta na vrchol. Kinetická energia je energia súvisiaca s pohybom vody.

Ľudia si niekedy myslia, že keď sa hrebeň vlny pohybuje oceánom pri rýchlosti 30 míľ za hodinu, tak aj voda na hrebeni sa musí pohybovať tým istým smerom rýchlosťou 30 míľ za hodinu. Ale nie je to tak. Je to ako „mexická vlna“. Keď sa vlny valia štadiónom, iba sa vyhupnú a trochu klesnú dole. Pohyb časti vody v oceáne je podobný: ak sa zameriame na povrch chaluhy plávajúcej vo vode tak ako idú vlny, videli by sme ako sa chaluhy pohybujú hore a dole a tiež trochu nabok v smere pohybu vody – rovnaký efekt by sme videli v mexických vlnách ľudí, ktorí by kývali krúživým pohybom rukami, tak ako pri umývaní okien. Vlna má potenciálnu energiu, pretože sa dvíha hore, a má aj kinetickú energiu, pretože v nej existuje malý krúživý pohyb.

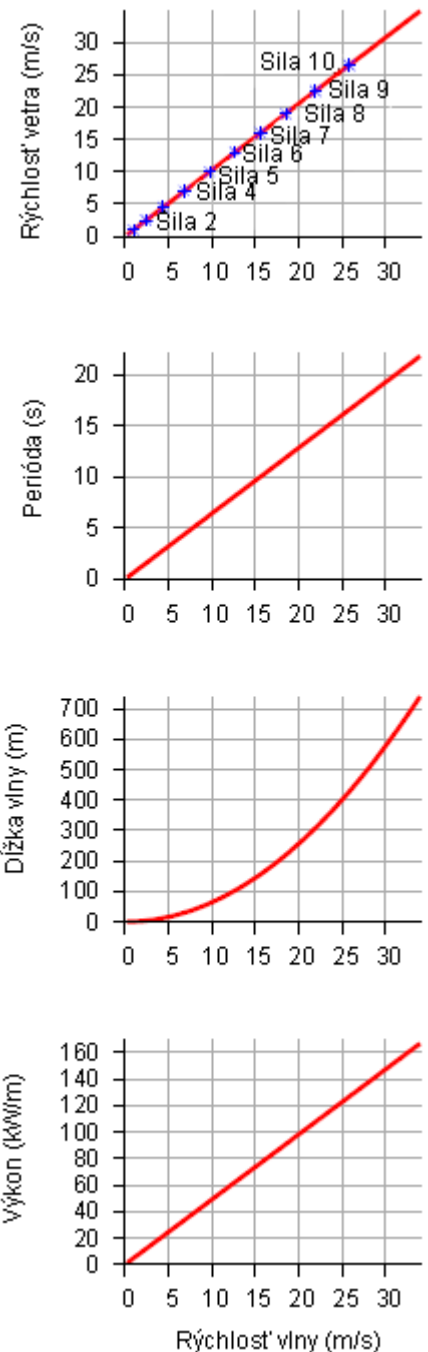
Náš hrubý výpočet výkonu vo vlnách oceánu si vyžaduje pridanie troch faktorov: určenie periódy vln T (čas medzi hrebeňmi), určenie výšky vln a fyzikálnu rovnicu, ktorá nám hovorí, ako sa dá určiť rýchlosť vlny v z jej periódy.

Dĺžka vlny λ a perióda vln (vzdialenosť a čas medzi dvoma vrcholmi) závisí od rýchlosti vetra vytvárajúceho vlny, ako ukazuje obrázok F.1. Výška vln nezávisí od rýchlosti vetra, skôr závisí od toho, ako dlho vietor pôsobí na vodnú hladinu.

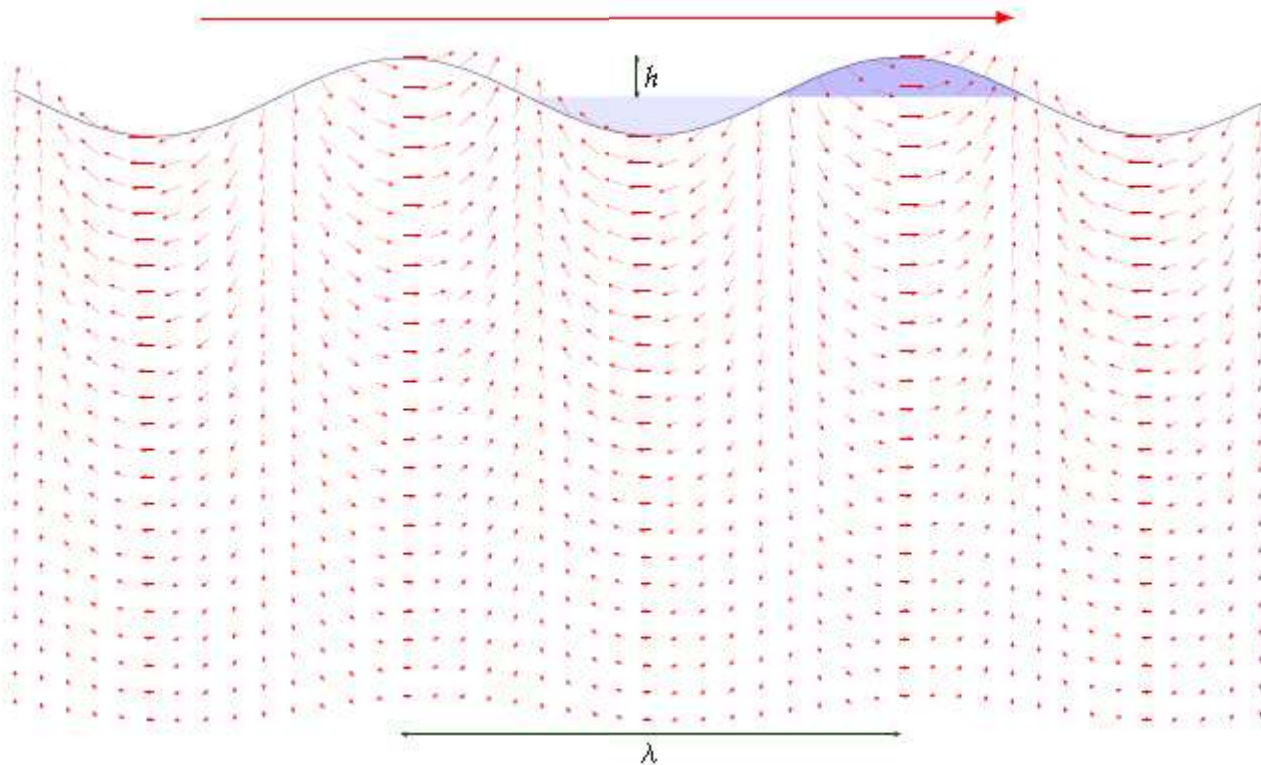
Môžeme určiť periódu oceánskych vln určením časom medzi vlnami prichádzajúcimi na pobrežie oceánu. Je 10 sekúnd reálnych? Predpokladajme výšku vlny 1 meter, čo znamená 2 metre medzi spodkom a hrebeňom. Ak je človek pri takýchto vlnách na ich spodku, tak nedovídi za najbližší hrebeň vlny. Myslím, že táto výška je väčšia ako priemerná, ale neskôr tento odhad môžeme upraviť, ak to budeme považovať za potrebné. Rýchlosť pohybu dolnej vody súvisí s časom T medzi hrebeňmi, podľa nasledovného fyzikálneho vzorca (pozri Faber (1995), strana 170):

$$v = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi}$$

kde g je zotrvačná rýchlosť tiaže ($9,8 \text{ m/s}^2$). Napr., ak $T = 10$ sekúnd potom $v = 16 \text{ m/s}$. Dĺžka takejto vlny – vzdialenosť medzi vrcholmi – je $\lambda = vT = gT^2/2\pi = 160 \text{ m}$.



Obrázok F.1. Fakty o vlnách hlbokých vôd. Na všetkých obrázkoch je na vodorovnej osi rýchlosť vlny v m/s. Popis od najvyššieho k spodnému grafu: rýchlosť vetra (v m/s) potrebná na vytvorenie takejto rýchlosti vlny, perióda vlny (v sekundách), dĺžka vlny (v metroch) a hustota výkonu vlny (v kW/m) s amplitúdou 1 m.



V prípade vlny s dĺžkou λ a periódou T , ak je vzdialenosť medzi každým korytom a hrebeňom $h = 1$ m, potenciálna energia na jednotku času a dĺžky je

$$P_{potenc} \approx m^* \cdot g \cdot \bar{h} / T \quad (\text{F.1})$$

kde m^* je hmotnosť na jednotku dĺžky, ktorá je približne $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot h \cdot (\lambda / 2)$ (približná plocha sivého vrcholu na obrázku F.2 z plochy trojuholníka) a h je zmena vo vzraсте stredy hmoty vody, ktorá je približne h . Takže

$$P_{potenc} \approx \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot h \cdot \frac{\lambda}{2} \cdot g \cdot h / T \quad (\text{F.2})$$

(Na určenie potenciálnej energie by sme mali použiť vo vzorci integrál a malo by nám to poskytnúť ten istý výsledok). Teraz λ/T je jednoducho rýchlosť v , pri ktorej sa vlny pohybujú, takže

$$P_{potenc} \approx \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot v \quad (\text{F.3})$$

Vlny majú kinetickú energiu a taktiež potenciálnu energiu a ako je vidieť tieto energie sa rovnajú; takže celková energia vln je dvojnásobok výkonu vypočítaného z potenciálnej energie.

$$P_{total} \approx \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot v \quad (\text{F.4})$$

Obrázok F.2. Vlna má energiu v dvoch formách: potenciálna energia súvisí so zdvíhaním vody zo svetlosivého koryta do tmavosivého vrcholu a kinetickej energie celého množstva vody v rámci niekoľkých vlnových dĺžok povrchu – rýchlosť vody naznačujú malé šípkky. Rýchlosť vody tečúcej zľava doprava naznačuje väčšia šíпка nad vodou.

V tejto odpovedi je len jedna vec nesprávna: výsledok je príliš veľký, pretože sme nebrali do úvahy zvláštnu vlastnosť rozptýlených vln: energia vlny sa v skutočnosti nešíri tou istou rýchlosťou ako jej hrebeň; ale pohybuje sa rýchlosťou nazývanou skupinová rýchlosť, ktorá je v prípade hlbkej vody rovná *polovici* rýchlosti v . Ak hodíme kameň do vody v jazere a pozorne sledujeme šíriace sa vlny, názorne môžeme vidieť, že energia vln sa šíri pomalšie ako ich hrebene. Znamená to, že rovnica (F.4) je nesprávna: potrebujeme ju podeliť dvomi. Správny výkon na jednotku dĺžky prednej strany vlny je

$$P_{total} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot v \quad (\text{F.5})$$

Ak $v = 16$ m/s a $h = 1$ m, zistíme

$$P_{total} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot v = 40 \text{ kW/m} \quad (\text{F.6})$$

Tento hrubý odhad súhlasí s reálnymi meraniami v Atlantiku (Mollison, 1986). (Pozri stranu 75).

Straty v dôsledku viskozity sú minimálne: vlna s periódou 9 sekúnd by mohla prejsť trikrát okolo sveta s 10 % stratou svojej amplitúdy.

Skutočný systém energie vln

Zariadenia hlbokých vôd

Aké účinné sú skutočné systémy využívajúce energiu vln? Existuje veľmi dobrý popis zariadenia s názvom „kačka“ od Stephena Saltera: rad „kačiek“ s priemerom 16 metrov využívajúci Atlantické vlny s priemerným výkonom 45 kW/m by mohol dodávať 19 kW/m, so započítaním prenosu výkonu do stredného Škótska (Mollison, 1986).

Zariadenie Pelamis od spoločnosti Ocean Power Delivery prekonalo Salterovu kačku, a dnes je najlepším plávajúcim vlnovým zariadením hlbokých vôd. Každé zariadenie v tvare hada je 130 m dlhé, a pozostáva z reťazca štyroch častí, pričom každá z nich má priemer 3,5 metra. Maximálny výstupný výkon predstavuje 750 kW. Zariadenia Pelamis sú konštruované na pripevnenie v hĺbke približne 50 m. Vlnová elektráreň s 39 zariadeniami usporiadanými v troch radoch, by sa v oceáne rozprestierala na ploche 1 km² a bola by okolo 400 m dlhá a 2,5 km široká, a využívala by hlavný nápor vln. Efektívny prierez jedného zariadenia Pelamis je 7 m (napr. pri vlnách s rovnakým prierezom zariadenie získava až 100 % energie). Spoločnosť tvrdí, že vlnová elektráreň by mohla dodávať energiu okolo 10 kW/m.

Zariadenia plytkých vôd

Pri poklese hĺbky v oceáne zo 100 m na 15 m sa stráca až 70 % energie, ako dôsledok trenia o dno. Takže priemerná energia z vln na jednotku dĺžky obrysu pobrežia v plytkých vodách je nižšia - približne 12 kW/m.

Zariadenie Oyster, ktoré vyvinuli na Queen`s University Belfast a spoločnosť Aquamaribe Power Ltd, je klapka upevnená na dne, okolo 12 metrov vysoká, určená do vôd s rovnakou hĺbkou, v oblastiach, kde je priemerný typický výkon vlny vyšší ako 15 kW/m. Jej maximálny výkon je 600 kW. Jedno zariadenie by vo vlnách vyšších ako 3,5 m mohlo vyrábať približne 270 kW. Predpokladá sa, že na jednotku hmotnosti by jeho výkon mohol byť vyšší, ako v prípade Pelamisu.

Zariadenia Oyster je možné použiť na priamy pohon odsolovacích zariadení (reverzná osmóza). „Maximálny výkon sladkej vody kombinácie zariadení pre odsolovanie a Oyster je medzi 2000 a 6000 m³/deň.“ Takáto výroba je rovnaká ako spotreba odsolovacieho zariadenia v Jersey (ktorá je 8 kWh na m³), teda 600 – 2000 kW elektriny.

G Prílív a odliv II

Hustota výkonu prílivových nádrží

Na určenie výkonu nádrže si predstavme, že sa rýchlo naplní pri prílive, a rýchlo vyprázdni pri odlive. Pri oboch procesoch dochádza k výrobe výkonu pri ústupe hladiny aj pri zaplavení. (Hovoríme o obojsmernej výrobe alebo výrobe s dvojším efektom). Zmenu potenciálnej energie vody, vždy každých šesť hodín, možno vyjadriť vzorcom $m \cdot g \cdot h$, kde h je polovica celkového rozsahu zmeny výšky stredu hmoty vody. (Rozsah je rozdiel hladiny medzi prílivom a odlivom; obrázok G.1) Hmotnosť nádrže na jednotku plochy je $\rho \cdot (2 \cdot h)$, kde ρ je hustota vody (1000 kg/m^3). Takže výkon na jednotku plochy slapovej nádrže je

$$\frac{2 \cdot \rho \cdot h \cdot g \cdot h}{6 \text{ hodín}}$$

pri predpoklade generátora s maximálnou teoretickou účinnosťou. Ak $h = 2 \text{ m}$ (t.j. rozsah 4 m), výkon prílivovej elektrárne na jednotku plochy je $3,6 \text{ W/m}^2$. Pri premene tohto výkonu na elektrickú energiu s účinnosťou 90% dostaneme

výkon prílivovej nádrže na jednotku plochy $\approx 3 \text{ W/m}^2$.

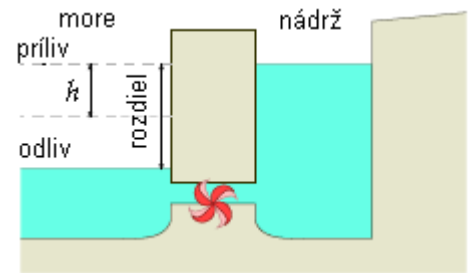
Takže aby sme vyrobili 1 GW výkonu (priemerne), potrebujeme nádrž s plochou približne 300 km^2 . Mohla by to zvládnuť kruhová nádrž s priemerom 20 km . (Na porovnanie plocha ústia rieky Severn za navrhovanou priehradou je približne 550 km^2 a plocha ústia rieky Wash je viac ako 400 km^2).

Ak prílivová elektrárňa vyrába elektrinu iba jedným smerom, tak je výkon na jednotku plochy polovičný. Priemerná hustota výkonu prílivovej priehrady v La Rance, kde je stredný rozsah zmeny hladín $10,9 \text{ m}$, je $2,7 \text{ W/m}^2$ už desaťročia (strana 87).

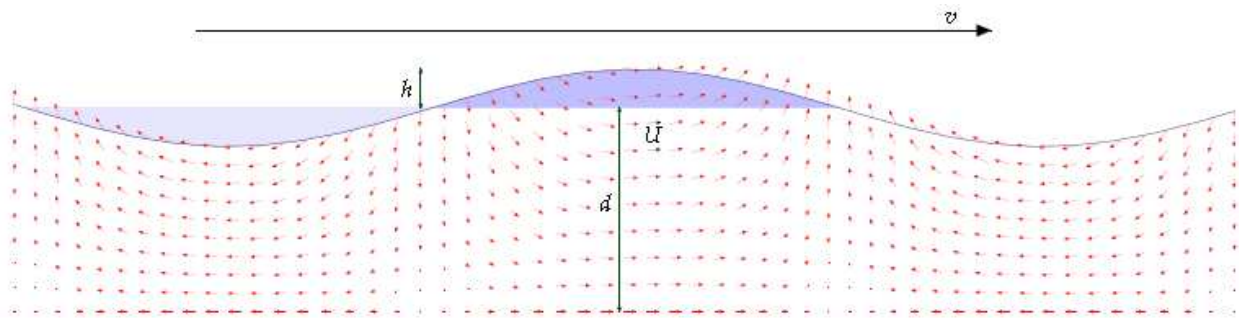
Pôvodné zdroje prílivu a odlivu

Prílivy a odlivy v Británii vytvárajú skutočné slapové vlny. (Cunami, ktoré sa nazývajú „prílivové vlny“, nemajú s prílivmi a odlivmi nič spoločné: spôsobujú ich zosuvy pôdy pod morom alebo zemetrasenia.) Miesto vysokého prílivu (vrchol prílivovej vlny) sa pohybuje omnoho rýchlejšie ako samotný príliv – povedzme sto míľ za hodinu, pričom voda sa pohybuje iba rýchlosťou 1 míle za hodinu.

Energia, ktorú môžeme získať z vln použitím slapových nádrží alebo elektrární, nemôže nikdy presiahnuť energiu prílivových vln Atlantiku. Môžeme odhadnúť celkový výkon týchto veľkých prílivových vln rovnako, ako sme určovali výkon bežných vln, ktoré vytvára vietor. Ďalšia časť popisuje štandardný model pre výkon, ktorý sa nachádza v pohybujúcich sa



Obrázok G.1. Prierez prílivovej nádrže. Teraz je nádrž prázdna (odliv), a plná bola pri prílive. Voda sa nechá vytekať cez generátor elektriny, a premieňa potenciálnu energiu vody na elektrinu.



vnách v hĺbke d , čo je hĺbka porovnateľná s vlnovou dĺžkou vln (obrázok G.2). Výkon na jednotku dĺžky týchto vln je

$$\rho \cdot g^{3/2} \cdot \sqrt{d} \cdot h^2 / 2 \quad (\text{G.1})$$

Tabuľka G.3 ukazuje výkon na jednotku dĺžky vrcholu vlny pre prijateľné počty. Ak $d = 100$ m a $h = 1$ alebo 2 m, výkon na jednotku dĺžky vlny je 150 kW/m, respektíve 600 kW/m. Tieto čísla sú prekvapivo porovnateľné s hrubým výkonom na jednotku dĺžky bežných vln v Atlantiku, 40 kW/m (kapitola F). Vlny a slapy v Atlantiku majú podobné vertikálne amplitúdy (okolo 1 m), ale hrubý výkon slapov je približne 10-násobne vyšší ako vlny poháňané vetrom.

Taylor (1920) vypracoval podrobný model prílivového výkonu, ktorý zahŕňa dôležité detaily ako napr. Coriolisov efekt (spôsobený rotáciou Zeme okolo vlastnej osi), existenciu slapových vln postupujúcich v protismere a priamy vplyv Mesiaca na tok energie v Írskom mori. Odvtedy experimentálne merania a počítačové modely potvrdili a ďalej rozšírili pôvodnú Taylorovu analýzu. Flather (1976) zostavil detailný numerický model mesačného prílivu a odlivu tak, že rozdelil pobrežie okolo Britských ostrovov na zhruba tisíc štvorcových častí. Určil, že celkový priemerný výkon regiónu je 215 GW. Podľa tohto modelu 180 GW spadá do úžiny medzi Francúzskom a Írskom. Od Severného Írska po Shetlandy je výkon 49 GW. Medzi Shetlandom a Nórskom straty v sieti dosahujú 5 GW. Cartwright a kol. (1980) experimentálne zistil, že priemerný prenos výkonu bol 60 GW medzi mestami Malin Head (Írsko) a Florø (Nórsko), a 190 GW medzi Valentia (Írsko) a Bretónskym pobrežím blízko Ouessantu (obrázok G.4). Výkon vstupujúci do Írskeho mora bol určený na 45 GW a do Severného mora cez Dover Straits na 16,7 GW.

Výkon prílivových vln

Táto časť, ktorú by sme mohli pokojne preskočiť, poskytuje ďalšie detaily skryté za vzorcom na výpočet výkonu prílivu, ktorý sme použili v predchádzajúcej časti. Detailnejšie popíšem tento model, pretože veľa oficiálnych odhadov z britských zdrojov o prílive sa zakladá na modeli, ktorý je podľa mňa nesprávny.

Obrázok G.2: Plytká vlna. Tak ako má vlna v hlbkej vode energiu v dvoch formách: potenciálna energia súvisiaca s nárastom vody mimo svetlosivého koryta do tmavosivých vrcholcov a kinetická energia pohybujúcej sa vody znázornenej malými šípkami. Rýchlosť vlny pohybujúcej sa zľava doprava je znázornená väčšou šípkou na vrchu. Pre prílivové vlny môže byť typická hĺbka 100 m, rýchlosť hrebeňov 30 m/s, vertikálna amplitúda na povrchu 1 alebo 2 m a maximum rýchlosti prúdenia vlny 0,3 alebo 0,6 m/s.

h (m)	$\rho g^{3/2} \sqrt{d} h^2 / 2$ (kW/m)
0,9	125
1,0	155
1,2	220
1,5	345
1,75	470
2,0	600
2,25	780

Tabuľka G.3. Toky výkonu (výkon na jednotkovú dĺžku hrebeňov vlny) pre hĺbku $d = 100$ m.

Obrázok G.2 ukazuje model prúdenia prílivových vln, prechádzajúcich cez pomerne plytkú vodu. Tento model zobrazuje napríklad slapové vlny prúdiace ponad Anglický kanál alebo pod Severným morom. Je dôležité odlíšiť rýchlosť U , pri ktorej sa voda pohybuje (ktorá môže byť približne 1 míľa za hodinu), od rýchlosti v , ktorou sa pohybuje vrchol prílivu a obyčajne dosahuje 100 alebo 200 míľ za hodinu.

Voda má hĺbku d . Prílivové vlny prichádzajú z ľavej strany od oceánu v 12-hodinových intervaloch. Vlny sa pohybujú rýchlosťou

$$v = \sqrt{g \cdot d} \quad (\text{G.2})$$

Predpokladáme, že dĺžka vlny je omnoho väčšia ako hĺbka a zanedbávame detaily ako je Coriolisova sila a zmeny hustoty vody. Označme si vertikálnu amplitúdu h . Štandardný predpoklad toku s nulovou intenzitou vírivosti predpokladá, že horizontálna rýchlosť vody sa s hĺbkou nemení. Horizontálna rýchlosť U je priamo úmerná povrchovému posunu a možno ju určiť pomocou zákona zachovania hmotnosti:

$$U = v \cdot h/d. \quad (\text{G.3})$$

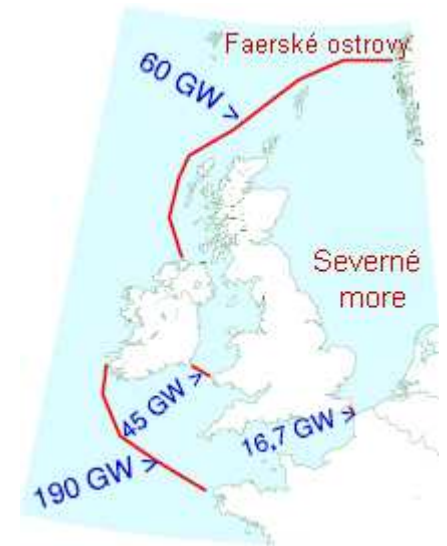
So znižovaním hĺbky sa zároveň znižuje aj rýchlosť vlny (rovnica (G.2)). Pre zjednodušenie budeme predpokladať, že hĺbka sa nemení. Energia sa pohybuje zľava doprava na určitej úrovni. Ako možno vypočítať tento celkový výkon prílivu? A aký je maximálny výkon, ktorý môžeme získať?

Jedna z možností je zvolenie si prierezu a vypočítanie *priemerného toku kinetickej energie* týmto prierezom, a potom tvrdiť, že toto množstvo reprezentuje získateľný výkon. Túto metódu toku kinetickej energie použili konzultanti Black a Veatch na určenie zdrojov slapovej energie v Británii. V našom modeli môžeme vypočítať celkový výkon inými spôsobmi. Uvidíme, že výsledok metódy toku kinetickej energie je významne nižší. Maximálny tok kinetickej energie pri danom profile je

$$K_{BV} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \quad (\text{G.4})$$

kde A je plocha prierezu. (Toto je vzorec na výpočet toku kinetickej energie, s ktorým sme sa stretli v kapitole B).

Skutočný celkový výkon sa nerovná toku kinetickej energie. Skutočný celkový výkon vlny v plytkej vode je štandardným učebnicovým výpočtom; jeden zo spôsobov, ako ho získať, je určiť celkovú energiu prítomnú v jednej dĺžke vlny a podeliť ju periódou. Celková energia na dĺžku vlny je súčtom potenciálnej a kinetickej energie. Kinetická energia je zhodou okolností rovnaká ako potenciálna energia. (Je to charakteristická vlastnosť takmer všetkých kmitajúcich objektov, napr. aj detí na hojdačke.) Takže, aby sme vypočítali celkovú energiu, stačí nám vypočítať jednu z dvoch energií – potenciálnu alebo kinetickú – a potom ju vynásobiť dvomi. Takže, urobme tento výpočet s potenciálnou energiou.



Obrázok G.4: Namerané priemerné výkony slapov podľa Cartwrighta a kol. (1980)

Potenciálna energia vlny (na dĺžku vlny a na jednotku šírky čela vlny) sa dá určiť nasledovne:

$$\frac{1}{4} \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot \lambda \quad (\text{G.5})$$

Takže, zdvojnásobením a podelením periódou je skutočný výkon modelu prílivovej vlny

$$\text{výkon} = \frac{1}{2} (\rho \cdot g \cdot h^2 \cdot \lambda) \times w / T = \frac{1}{2} \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot v \times w \quad (\text{G.6})$$

kde w je šírka čela vlny. Nahradením

$$v = \sqrt{g \cdot d}$$

$$\text{výkon} = \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot \sqrt{g \cdot d} \times w / 2 = \rho \cdot g^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{d} \cdot h^2 \times w / 2 \quad (\text{G.7})$$

Porovnajme tento výkon s tokom kinetickej energie K_{BV} . Tieto dva výrazy sa prekvapivo zväčšujú rozdielne s amplitúdou h . Použitím vzťahu (G.3), (G.2) a $A = w \cdot d$, môžeme vyjadriť tok kinetickej energie ako

$$K_{BV} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot U^3 = \frac{1}{2} \rho \cdot w \cdot d \cdot (v \cdot h / d)^3 = \rho \cdot \left(g^{\frac{3}{2}} / \sqrt{d} \right) \cdot h^3 \times w / 2 \quad (\text{G.8})$$

Takže, metóda toku kinetickej energie naznačuje, že celkový výkon vlny závisí od tretej mocniny jej amplitúdy (rovnica (G.8)). Ale správny vzorec hovorí, že výkon závisí od druhej mocniny amplitúdy (rovnica (G.7)).

Pomer je

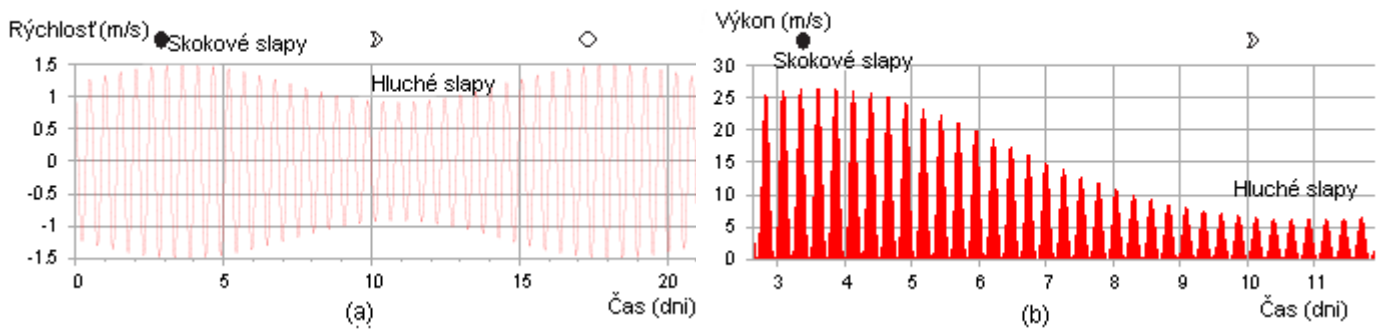
$$\frac{K_{BV}}{\text{výkon}} = \frac{\rho \cdot w \cdot \left(g^{\frac{3}{2}} / \sqrt{d} \right) \cdot h^3}{\rho \cdot g^{\frac{3}{2}} \cdot h^2 \cdot \sqrt{d} \cdot w} = \frac{h}{d} \quad (\text{G.9})$$

Pretože h je obyčajne omnoho menšie ako d (h je okolo 1 alebo 2 m, pričom d je 100 m alebo 10 m), odhady zdrojov výkonu prílivu, ktoré sú založené na metóde toku kinetickej energie, môžu byť *príliš malé*, prinajmenšom v prípadoch, kde je tento model slapových vln v plytkej vode vhodný.

Okrem toho, odhady založené na metóde toku kinetickej energie nesprávne tvrdia, že celkový dostupný výkon skokových slapov (najväčšie prílivy a odlivy) je osemnásobne vyšší ako pri hluchých slapoch (malé prílivy a odlivy) a predpokladajú, že pomer amplitúd skokových slapov ku hluchým je rovný dvom; správna odpoveď však je, že celkový dostupný výkon prílivových vln sa mení s druhou mocninou amplitúdy, takže pomer amplitúd skokových slapov k hluchým z celkového výkonu je 4.

Vplyv sklonu morského dna a Coriolisova sily

Ak sa hĺbka d postupne znižuje a šírka zostáva konštantná tak, že je odraz alebo absorpcia prichádzajúceho výkonu minimálna, potom aj výkon vlny



zostáva konštantný. To znamená, že $\sqrt{d \cdot h^2}$ je konštanta, takže možno odvodiť, že výška vlny sa mení s hĺbkou podľa $h \approx 1/d^{1/4}$.

Toto je hrubý model. Jeden detail, o ktorom sme neuvažovali, je Coriolisova sila. Tá spôsobuje, že prílivy sa vychýľujú doprava – napr. ako putujú smerom na sever po Anglickom kanáli, vysoké prílivy sú vyššie a nízke prílivy sú nižšie na južnej, francúzskej strane kanálu. Zanedbaním tohto vplyvu sú naše výpočty o niečo menej presné.

Hustota výkonu prílivových fariem

Predstavme si vodné mlyny inštalované na morskom dne. Tieto vodné mlyny bude poháňať tok vody. Pretože hustota vody je približne tisícásobne väčšia ako hustota vzduchu, výkon vody tečúcej cez mlyny je tisícásobne väčší ako výkon vetra pri tej istej rýchlosti.

Aký výkon by mohli dodať prílivové elektrárne? Rozhodujúca je skutočnosť, či môžeme alebo nemôžeme sčítať výkony jednotlivých prílivových elektrární na *jednotlivých* častiach morského dna. V prípade veterných elektrární sa zdá, že predpoklad sčítavania funguje dobre: v prípade, ak veterné turbíny umiestnime v dostatočnej vzdialenosti od seba, celkový vyrobený výkon desiatich susedných elektrární je súčtom výkonov, ktorý by dodávala každá z nich, ak by stála samostatne.

Platí to isté aj pre prílivové elektrárne? Alebo podmorské vodné mlyny nejako získavajú výkon ovplyvňujú? Nemyslím si, že odpoveď na túto otázku je všeobecne známa. Naopak, môžeme vychádzať z dvoch rôznych predpokladov, a identifikovať modelové situácie, v ktorých sa javia oba predpoklady správne. Prvý predpoklad: „vlna je ako vietor“ hovorí, že môžeme umiestniť vlnové turbíny na morské pobrežie vzdialené od seba päťnásobkom priemeru a nebudú sa navzájom ovplyvňovať bez ohľadu na to, akú plochu morského dna takýmito elektrárnami obsadíme.

Druhý predpoklad „môžeme mať iba jeden rad“ naopak tvrdí, že maximálny výkon, ktorý je možné získať z danej oblasti, by mohol dodávať *jeden rad* turbín stojacich proti prúdu. Situácia, kde platí takýto predpoklad, je špecifický prípad vodnej elektrárne: ak voda z priehrady preteká cez jednu dobre navrhnutú turbínu, nemá žiaden význam inštalovať za ňu ďalšie turbíny. Nie je možné získať stonásobne viac výkonu

Obrázok G.5: (a) Prílivové prúdy počas 21-dňovej periódy na mieste, kde je maximálny prúd pri silných prílivoch 1,5 m/s a pri slabých prílivoch je 0,9 m/s.

(b) Výkon na jednotku plochy morského dna počas 9-dňovej periódy rozložený od skokových po hluché prílivy. Výkon dosiahne maximum štyrikrát denne a s hodnotou 27 W/m². Priemerný výkon prílivovej elektrárne je 6,4 W/m².

inštalovaním ďalších 99 turbín v smere toku vody za prvou turbínou. Energiu získa iba prvá turbína, a ďalšími elektrárnami nie je možné získať viac energie. Takže predpoklad: „môžeme mať iba jeden rad“ je správny v prípade odhadu využiteľného výkonu na miestach, kde voda preteká cez úzky kanál z takmer stojacej vody vo vyššej výške, do nádrže v nižšej nadmorskej výške. (Tento prípad rozoberajú Garret a Cummins (2005, 2007)).

Teraz vyjdem s farbou von. Myslím si, že na veľa miestach v okolí Británie je predpoklad „vlna je ako vietor“ vhodný. Možno to neplatí v prípade úzkych kanálov. Na týchto miestach môžu byť moje výpočty nadhodnotené.

Predpokladajme, že pravidlá pre prílivové elektrárne sú rovnaké ako pre veterné elektrárne, a že ich účinnosť je rovnaká ako účinnosť najlepších veterných elektrární, okolo 50 %. Potom môžeme prevziať vzorec na výpočet výkonu veternej elektrárne (na jednotku plochy) zo strany 265. Výkon na jednotku plochy morského dna je

$$\frac{\text{výkon na vlnovú turbínu}}{\text{plocha na vlnovú turbínu}} = \frac{\pi}{200} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^3 \quad (\text{G.10})$$

Použitím tohto vzorca, tabuľka G.6 ukazuje tento výkon vlnovej elektrárne pre niekoľko vlnových prúdení.

Teraz, aké sú typické prílivové prúdy? Mapy prílivu a odlivu obyčajne uvádzajú prúdy súvisiace s najväčším rozsahom (nazývané skokové prílivy) a vlnami s najmenším rozsahom (nazývané hluché prílivy). Skokové prílivy sa vyskytujú krátko po každom splne a nove Mesiaca. Nízke prílivy sa vyskytujú krátko po prvom a treťom kvartáli Mesiaca. Výkon prílivovej elektrárne by sa mohol meniť počas dňa celkom predvídateľne. Obrázok G.5 ukazuje zmenu hustoty výkonu prílivovej elektrárne s maximálnym prúdom 1,5 m/s. Priemerná hustota výkonu prílivovej elektrárne môže byť 6,4 W/m². Existuje veľa miest okolo britských ostrovov, kde by výkon na jednotku plochy prílivových elektrární mohol byť 6 W/m² alebo viac. Táto hodnota je podobná našim odhadom hustôt výkonov veterných (2 – 3 W/m²) a fotovoltaických (5 – 10 W/m²) elektrární.

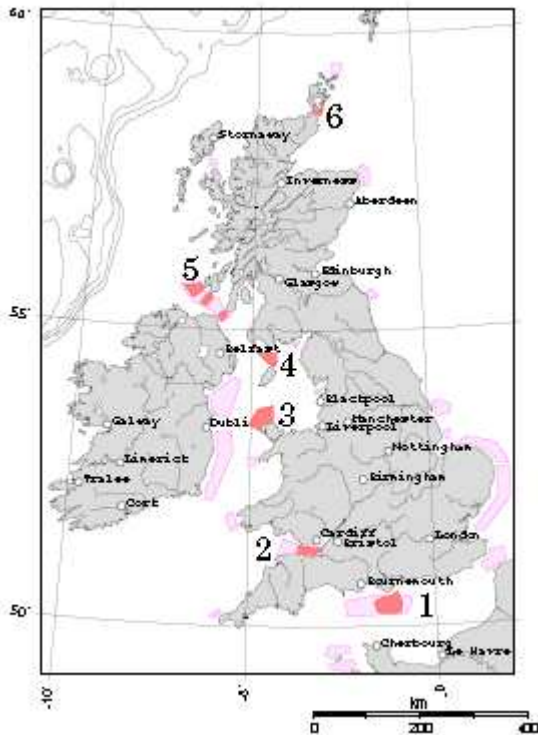
Teraz použijeme teóriu „prílivové elektrárne sú ako veterné elektrárne“ na odhadnutie získateľného výkonu z prílivových prúdov na vhodných lokalitách okolo Britských ostrovov. Pre kontrolu tiež určíme celkový výkon prílivov v každej z týchto lokalít s využitím teórie „výkonu prílivových vln“. Zistíme tak, či náš odhadnutý výkon nie je väčší ako celkový dostupný výkon. Hlavné lokality okolo britských ostrovov, kde sú prílivové prúdy najsilnejšie ukazuje obrázok G.7.

Vypočítal som typické maximálne prúdy v šiestich lokalitách s najväčšími prúdmi použitím tabuliek prílivov a odlivov v *Reedovej námornej ročenke*. (Tieto odhady majú chybu okolo 30 %). Nadhodnotil alebo podhodnotil som oblasť každej lokality? Neskúmal som morské dno,

U (m/s)	(uzly)	výkon prílivovej elektrárne (W/m ²)
0,5	1	1
1	2	8
2	4	60
3	6	200
4	8	500
5	10	1000

Tabuľka G.6. Hustota výkonu prílivovej elektrárne (vo wattoch na meter štvorcový morského dna) ako funkcia rýchlosti toku U . (1 uzol = 1 námornícka míľa za hodinu = 0,514 m/s) Hustota výkonu je

vypočítaná ako $\frac{\pi}{200} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^3$ (rovnica (G.10)).



Obrázok G.7. Oblasti okolo britských ostrovov, kde špičkové prílivové toky prekračujú 1 m/s. Šesť tmavo zvýraznených oblastí je uvedených v tabuľke G.8:

1. Anglický kanál (juh Isle of Wugh)
2. Bristol kanál
3. Sever Anglesey
4. Sever ostrova Man
5. Medzi Severným Írskom, the Mull of Kintyre a Islay
6. The Pentland Firth (medzi Orknejami a pevninou Škótska) a v rámci Orknejí.

Sú tam aj rozsiahle prúdy okolo Channel Islands, ale tie nespádajú do Veľkej Británie. Lokality, ktoré sa umiestnili na druhom mieste, zahŕňajú Severné More z rieky Temža (Londýn) k rieke Wash (Kings Lynn). Kontúry ukazujú hĺbku viac ako 100 m.

Údaje o slapoch sú z Reedovej námornej ročenky a DTI Atlasu britských zdrojov morskej obnoviteľnej energie (2004).

takže neviem, či niektoré miesta nie sú nevhodné – príliš hlboké, príliš plytké, alebo príliš zložité na výstavbu.

S vedomím všetkých týchto neistôt som dospel k odhadu celkového výkonu **9 kWh/d na osobu** z prílivových elektrární. To zodpovedá 9 % hrubého vstupného výkonu spomínaného na strane 83, teda 100 kWh za deň na osobu. (1,1 kWh/d/o v Bristolskom kanáli, lokalite 2, by mohlo konkurovať výkonu z priehrady Severn; záležalo by na tom, či prílivové elektrárne významne zvyšujú už existujúce prirodzené trenie, ktoré kanál vytvára, alebo ho nahrádzajú.)

Lokalita	U (uzly)		hustota výkonu (W/m ²)	plocha (km ²)	priemerný výkon (kWh/d/o)	d (m)	w (km)	hrubý výkon (kWh/d/o)	
	H	S						H	S
1	1,7	3,1	7	400	1,1	30	30	2,3	7,8
2	1,8	3,2	8	350	1,1	30	17	1,5	4,7
3	1,3	2,3	2,9	1000	1,2	50	30	3	9,3
4	1,7	3,4	9	400	1,4	30	20	1,5	6,3
5	1,7	3,1	7	300	0,8	40	10	1,2	4
6	5	9	170	50	3,5	70	10	24	78
Spolu					9				

(a)

(b)

Tabuľka G.8. (a) Výpočty výkonu prílivov za predpokladu, že vlnové elektrárne sú ako veterné elektrárne. Hustota výkonu je priemerný výkon na jednotku plochy morského dna. Šesť regiónov je uvedených v tabuľke G.7. N = najnižší bod, S = najvyššie body. (b) Na porovnanie táto tabuľka ukazuje hrubý výkon vypočítaný za pomoci rovnice (G.1) (strana 312).

v (m/s)	v (uzly)	hustota výkonu trenia (W/m^2)		hustota výkonu prílivovej elektrárne (W/m^2)
		$R_1 = 0,01$	$R_1 = 0,003$	
0,5	1	1,25	1,4	1
1	2	10	3	8
2	4	80	24	60
3	6	270	80	200
4	8	640	190	500
5	10	1250	375	1000

Tabuľka G.9. Hustota výkonu trenia (vo wattoch na meter štvorcový morského dna) ako funkcia rýchlosti toku, $R_1 \cdot \rho \cdot U^3$ za predpokladu, že $R_1 = 0,01$ alebo $0,003$. Flather (1976) používa $R_1 = 0,0025 - 0,003$; Taylor (1920) používa $0,002$. (1 uzol = 1 námorná míľa za hodinu = $0,514$ m/s) Posledný stĺpec ukazuje určený výkon slapového parku v tabuľke G.6. Pre ďalšie čítanie pozri Kowalik (2004), Sleath (1984).

Prílivové zdroje určené prostredníctvom spodného trenia

Iný spôsob ako určiť dostupný výkon prílivu, je vypočítať koľko výkonu sa stratí trením o morské dno. Turbíny umiestnené tesne nad dnom by mohli pôsobiť ako náhrada dna, a pôsobili by približne rovnakým ťahom na prechádzajúcu vodu ako morské dno a vyrábali by približne také isté množstvo výkonu, ako sa spotrebuje na trenie o dno, bez významnejšej zmeny prílivového toku.

Takže, aký výkon sa stráca pôsobením „trenia o dno“? Nanešťastie neexistuje priamy model na jeho výpočet. Závisí to od nerovností morského dna a od materiálu, z ktorého je morské dno zložené - a aj v prípade, ak máme tieto informácie, správny vzorec neexistuje. Jeden často používaný model hovorí, že amplitúda tlaku (sila na jednotku plochy) je $R_1 \cdot \rho \cdot U^2$, kde U je priemerná rýchlosť prúdenia a R_1 je bezrozmerná veličina nazývaná koeficient šmykového trenia. Môžeme určiť stratený výkon na jednotku plochy vynásobením tlaku s rýchlosťou. Tabuľka G.9 zobrazuje výkon stratený trením, $R_1 \cdot \rho \cdot U^3$, za predpokladu, že $R_1 = 0,01$ alebo $R_1 = 0,003$. Pre hodnoty koeficientu šmykového trenia v tomto rozsahu je trecí výkon veľmi podobný vypočítanému výkonu, ktorý by mohla prílivová elektrárňa dodávať. To je dobrá správa, pretože to znamená, že ak umiestnime veľké množstvo vodných turbín pod vodu na morské dno, vo vzájomnej vzdialenosti päťnásobku svojho priemeru turbíny nebudú radikálne ovplyvňovať prúdenie. Zhruba rovnaký je aj vplyv prírodného trenia.

Prílivové bazény s prečerpávaním

„Prečerpávací trik“ umelo zvyšuje amplitúdu prílivov a odlivov v prílivovom bazéne tak, aby bol vyrobený výkon vyšší. Spotreba energie na načerpanie vody do bazénu pri prílive sa nám vráti aj s úrokmi, keď tú istú vodu necháme pri odlive vytiecť; podobne vodu navyše možno vyčerpať z bazénu pri odlive, a nechať ju natiecť pri prílive. Tento prečerpávajúci trik sa niekedy využíva v La Rance a zvyšuje tak jeho celkový vyrobený výkon o približne 10 % (Wilson a Balls, 1990). Určíme technické limity tejto technológie. Budem predpokladať, že táto výroba má účinnosť $\varepsilon_g = 0,9$, a že prečerpávanie má účinnosť $\varepsilon_p = 0,85$. (Tieto čísla vychádzajú zo

zariadenia v Dinorwigu.) Nech je vlnový rozsah $2h$. Pre jednoduchosť budem predpokladať, že ceny na nákup a predaj energie sú rovnaké, takže optimálna výška b , do ktorej je bazén napustený, je daná rovnicou (prídavná energia na extra čerpanie = prírastok vody):

$$b/b_p = \varepsilon_g \cdot (b + 2h).$$

Definovaním celkovej účinnosti $\varepsilon = \varepsilon_g \cdot \varepsilon_p$ dostaneme

$$b = 2h \cdot \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}.$$

Napríklad pri slapovom rozsahu $2h = 4$ m a celkovej účinnosti $\varepsilon = 76\%$, optimálne zosilnenie je $b = 13$ m. To je maximálna výška, na ktorú je možné nastaviť napúšťanie, pri rovnakej cene elektriny.

Predpokladajme, že rovnaký trik použijeme aj pri odlive. (To si vyžaduje základňu s vertikálnym rozsahom 30 m!) Výkon na jednotku plochy potom je

$$\left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot \varepsilon_g \cdot (b + 2h)^2 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{1}{\varepsilon_p} \cdot b^2 \right) \cdot T$$

Amplitúda slapov (polovičný rozsah) h (m)	zosilnený rozsah h (m)	výkon s čerpaním (W/m ²)	výkon bez čerpania (W/m ²)
1,0	6,5	3,5	0,8
2,0	13	14	3,3
3,0	20	31	7,4
4,0	26	56	13

Tabuľka G.10. Teoretická hustota výkonu prílivu použitím tzv. čerpajúceho triku, predpokladajúc žiadne obmedzenia na výšku stien nádrže.

kde T je čas medzi prílivom a odlivom. Môžeme to vyjadriť ako maximálnu možnú hustotu výkonu bez prečerpávania, $\varepsilon_g \cdot 2\rho \cdot g \cdot h^2 / T$ vynásobené faktorom zosilnenia

$$\left(\frac{1}{1 - \varepsilon} \right)$$

ktorý sa približne rovná 4. Tabuľka G.10 zobrazuje teoretickú hustotu výkonu, ktorú môže prečerpávanie poskytnúť. Nanešťastie, prečerpávací trik sa bude naplno využívať iba zriedka pre ekonomiku konštrukcie nádrže: úplné využitie čerpania si vyžaduje, aby bola celková výška bazénu zhruba štvornásobkom rozsahu vlny a štvornásobné zvýšenie výkonu. Ale množstvo materiálu v morskej stene s výškou H , narastá ako H^2 , takže náklady na výstavbu steny so 4-násobnou výškou, by boli viac ako štvornásobne vyššie. Tieto náklady by bolo pravdepodobne lepšie vynaložiť na zväčšenie bazénu horizontálne a nie vertikálne.

Prečerpávací trik je možné napriek tomu použiť v ktorýkoľvek deň, keď je rozsah prirodzených prílivov a odlivov menší ako ich maximálny

Amplitúda prílivu (polovičný rozsah) h (m)	zosilnená výška h (m)	výkon s čerpaním (W/m ²)	výkon bez čerpania (W/m ²)
1,0	1,0	1,6	0,8
2,0	2,0	6,3	3,3
3,0	3,0	14	7,4
4,0	4,0	25	13

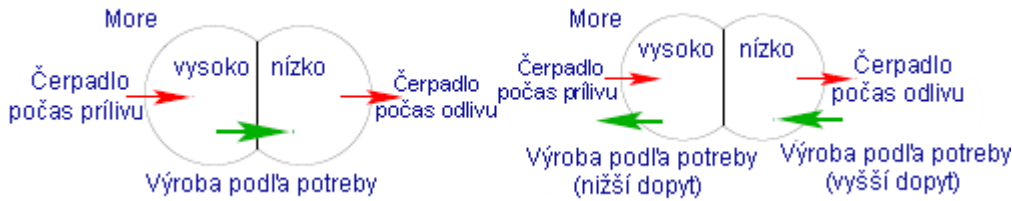
Tabuľka G.11. Hustota výkonu za pomoci prečerpávacieho triku za predpokladu, že zosilnená výška je taká istá ako rozsah prílivu a odlivu. Tento predpoklad platí napríklad pri hluchých prílivoch, ak prečerpávanie zvyšuje rozsah prílivu na hodnoty rozsahu skokových prílivov.

rozsah: hladinu vody počas prílivu možno prečerpávať na maximum. Tabuľka G.11 nám poskytuje dodávaný výkon, ak je zosilnená výška nastavená na h , t. j. rozsah v bazéne je dvojnásobný oproti prirodzenému rozsahu. Zdvojnásobenie vertikálneho rozsahu sa dá dosiahnuť jednoducho pri hluchých prílivoch, pretože tie sú obyčajne polovičné v porovnaní so skokovými prílivmi. Prečerpávanie vody do bazénu pri hluchých prílivoch tak, že sa využíva plný rozsah ako pri skokových prílivoch, nám umožňuje dodať približne dvakrát väčší výkon, ako by sme získali bez prečerpávania. Takže tento systém by znamenal, že zmeny vo výkone v priebehu dvoch týždňov by neboli štvornásobné, ale iba dvojnásobné.

„Nepretržitá“ energia prílivu s použitím dvoch nádrží

Tu je elegantná myšlienka: Majme dve nádrže, plnú a prázdnu. Pri prílive sa jedna nádrž naplní a pri odlive sa druhá nádrž vyprázdni. Naplňovanie a vyprázdňovanie sa môže uskutočňovať buď pasívne cez priepuste, alebo aktívne použitím čerpadiel (použitím prečerpávacieho triku). Vždy keď je potreba dodať výkon, umožní sa vode tiecť z plnej nádrže do prázdnej nádrže, alebo (lepšie z pohľadu výkonu) medzi jednou z nádrží a morom. Investičné náklady modelu s dvoma nádržami môžu byť vyššie, pretože si vyžaduje prídavné steny; veľkou výhodou ale je, že výkon je dostupný vždy, takže zariadenie ho môže zabezpečiť podľa potreby.

Výkon, ktorý vyrába prázdna nádrž, môžeme použiť na čerpanie vody do plnej nádrže pri prílive, a podobne môžeme použiť výkon z plnej nádrže na čerpanie vody z prázdnej nádrže pri odlive. Toto samočerpanie môže zvýšiť celkový výkon zariadenia bez akejkoľvek potreby odoberať energiu zo siete. Elegantná vlastnosť riešenia s dvoma nádržami je, že najvhodnejší čas na *prečerpanie* vody do vyššej nádrže je príliv, ktorý je zároveň najvhodnejším časom na *výrobu* výkonu z nižšej nádrže. Podobne je odliv ideálny čas na prečerpanie vody z dolnej nádrže a zároveň ideálny čas na výrobu výkonu z hornej nádrže. V jednoduchej simulácii som zistil, že systém dvoch nádrží na mieste so 4 m prirodzeným rozsahom prílivu, s vhodným rozvrhom prečerpávania, dodáva neustály výkon 4,5 W/m² (MacKay, 2007a). Hladina vody v jednej nádrži sa vždy drží nad úrovňou hladiny mora, a hladina vody v druhej nádrži sa vždy drží pod úrovňou hladiny mora. Táto hustota výkonu 4,5 W/m² je o 50 % vyššia ako



maximálna možná priemerná hustota výkonu bežnej prílivovej elektrárne v tej istej lokalite (3 W/m^2). Stály výkon systému nádrží by mohol byť cennejší, ako nestály a menej regulovateľný výkon bežného systému.

Tento systém môže plniť tiež funkciu zariadenia na prečerpávanie a uskladnenie vody.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

311 *Účinnosť 90 %...* Turbíny majú účinnosť okolo 90 % pri veľkosti 3,7 m alebo viac. Baker a kol. (2006).

320 *"Nepretržitá" energia pomocou dvoch nádrží.* Existujú prílivové elektrárne v Haishan, Maoyan Island, China. Jeden generátor umiestnený medzi dvoma nádržami (ako ukazuje obrázok G.12 (a)) dodáva výkon nepretržite a priemerne vyrába 39 kW. [2bqapk].

Ďalšie čítanie: Shaw a Watson (2003b); Blunden a Bahaj (2007); Charlier (2003a,b).

O trení na dne a závislosti toku od hĺbky, pozri Sleath (1984).

Viac o odhade prílivových zdrojov vo Veľkej Británii pozri MacKay (2007b)

Viac o prílivových nádržoch pozri MacKay (2007a).

Obrázok G.12: Rôzne spôsoby použitia triku čerpania. Dve nádrže sú lokalizované na úrovni mora. (a) Jeden jednoduchý spôsob použitia dvoch nádrží je označiť jednu nádrž ako hornú a druhú ako dolnú; keď je úroveň okolitého mora blízko k hladine prílivu, voda putuje do hornej nádrže alebo sa do nej aktívne čerpá (použitím elektriny z iných zdrojov); a podobne, keď je úroveň mora blízko k hladine odlivu, vyprázdňuje sa dolná nádrž pasívne alebo použitím čerpadla; potom je vždy dostupný výkon; výkon sa vyrába podľa potreby k presunu vody z hornej nádrže do dolnej nádrže. (b) Iný spôsob na zabezpečenie vyššieho výkonu na jednotku plochy, nie je spojený s tokom vody medzi dvomi nádržami. Kým sa jedna nádrž čerpá doplna alebo sa odčerpáva, druhá nádrž môže dodávať stály výkon podľa potrieb siete. Čerpanie môžu poháňať zdroje ako vietor, náhradný výkon zo siete (výkon jadrových elektrární), alebo druhou polovicou zariadenia s použitím výkonu jednej nádrže na naplnenie alebo vyprázdnenie druhej nádrže.

H Výrobky II

Dovezená energia

Dieter Helm a kol. odhadli uhlíkovú stopu každej libry tým, že vzali do úvahy priemernú uhlíkovú intenzitu ekonomiky krajiny X (uhlíková intenzita je pomer emisií uhlíka k HDP) a podiel dovozu z tejto krajiny. Ich záver je, že množstvo uhlíka skrytého v dovezenom tovare do Británie (ktorý by sa mal jednoznačne pripočítať k oficiálnej uhlíkovej stope Británie 11 ton CO₂e za rok na osobu) je približne 16 ton za rok na osobu. Následná detailnejšia štúdia, ktorú uskutočnila spoločnosť DEFRA, odhadla, že množstvo uhlíka skrytého v dovezenom tovare je menšie, ale stále veľmi výrazné: okolo 6,2 ton CO₂e za rok na osobu. Po prepočítaní 6 ton CO₂e za rok na energiu dostaneme približne 60 kWh za deň.

Pozrime sa na to, či získame podobné výsledky iným spôsobom, konkrétne s využitím hmotnosti dovezeného tovaru.

Obrázok H.2 ukazuje dovoz Británie za rok 2006 tromi spôsobmi: na ľavej strane je celková finančná hodnota rozdelená podľa krajiny pôvodu. V strede je tá istá finančná hodnota rozdelená podľa typu dovezeného materiálu na kategórie HM Revenue a Customs. Pravá strana zobrazuje všetok dovoz podľa hmotnosti a rozdeľuje ho podľa kategórií používaných Ministerstvom dopravy, ktoré sa nezaobera typom tovaru (napr. či ide o kožu alebo tabak) – ale sleduje jeho hmotnosť, či ide o kvapalinu alebo pevnú látku a či materiál priviezli v kontajneri na lodi alebo nákladným autom.

Energetické náklady dovezených palív (vpravo hore) *zahrňajú* štandardné záznamy britskej energetickej spotreby; energetické náklady ostatného tovaru zahrnuté nie sú. Pre väčšinu materiálov je skrytá energia na jednotku hmotnosti rovnaká alebo väčšia ako 10 kWh/kg – rovnaká, ako energia na jednotku hmotnosti fosílnych palív. Toto platí napr. pre všetky kovy a zliatiny, všetky polyméry a zložené materiály, väčšinu papierových a mnoho keramických výrobkov. Výnimku tvoria suroviny ako rudy; ďalej porézna keramika, ako napr. betón, tehla a porcelán, ktoré majú energetické náklady asi 10-krát nižšie; drevo a niektoré gumy a sklá, ktorých energetické náklady sú o málo nižšie ako 10 kWh/kg. [r22oz]

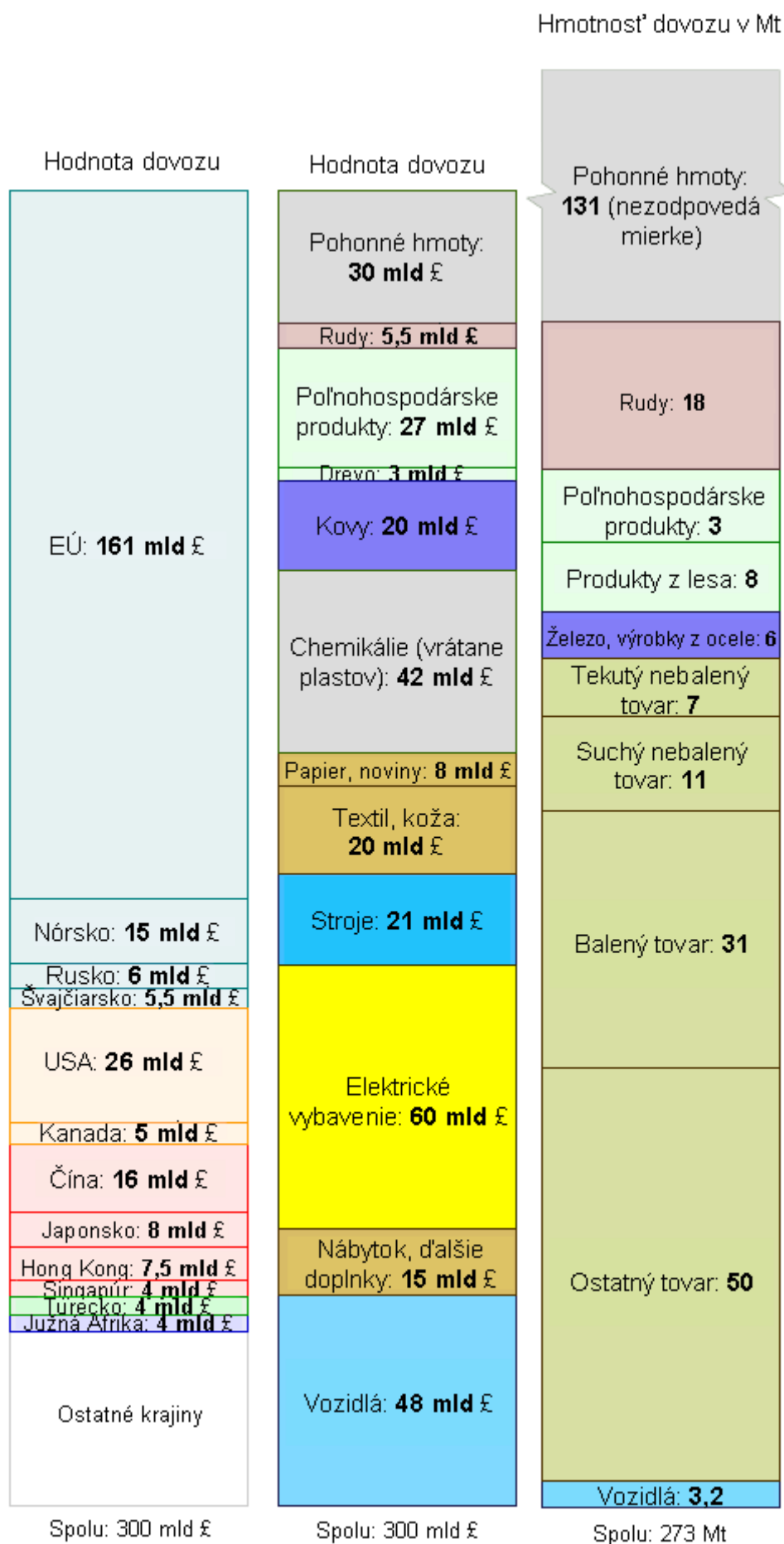
Takto môžeme približne odhadnúť energetickú stopu dovezeného materiálu veľmi jednoducho – na základe ich hmotnosti, ak nebudeme brať do úvahy materiály, ako sú rudy a drevo. Vzhľadom na nepresnosť údajov, s ktorými pracujeme, určite niekde spravíme chybu a neúmyselne započítame veci vyrobené z dreva či skla, ale túto nepresnosť do určitej miery napravi podhodnotenie energetického obsahu väčšiny kovov a plastov a zložitejších materiálov, u ktorých je skrytá energia nie 10, ale 30 kWh/kg, alebo dokonca viac.

Pre tento výpočet vezmem z prvého stĺpca na obrázku H.2 železné a



Obrázok H.1. Nepretržité odlievanie ocelových vlákien v kórejskej Iron and Steel Company

Obrázok H.2. Dovoz tovaru do Veľkej Británie, 2006.



oceľové produkty, nebalené výrobky, náklad uložený v kontajneroch a „iný náklad“, ktorého celková hmotnosť je 98 ton za rok. Nateraz nechám dopravné prostriedky bokom. Odčítam od toho odhadovaných 25 ton jedla, ktoré sa pravdepodobne nachádzajú v kategórii „iný náklad“ (v roku 2006 sme doviezli 34 miliónov ton jedla), a zostáva tak 73 miliónov ton.

Ak premeníme 73 miliónov ton na energiu postupom uvedeným vyššie, a po rozdelení medzi 60 miliónov ľudí zistíme, že v dovezenom tovare predstavuje skrytá energia 33 kWh/deň na osobu.

V prípade automobilov budeme tápať o niečo menej, pretože vieme o niečo viac: počet dovezených automobilov v roku 2006 bol 2,4 miliónov. Ak vezmeme zabudovanú energiu auta 76000 kWh (ako je uvedené na strane 90), potom predstavuje skrytá energia dovezeného auta 8 kWh/deň na osobu.

V odhadoch som vynechal „tekuté produkty“, pretože si nie som istý, o aký druh produktov ide. Ak ide o tekuté chemikálie, potom ich príspevok môže byť značný.

Dospeli sme k celkovému odhadu 41 kWh/deň na osobu skrytej energie v dovezených materiáloch – teda jednoznačne odhad v súlade s prácou Dietera Helma a jeho kolegov.

Domnievam sa, že 41 kWh/deň na osobu môže byť podhodnotený odhad, pretože predpokladaná energetická náročnosť (10 kWh/deň na kg) je príliš nízka pre väčšinu výrobkov, ako napríklad stroje alebo elektrické nástroje. Keďže nepoznám hmotnosti všetkých dovážaných kategórií, toto je najlepší odhad, ktorý je možné teraz urobiť.



Obrázok H.3. Povrchová baňa pre ťažbu nióbu, Brazília.

Analýza životného cyklu budov

Tabuľky H.4 a H.5 ukazujú odhady *energetických nákladov spracovania* stavebných materiálov a stavebných konštrukcií. Patrí sem energia, ktorá sa spotrebuje na dopravu surovín do závodu, ale nie energia, ktorá sa spotrebuje na dopravu konečných produktov na stavenisko.

S týmito číslami počíta tabuľka H.6 pre odhad energie potrebnej na výstavbu trojizbového domu. *Hrubá spotreba energie* limity zvyšuje, pretože zahŕňa skrytú energiu mestskej infraštruktúry, ako napríklad skrytú energiu strojov, ktoré vyrábajú suroviny. Aby sme získali hrubú spotrebu energie podľa pravidla približného odhadu, je potrebné zdvojnásobiť odhad energetických nákladov spracovania [3kmcks].

Ak rozdelíme 42 000 kWh na obdobie 100 rokov a pre hrubé energetické náklady tento odhad zdvojnásobíme, celková skrytá energia domu je približne 2,3 kWh/deň. Ide o energiu spotrebovanú len na stavbu *stien* domu – tehly, obkladačky, stropné trámy.

Materiál	Zabudovaná energia	
	(MJ/kg)	(kWh/m ²)
Suché rezané ľahké drevo	3,4	0,94
Suché rezané ťažké drevo	2	0,56
Vzduchom sušené rezané ťažké drevo	0,5	0,14
Hobra (angl. hardboard)	24,2	6,7
Drevotrieska (angl. particle board)	8	2,2
MDF (tvrdá drevo-vláknitá doska)	11,3	3,1
Preglejka	10,4	2,9
Laminátové stavebné drevo	11	3
Laminátová preglejka	11	3
Slama	0,24	0,07
Spevnená zem	0,7	0,19
Importovaná žula	13,9	3,9
Lokálna žula	5,9	1,6
Prášková sadra	2,9	0,8
Sadrokartón	4,4	1,2
Vláknitý cement	4,8	1,3
Cement	5,6	1,6
Betón vyrobený na mieste	1,9	0,53
Prefabrikovaný parou sušený betón	2	0,56
Prefabrikovaný montovaný betón	1,9	0,53
Nepálená tehla	2,5	0,69
Betónový blok	1,5	0,42
Autoklávový pórovitý betón	3,6	1
Plasty	90	25
PVC	80	22
Syntetická guma	110	30
Akrylová farba	61,5	17
Sklo	12,7	3,5
Sklenené vlákno (sklenená vata)	28	7,8
Hliník	170	47
Meď	100	28
Pozinkovaná oceľ	38	10,6
Nerezová oceľ	51,5	14,3

Tab. H.4: Zabudovaná energia stavebných materiálov (ak predpokladáme pôvodné, nie recyklované materiály). (Tesaný kameň je vyrobený z prírodnej skaly alebo kameňa, ktorý bol upravený do požadovaného tvaru či veľkosti): [3kmcks], Lawson (1996).



	Zabudovaná energia (kWh/m ²)
Steny	
stavebná doska, stavebná doska na prekladané pobíjanie, sadrokartón	52
stavebná doska, obklad z nepálenej tehly, sadrokartón	156
stavebná doska, hliníková doska na prekladané pobíjanie, sadrokartón	112
oceľová konštrukcia, obklad z nepálenej tehly, sadrokartón	168
dvojitá nepálená tehla, sadrokartón	252
cementová stabilizovaná lepenica	104
Podlahy	
zvýšená trámová podlaha	81
110 mm cementový koberec na podklade	179
200 mm prefabrikovaný cement	179
Strechy	
konštrukcia zo stavebného dreva, cementový oblak, sadrokartón	70
konštrukcia zo stavebného dreva, hnedočervený oblak, sadrokartón	75
konštrukcia zo stavebného dreva, oceľová stena, sadrokartón	92

Tab. H.5: Zabudovaná energia v rôznych stenách, podlahách a stropoch. Zdroj: [3kmcks], Lawson (1996).

	Plocha (m ²)	×	hustota energie (kWh/m ²)	=	energia (kWh)
Podlahy	100	×	81	=	8100
Strecha	75	×	75	=	5600
Vonkajšie steny	75	×	252	=	19000
Vnútorne steny	75	×	125	=	9400
Spolu					42000

Tab. H.6: Energia potrebná na postavenie trojizbového domu.

Poznámky a ďalšie čítanie

Strana číslo

320 *Ďalšia detailnejšia štúdia poverená spoločnosťou DEFRA odhaduje, že viazaný uhlík v importe je približne 6,2 ton CO₂e na osobu.* Wiedmann a kol. (2008).

Ďalšie zdroje: <http://www.greenbooklive.com> udáva informácie o sledovaní životného cyklu materiálov pre budovy.

Niektoré užitočné informácie o analýze životného cyklu:

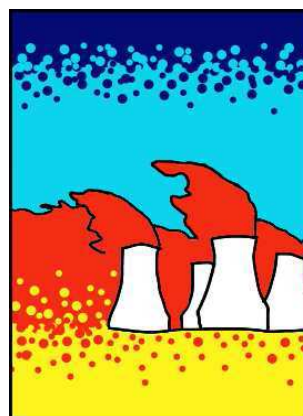
<http://www.gdrc.org/uem/lca/life-cycle.html>

Ďalšie linky: <http://www.epa.gov/ord/NRMRL/lcaccess/resources.htm>.



Čast' IV

Užitočné údaje



I Rýchle odkazy

Jednotky SI

Watt. Táto jednotka SI je pomenovaná podľa Jamesa Watta. Tak ako v prípade všetkých jednotiek SI, ktoré majú svoje meno podľa objaviteľa, prvé písmeno sa píše veľkým písmenom (W). Keď však jednotku vypisujeme celým menom, vždy tak robíme s prvým písmenom malým (watt), okrem jednej výnimky „stupňov Celzia.“

z wikipédie

SI je skratka pre Systéme Internationale (Medzinárodný systém). Jednotky SI by mali používať všetci inžinieri, aby sa vyhli haváriám.

Jednotky SI			predpona	kilo	mega	giga	tera	peta	exa
energia	jeden joule	1 J	symbol	k	M	G	T	P	E
výkon	jeden watt	1 W	faktor	10^3	10^6	10^9	10^{12}	10^{15}	10^{18}
silá	jeden newton	1 N							
dĺžka	jeden meter	1 m	predpona	centi	mili	mikro	nano	pico	femto
čas	jedna sekunda	1 s	symbol	c	m	μ	n	p	f
teplota	jeden kelvin	1 K	faktor	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}

Tabuľka I.1. Predpony a jednotky SI

Moje obľúbené jednotky energie, výkonu, a účinností v doprave

Moje obľúbené jednotky energie, v jednotkách SI			
energia	jedna kilowatt-hodina	1 kWh	3 600 000 J
výkon	jedna kilowatt-hodina za deň	1 kWh/d	$(1000/24) \text{ W} \approx 40 \text{ W}$
silá	jedna kilowatt-hodina na 100 km	1 kWh/100 km	36 N
čas	jedna hodina	1 h	3600 s
	jeden deň	1 d	$24 \times 3600 \text{ s} \approx 10^5 \text{ s}$
	jeden rok	1 r	$365.25 \times 24 \times 3600 \text{ s} \approx \pi \times 10^7 \text{ s}$
silá na hmotu	kilowatt-hodina na ton-kilometer	1 kWh/t-km	$3,6 \text{ m/s}^2 (\approx 0,37 \text{ g})$

Ďalšie jednotky a symboly

Veličina	názov jednotky	symbol	hodnota
ľudia	osoba	o	
hmotnosť	tona	t	1 t = 1000 kg
	gigatona	Gt	1 Gt = $10^9 \times 1000 \text{ kg} = 1 \text{ Pg}$
doprava	osobo-kilometer	o-km	
objem	liter	l	1 l = 0,001 m ³
plocha	kilometer štvorcový	km ²	1 km ² = 10 ⁶ m ²
	hektár	ha	1 ha = 10 ⁴ m ²
	Wales		1 Wales = 21 000 km ²
	Londýn (Väčší Londýn)		1 Londýn = 1580 km ²
energia	Dinorwig		1 Dinorwig = 9 GWh

Bilióny, milióny a ďalšie predpony

V tejto knihe „bilión“ (1 bn) znamená klasický americký bilión [tu preložené ako miliarda – pozn. prekl.], to znamená 10⁹, respektíve tisíc miliónov. Trilión je 10¹². Štandardná predpona, ktorá vyjadruje „bilión“ je „giga.“

V kontinentálnej Európe predpony Mio a Mrd znamenajú milión a bilión. Mrd je skratka pre miliardu, čo znamená 10⁹.

Skratka m sa často používa pre milión, ale nie je kompatibilná s jednotkami SI – ako napríklad mg (miligram). Takže pre milión skratku m nepoužívam. Tam, kde ju niektorí ľudia používajú, nahrádzam ju písmenom M. Napríklad používam Mtoe pre milión ton ropného ekvivalentu a Mt CO₂ pre milión ton CO₂.

Mätúce jednotky

Existuje celý rad bežne používaných jednotiek, ktoré znepríjemňujú život z mnohých príčin. Zistil som, čo niektoré z nich znamenajú. Zhrnul som ich, aby vám to uľahčilo čítanie správ z médií.

Domy

Jednotka „dom“ sa často používa pri opisovaní výkonu obnoviteľných zdrojov energie. Napríklad, „140 turbín veterného parku Whitlee za £300 miliónov vyrobí 322 MW – dostatok pre zásobovanie 200 000 domov.“ Výkon „domu“ je podľa Britskej asociácie pre veternú energiu **4700 kWh za rok** [www.bwea.com/ukwed/operational.asp]. To znamená 0,54 kW alebo **13 kWh za deň**. (Niekoľko ďalších organizácií používa hodnotu 4000 kWh/rok pre jednu domácnosť.)

Jednotka „dom“ ma otravuje, pretože sa obávam, že ľudia si to zamieňajú s celkovou spotrebou energie všetkých obyvateľov domu – ale tá je v skutočnosti až 24-krát vyššia. „Dom“ zahŕňa iba priemernú spotrebu

elektrickej energie domácnosti. Nezáhŕňa spotrebu energie na vykurovanie. Ani spotrebu v práci. Ani spotrebu v doprave. Ani spotrebu energeticky náročných zariadení, ktoré spoločnosť pre obyvateľov domu vyrába.

Mimochodom, keď sa hovorí o emisiách CO₂ „domu“, oficiálna hodnota sa zdá byť 4 tony CO₂ na dom za rok.

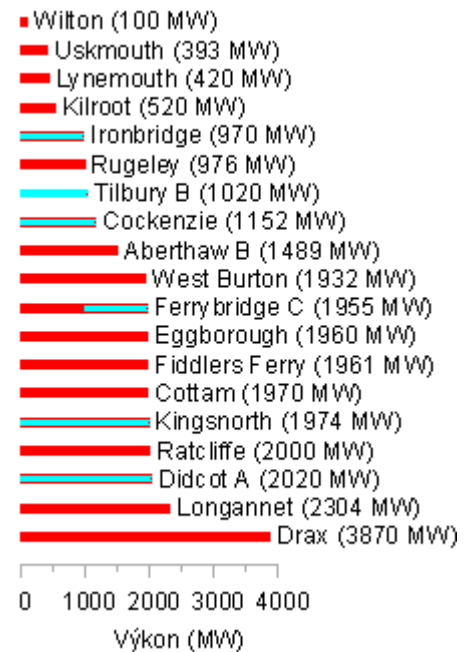
Elektrárne

Nápady, ako ušetriť energiu, sa často opisujú v jednotkách elektrární. Napríklad, podľa správy BBC, ak by sa vymenili všetky dopravné svetlá úspornými LED svetlami, „Úspory výkonu by boli obrovské – chod dopravných svetiel vo Veľkej Británii zabezpečuje ekvivalent dvoch stredne veľkých elektrární.“ news.bbc.co.uk/1/low/sci/tech/specials/sheffield_99/449368.stm.

Čo je to stredne veľká elektrárňa? 10 MW? 50 MW? 100 MW? 500 MW? Nemám potuchy. Podľa vyhľadávača Google by mohlo ísť o elektrárňu s výkonom 30 MW, podľa iných 250 MW, 500 MW (to je najčastejší údaj), a podľa niektorých 800 MW. Aká zbytočná jednotka!

Nepochybne by bolo užitočnejšie, ak by článok udával ušetrený výkon v percentách. „Chod dopravných svetiel vo Veľkej Británii vyžaduje 11 MW elektrickej energie, čo predstavuje 0,03 % z celkovej spotreby elektrickej energie.“ To by ukázalo, aké „obrovské“ sú úspory.

Obrázok I.2 znázorňuje výkony pre 19 uhoľných elektrární v Británii.



Obrázok I.2. Výkony uhoľných elektrární v Británii. Zvýraznil som modrou farbou inštalovaný výkon 8 GW, ktorý nebude do roku 2015 k dispozícii. Ak v Británii rovnomerne rozdelíme 2500 MW, predstavuje to 1 kWh za deň na osobu.

Počet áut, ktoré prestanú jazdiť po uliciach

Niektoré reklamy opisujú zníženie znečistenia CO₂ v zmysle „ekvivalentného počtu áut, ktoré prestanú jazdiť po uliciach.“ Napríklad Richard Branson hovorí, že ak by vlaky Virgin Train's Voyager prešli na palivo s obsahom 20 % bionafty – mimochodom, nazdá sa vám prehnane, nazývať vlak „vlakom na zelený bionaftový pohon“, ak stále jazdí z 80 % na fosílnu palivá, a iba z 20 % na bionaftu - ale to som odbočil. Takže, Richard Branson hovorí, že ak by vlaky Virgin Train's Voyager prešli na 20 % bionaftový pohon – zvýrazňujem to „ak“, pretože ľudia jeho typu radi získavajú pozornosť médií ohlasovaním toho, že *uvažujú* o dobrých veciach, ale niektoré z týchto vyhlasovaných plánov sa potichu zrušia, tak ako napríklad myšlienka ťahať lietadlá na letisku za sebou na lane, aby boli zelenšie – ospravedlňujem sa, zasa som odbočil. Richard Benson hovorí, že ak by vlaky Virgin Train's Voyager prešli na 20 % bionaftový pohon, klesli by emisie CO₂ o 34 500 ton za rok, čo predstavuje ekvivalent „23 000 áut na cestách“. Toto tvrdenie znamená, že:

„jedno auto na ceste“ ↔ -1.5 tony CO₂ za rok.

Kalórie

Jednotka kalórie je mäťuca, pretože komunita dietológov nazýva kilokalóriu Kalóriou. 1 takáto Kalória v jedle = 1000 kalórií.

2500 kcal = 3 kWh = 10 000 kJ = 10 MJ.

Barely

Mätúca jednotka, ktorú zbožňuje komunita ropných magnátov, spolu s tonami ropy. Prečo nemôžu používať iba jednu jednotku? Barel ropy je 6,1 GJ alebo 1700 kWh.

Barely sú dvojnásobne mätúce, pretože existuje niekoľko definícií pre barel, a každú z nich charakterizuje iný objem.

Tu je všetko, čo potrebujete vedieť o bareli ropy. Jeden barel je 42 amerických galónov, alebo 159 litrov. Jeden barel ropy je 0,1364 ton ropy. Jeden barel nespracovanej ropy má energetický obsah 5,75 GJ. Jeden barel ropy váži 136 kg. Jedna tona ropy je 7,33 barelov a 42,1 GJ. Miera znečisťovania ropy predstavuje 400 kg CO₂ na barel. www.chemlink.com.au/conversions.htm. To znamená, že ak je cena ropy 100 dolárov za barel, energia z ropy stojí 6 centov/kWh. Pri uhlíkovej dani 250 dolárov za tonu CO₂ z fosílnych palív, by zvýšila táto daň cenu barelu ropy o 100 dolárov.

Galóny

Galón by bola prijateľná jednotka, keby ju Američania nedefinovali inak, ako všetci ostatní. Tak ako to urobili s pintou a kvartom. Objemové jednotky v Amerike predstavujú približne 5/6 správnych objemov.

1 americký galón = 3,785 l = 0,83 britského galónu. 1 britský galón = 4,545 l.

Tony

Tony sú mätúce, pretože existujú krátke a dlhé tony, a metrické tony. Sú si také podobné, že sa neobťažujem ich rozlišovať. 1 krátka tona (2000 libier) = 907 kg; 1 dlhá tona (2240 libier) = 1016 kg; 1 metrická tona = 1000 kg.

BTU a kvady

Britské termálne jednotky sú mätúce, pretože nie sú súčasťou ani *Medzinárodného systému*, ani nemajú užitočnú veľkosť. Tak ako zbytočný joule, sú príliš malé, takže pred ne musíte pridávať bláznivé predpony, ako „kvadrilión“ (10¹⁵), aby sa s nimi dalo vhodne pracovať.

1 kJ je 0.947 BTU. 1 kWh je 3409 BTU.

„Kvad“ je 1 kvadrilión BTU = 293 TWh.

Zábavné jednotky**Pohár čaju**

Je takýto spôsob porovnávania so slnečnými panelmi nejaký užitočný? „Ak umiestnime 7000 fotovoltaiických panelov na miesto, očakáva sa, že každý rok vyrobí 180 000 jednotiek obnoviteľnej energie – dostatok energie na výrobu **deviatich miliónov pohárov čaju**.“ Takýto prepočet znamená, že 1 kWh je rovná 50 pohárom čaju.

V prípade objemovej jednotky 1 americký pohár (polovica americkej pinty) je oficiálne 0,24 l; ale pohár čaju alebo kávy je zvyčajne 0,18 l. Zvýšenie teploty pre 50 pohárov vody s objemom 0,18 l, z 15° na 100° C vyžaduje 1 kWh.

Takže „deväť miliónov pohárov čaju za rok“ je iný spôsob vyjadrenia pre „20 kW.“

Dvojposchodové autobusy, Albertove haly a štadióny Wembley

„Ak by si každý v Británii zabezpečil spárovanie dier v stenách, mohli by sme znížiť emisie skleníkových plynov o obrovských 7 miliónov ton. To je toľko CO₂, koľko naplní 40 miliónov dvojposchodových autobusov, alebo nový štadión Wembley 900-krát!“

Z toho sa naučíme jednu užitočnú skutočnosť, a to že Wembley má objem 44 000 dvojposchodových autobusov. Objem štadiónu Wembley je 1 140 000 m³.

„Ak by každá domácnosť nainštalovala čo len jednu úspornú žiarivku, ušetrilo by sa toľko CO₂, že by sme s ním naplnili Kráľovskú Albertovu halu 1 980-krát!“ (Albertova hala má objem 100 000 m³).

Ak vyjadrujeme množstvo CO₂ v objeme, radšej ako v hmotnosti, ide o vynikajúci spôsob, ako zvýrazníme jeho veľkosť. Ak znie „1 kg CO₂ za deň“ príliš málo, stačí povedať „200 000 litrov CO₂ za rok“!

Ďalšie objemy

Kontajner je 2,4 m široký, 2,6 m vysoký a (6.1 alebo 12.2) metrov dlhý (pre TEU, respektíve FEU).

Jeden TEU má veľkosť malého 20-stopového kontajnera – vnútorný objem približne 33 m³. Väčšina kontajnerov, ktoré dnes vidíte sú 40-stopové kontajnery s veľkosťou 2 TEU. 40-stopový kontajner váži 4 tony a dokáže odnieť 26 ton nákladu; jeho objem je 67,5 m³.

Bazén má objem približne 3000 m³.

Jeden poschodový autobus má objem 100 m³.

Jeden vzdušný balón má objem 2500 m³.

Veľká pyramída v Gize má objem 2 500 000 m³.

Rozlohy

Rozloha povrchu Zeme je 500 × 10⁶ km²; rozloha kontinentov je 150 × 10⁶ km².

Môj typický 3-izbový dom má rozlohu 88 m². V USA, je priemerná rozloha rodinného domu 2330 štvorcových stôp (216 m²).

Výkony

Ak pridáme príponu „e“ k výkonu, znamená to, že hovoríme vyslovene o elektrickom výkone. Takže, napríklad výkon elektrárne môže byť 1 GW(e), zatiaľ čo využíva chemickú energiu o výkone 2,5 GW. Podobne

hmotnosť CO ₂	↔	objem
2 kg CO ₂	↔	1 m ³
1 kg CO ₂	↔	500 litrov
44 g CO ₂	↔	22 litrov
2 g CO ₂	↔	1 liter

Tabuľka I.3. Premeny objemu na hmotnosť.

1 stopa ≈ 30 cm – pozn. prekl.



Obrázok I. 4. 20-stopový kontajner (1 TEU).

hektár	= 10 ⁴ m ²
aker	= 4050 m ²
štvorcová míľa	= 2,6 km ²
štvorcová stopa	= 0,0093 m ²
štvorcový yard	= 0,84 m ²

Tabuľka I. 5. Rozlohy.

Spôsob využitia krajiny	rozloha na osobu (m ²)	percentá
- budovy domácností	30	1,1
- záhrady domácností	114	4,3
- ostatné budovy	18	0,66
- cesty	60	2,2
- železnice	3,6	0,13
- chodníky	2,9	0,11
- zelené plochy	2335	87,5
- voda	69	2,6
- iné využitie	37	1,4
Spolu	2670	100

Tabuľka I. 6. Rozlohy krajiny v Anglicku, využité pre rôzne účely. Zdroj: Generalized Land Use Database Statistics pre Anglicko 2005. [3b7zdf].

1000 BTU za hodinu	=	0,3 kW	=	7 kWh/d
1 konská sila (1 hp alebo 1 cv alebo 1 ps)	=	0,75 kW	=	18 kWh/d
		1 kW	=	24 kWh/d
1 therm	=	29,31 kWh		
1000 Btu	=	0,2931 kWh		
1 MJ	=	0,2778 kWh		
1GJ	=	277,8 kWh		
1 toe (tona ropného ekvivalentu)	=	11 630 kWh		
1 kcal	=	$1,163 \times 10^{-3}$ kWh		
1 kWh	=	0,03412 therm	3412 Btu	3,6 MJ
				86×10^{-6} toe
				859,7 kcal

Box I. 7. Ako sa vzťahujú iné jednotky energie a výkonu ku kilowatthodine a kilowatthodine za deň.

tak, pridanie prípony „th“ naznačuje, že máme na mysli množstvo tepelnej energie. Tie isté prípony je možné pridať k celkovému množstvu energie. „Môj dom spotrebuje 2 kWh(e) elektrickej energie za deň.“

Ak pridáme príponu „p“ k výkonu, naznačuje to „maximálny“ inštalovaný výkon, alebo kapacitu. Napríklad, 10 m² panelov by mohlo mať výkon 1 kWp.

1 kWh/d = 1/24 kW.

1 toe/rok = 1,33 kW.

Benzín na pumpe čerpáme rýchlosťou asi pol litra za sekundu. Takže to je 5 kWh za sekundu, alebo 18 MW.

Výkon závodného auta Formule 1 je 560 kW.

Spotreba elektriny v Británii je 17 kWh za deň na osobu, alebo 42,5 GW pre celú krajinu.

„Jedna tona“ klimatizácie = 3,5 kW.

Celosvetová spotreba energie

Celková spotreba energie na svete je 15 TW. Z toho svetová spotreba elektrickej energie je 2 TW.

Užitočné konverzné faktory

Na premenu TWh za rok na GW, vydeľte 9.

1 kWh/d na osobu je rovnaké množstvo ako 2,5 GW pre Britániu, alebo 22 TWh/rok pre Britániu.

Na premenu mpg (míľ na britský galón) na km na liter, vydeľte 3.

Pri izbovej teplote, $1 kT = 1/40 eV$.

Pri izbovej teplote, $1 kT$ na molekulu = 2,5 kJ/mól.

Záznamy meračov

Ako premeniť čísla na vašich meračoch plynu na kilowatthodiny:

- Ak merač ukazuje v **100-kách kubických stôp**, číslo vynásobte **32,32** a získate hodnotu v kWh.
- Ak merač ukazuje v kubických metroch, číslo vynásobte **11,42** a získate hodnotu v kWh.

Kalorické hodnoty palív

Ropa: 37 MJ/l; 10,3 kWh/l.

Zemný plyn: 38 MJ/m³. (Metán má hustotu 1,819 kg/m³.)

1 tona uhlia: 29,3 GJ; 8000 kWh.

Energia zlúčenia obyčajnej vody: 1800 kWh na liter.

Pozri aj tabuľku 26.14, na strane 199, a tabuľku D.3, na strane 284.

Tepelné kapacity

Tepelná kapacita vzduchu je 1 kJ/kg/°C, alebo 29 J/mol/°C. Hustota vzduchu je 1,2 kg/m³. Takže tepelná kapacita vzduchu na jednotku objemu je 1,2 kJ/m³/°C.

Latentné teplo vyparovania vody: 2257,92 kJ/kg. Tepelná kapacita vodnej pary: 1,87 kJ/kg/°C. Tepelná kapacita vody je 4,2 kJ/l/°C.

Hustota vodnej pary je 0,590 kg/m³.

Tlak

Tlak atmosféry je: 1 bar $\approx 10^5$ Pa (pascalov). Tlak v hĺbke 1000 m vody: 100 barov. Tlak v hĺbke 3000 m vody: 300 barov.

	kWh/t-km
voda vo vnútrozemí	0,083
koľajnice	0,083
kamióny	0,75
vzduch	2,8
ropovod	0,056
plynovod	0,47
mzn. kontajner s vodou	0,056
mzn. nebalená voda	0,056
mzn. tanker s vodou	0,028

Tabuľka I. 8. Energetická intenzita jednotlivých spôsobov dopravy v USA. Zdroj: Weber a Matthews (2008). (mzn. = medzinárodný)

Peniaze

Pri prepočítavaní mien som predpokladal nasledovné výmenné kurzy: 1 € = 1,26 \$; 1 £ = 1,85 \$; 1 \$ = 1,12 \$ kanadského doláru. Tieto kurzy platili pre rok 2006.

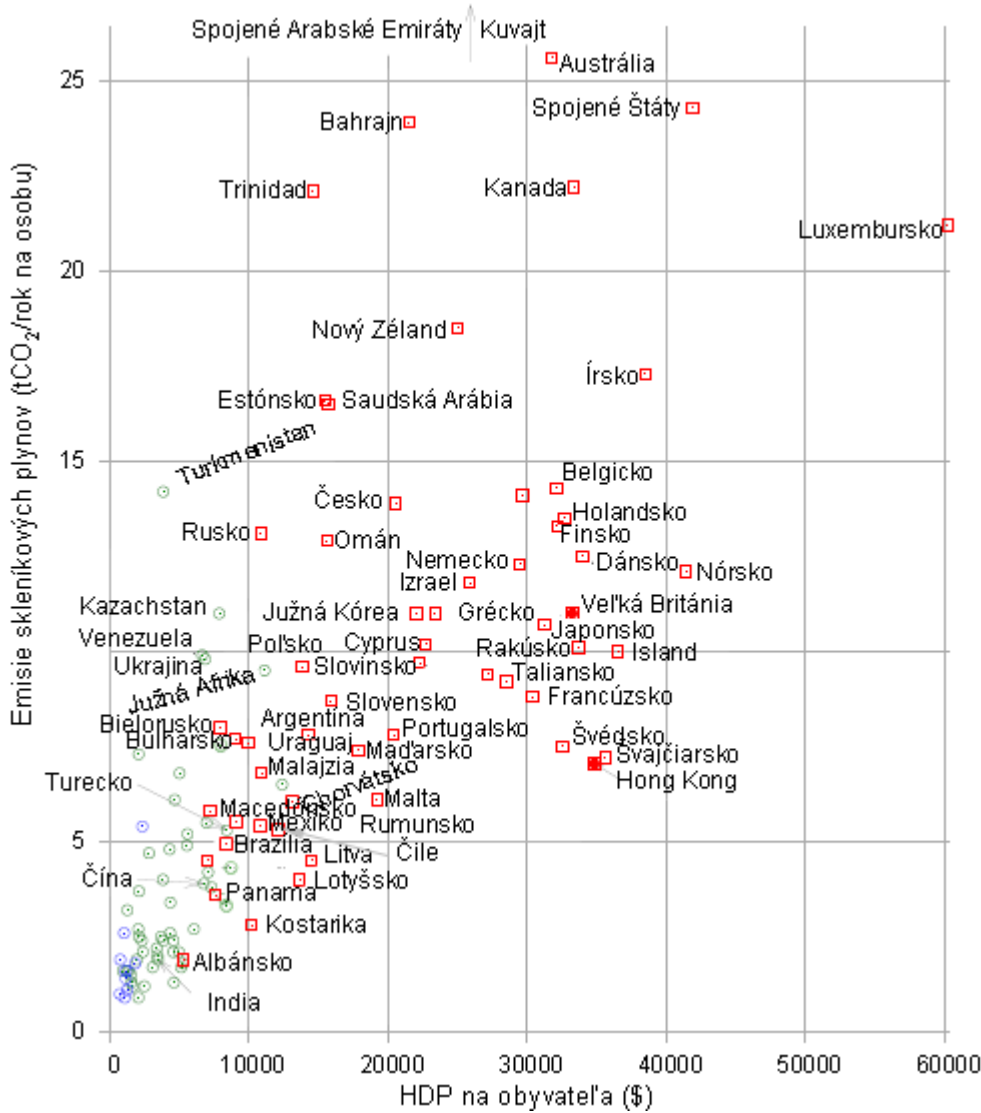
Konverzné faktory skleníkových plynov

Francúzsko	83
Švédsko	87
Kanada	220
Rakúsko	250
Belgicko	335
Európska Únia	353
Fínsko	399
Španielsko	408
Japonsko	483
Portugalsko	525
Veľká Británia	580
Luxembursko	590
Nemecko	601
USA	613
Taliansko	667
Írsko	784
Grécko	864
Dánsko	881

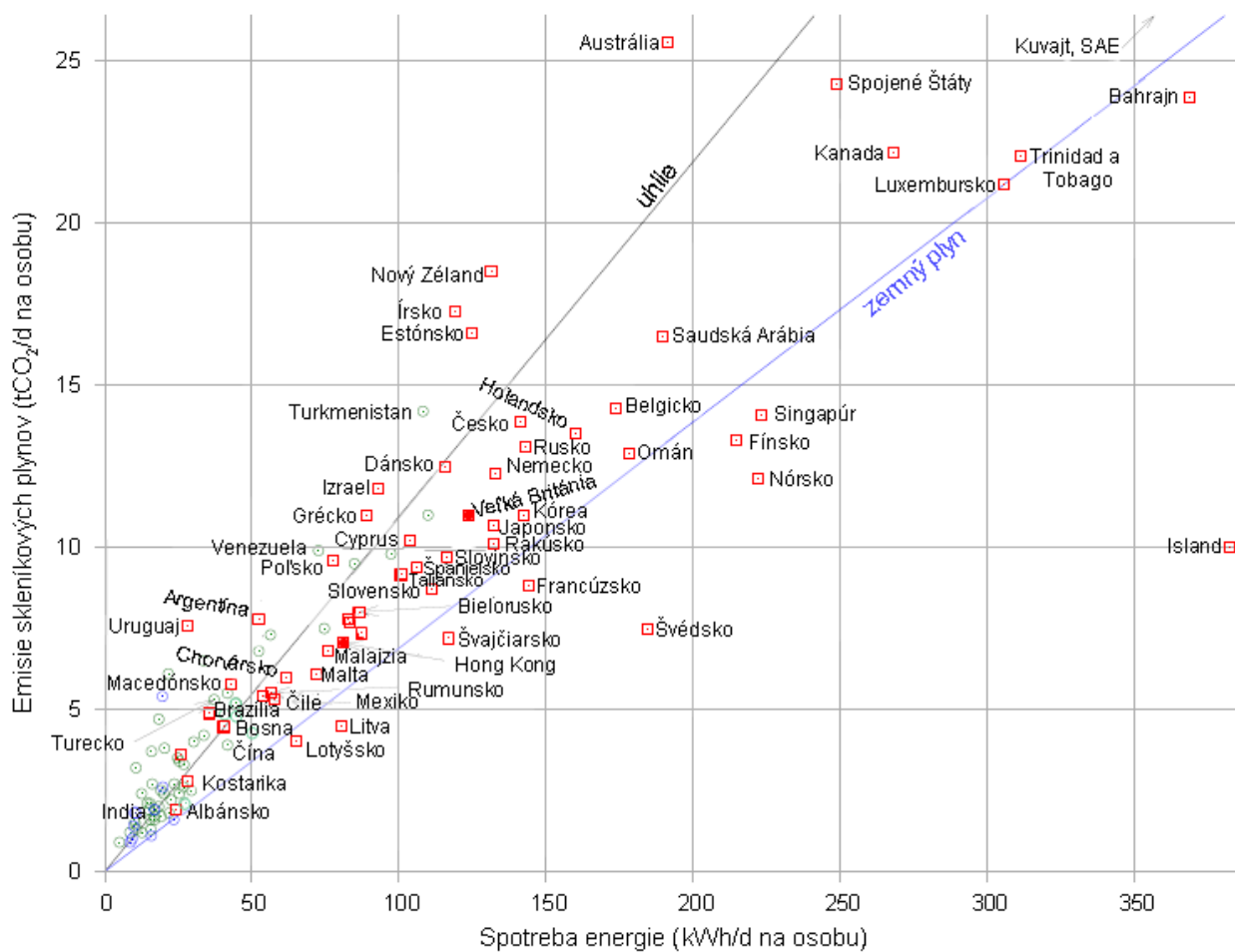
Tabuľka I. 9. Uhlíková intenzita výroby elektriny (gCO₂ na kWh elektriny).

Druh paliva	emisie (g CO ₂ na kWh chemickej energie)
zemný plyn	190
rafinovaný plyn	200
etán	200
LPG	210
letecký benzín (kerozén)	240
benzín	240
plyn/diesel	250
ťažký topný olej	260
nafta	260
koks	300
uhlie	300
benzínový koks	340

Tabuľka I. 10. Emisie spojené so spaľovaním paliva.
Zdroj: DEFRA Environmental Reporting Guidelines for Company Reporting on Greenhouse Gas Emissions.



Obrázok I. 11. Emisie skleníkových plynov na obyvateľa, vo vzťahu k HDP na obyvateľa, v parite kúpnej sily v amerických dolároch. Štvorce ukazujú krajiny s „vysokým indexom ľudského rozvoja;“ kruhy „so stredným“ alebo „s nízkym“ indexom rozvoja. Pozri aj obrázky 30.1 (strana 231) a 18.4 (strana 105). Zdroj: Správa ľudského rozvoja UNDP, 2007. [3av4s9]



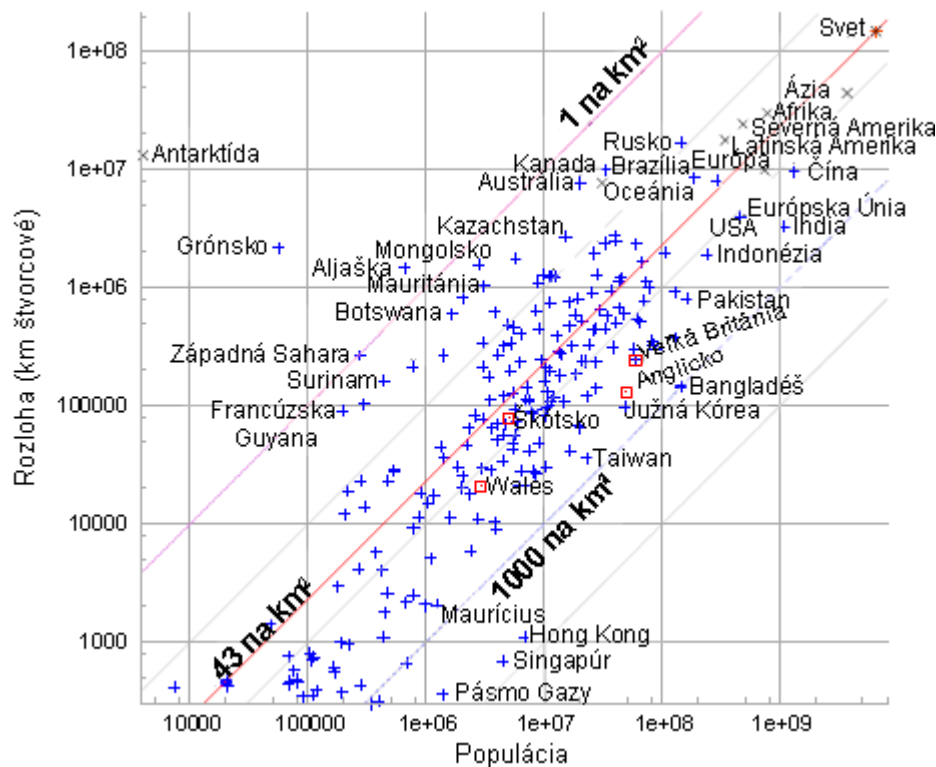
Obrázok I.12. Emisie skleníkových plynov na osobu vo vzťahu ku spotrebe výkonu na osobu. Čiary ukazujú emisné intenzity uhlia a zemného plynu. Štvorce ukazujú krajiny s „vysokým indexom ľudského rozvoja;“ kruhy „so stredným“ alebo „s nízkym“. Pozri aj obrázky 30.1 (strana 231) a 18.4 (strana 105). Zdroj: Správa ľudského rozvoja UNDP, 2007. [3av4s9].

J Populácie a rozlohy

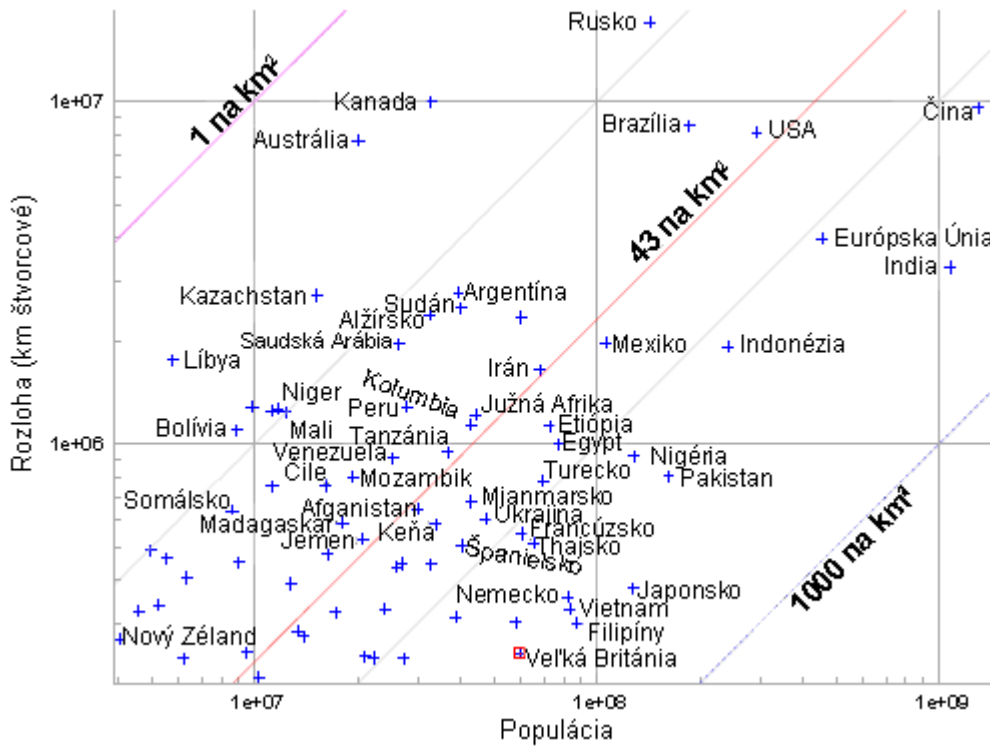
Populačné hustoty

Obrázok J.1 ukazuje oblasti rozličných regiónov vo vzťahu k populáciám. Diagonálne čiary na tomto diagrame sú čiary s konštantnej populačnej hustoty. Bangladéš na pravej krajnej čiare má hustotu populácie 1000 na štvorcový kilometer; India, Anglicko, Holandsko a Japonsko majú oproti tomu tretinové populačné hustoty: približne 350 na km^2 . Mnoho európskych krajín má hustotu približne 100 na km^2 . [Slovensko má 110 – pozn. prekl.] Extrém na druhej strane predstavuje Kanada, Austrália a Líbya, s hustotou populácie približne 3 ľudia na km^2 . Stredná čiara vyznačuje hustotu populácie celého sveta: 43 ľudí na kilometer štvorcový. Z tohto pohľadu je USA priemerná krajina: jej 48 štátov má rovnakú hustotu obyvateľstva ako celý svet. Regióny, ktoré majú pomerne veľké rozlohy, a ich hustoty sú pod svetovým priemerom, zahŕňajú Rusko, Kanadu, Latinskú Ameriku, Sudán, Alžírsko, Saudskú Arábiu.

Z týchto veľkých a rozľahlých krajín sú niektoré pomerne blízko Británie, a preto by sme k nim mali byť priateľskí; ide o Kazachstan, Líbyu, Saudskú Arábiu, Alžírsko a Sudán.



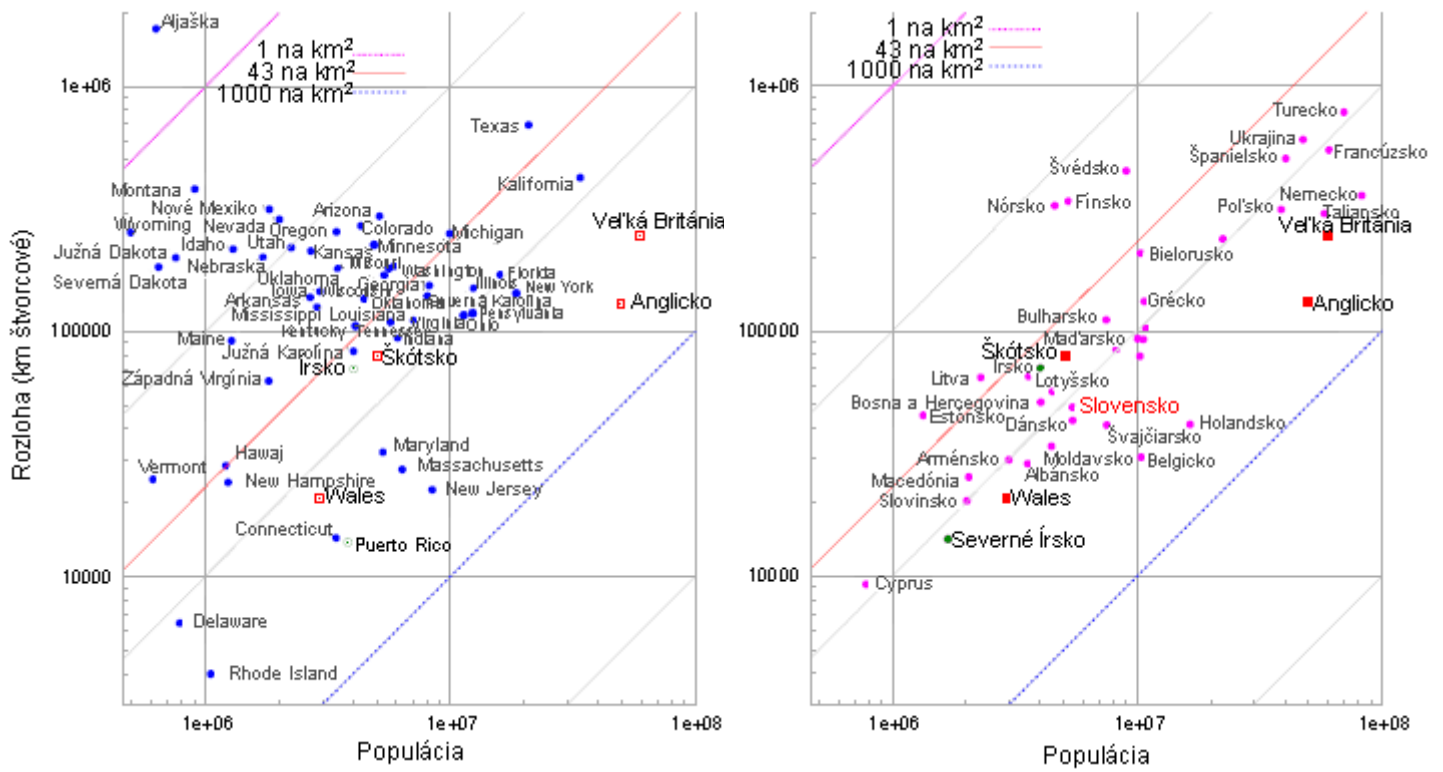
Obrázok J. 1. Populácie a rozlohy krajín a regiónov sveta. Obe mierky sú logaritmické. Všetky šikmé čiary ukazujú rovnaké hustoty populácií; krajiny s najvyššou populačnou hustotou sú vpravo dole, a tie s nižšou populačnou hustotou sú vľavo hore. Údaje sú zhrnuté v tabuľke na strane 341.



Obrázok J. 2. Populácie a rozlohy krajín a regiónov sveta. Obe mierky sú logaritmické. Šikmé čiary ukazujú rovnaké hustoty populácií. Toto je detail obrázku na predošlej strane. Údaje sú zhrnuté v tabuľke na

Región	Populácia	Rozloha (km ²)	Ľudí na (km ²)	Rozloha na osobu (m ²)
Svet	6 440 000 000	148 000 000	43	23 100
Ázia	3 670 000 000	44 500 000	82	12 100
Afrika	778 000 000	30 000 000	26	38 600
Európa	732 000 000	9 930 000	74	13 500
Severná Amerika	483 000 000	24 200 000	20	50 200
Latinská Amerika	342 000 000	17 800 000	19	52 100
Oceánia	31 000 000	7 680 000	4	247 000
Antarktída	4 000	13 200 000		

Obrázok J. 3. Hustoty populácií kontinentov. Tieto údaje sú graficky znázornené na obrázkoch J.1 a J.2. Údaje sú z roku 2005.



Obrázok J. 4. Populácie a rozlohy štátov v USA a oblastiach Európy.

Región	Populácia	Rozloha (km ²)	Ľudí na km ²	Plocha na osobu (m ²)	Región	Populácia	Rozloha (km ²)	Ľudí na km ²	Plocha na osobu (m ²)
Afganistan	29 900 000	657 000	46	21 600	Lotyšsko	3 590 000	65 200	55	18 100
Afrika	778 000 000	30 000 000	26	38 600	Macedónsko	2 040 000	25 300	81	12 300
Aljaška	655 000	1 480 000	0,44	2 260 000	Madagaskar	18 000 000	587 000	31	32 500
Albánsko	3 560 000	28 700	123	8 060	Maďarsko	10 000 000	93 000	107	9 290
Alžírsko	32 500 000	2 380 000	14	73 200	Mali	12 200 000	1 240 000	10	100 000
Anglicko	49 600 000	1 240 000	9	111 000	Malta	398 000	316	1	792
Angola	11 100 000	13 200 000			Mauretánia	3 080 000	1 030 000	3	333 000
Antarktída	4 000	2 760 000	14	69 900	Mexiko	106 000 000	1 970 000	54	18 500
Argentína	39 500 000	44 500 000	82	12 100	Moldavsko	4 450 000	33 800	131	7 590
Austrália	20 000 000	7 680 000	2,6	382 000	Mongolsko	2 790 000	1 560 000	1,8	560 000
Ázia	3 670 000 000	83 000	82	12 100	Mozambik	19 400 000	801 000	24	41 300
Bangladéš	144 000 000	144 000	1 000	997	Myanmar	42 900 000	678 000	63	15 800
Bielorusko	10 300 000	207 000	50	20 100	Namíbia	2 030 000	825 000	2,5	406 000
Belgicko	10 000	31 000	340	2 945	Niger	11 600 000	1 260 000	9	108 000
Bolívia	8 850 000	1 090 000	8	124 000	Nigéria	128 000 000	923 000	139	7 170
Bosna a Herz.	4 020 000	51 100	79	12 700	Nový Zéland	4 030 000	268 000	15	50 200
Botswana	1 640 000	600 000	2,7	366 000	Nemecko	82 400 000	357 000	230	4 330
Brazília	186 000 000	8 510 000	22	45 700	Nórsko	4 593 000	324 000	14	71 000
Bulharsko	7 450 000	110 000	67	14 800	Oceánia	31 000 000	7 680 000	4	247 000
Čad	9 820 000	1 280 000	8	130 000	Pakistan	162 000 000	803 000	202	4 940
Čína	1 300 000 000	9 590 000	136	7 340	Peru	27 900 000	1 280 000	22	46 000
Chile	16 100 000	756 000	21	46 900	Poľsko	39 000 000	313 000	124	8 000
Chorvátsko	4 490 000	56 500	80	12 500	Portugalsko	10 500 000	92 300	114	8 740
Česko	10 200 000	78 800	129	7 700	Rakúsko	8 180 000	83 800	98	10 200
DRC	60 000 000	2 340 000	26	39 000	Rumunsko	22 300 000	237 000	94	10 600
Dánsko	5 430 000	43 000	126	7 930	Rusko	143 000 000	17 000 000	8	119 000
Egypt	77 500 000	1 000 000	77	12 900	SAR	3 790 000	622 000	6	163 000
Estónsko	1 330 000	45 200	29	33 900	Saudská Arábia	26 400 000	1 960 000	13	74 200
Etiópia	73 000 000	1 120 000	65	15 400	Sev. Amerika	483 000 000	24 200 000	20	66 500
Európa	732 000 000	9 930 000	74	13 500	Singapore	4 420 000	693 6	6	156
ÉU	496 000 000	4 330 000	115	8 720	Slovensko	5 430 000	48 800	111	8 990
Filipíny	87 800 000	300 000	292	3 410	Slovinsko	2 010 000	20 200	99	10 000
Fínsko	5 220 000	338 000	15	64 700	Somálsko	8 590 000	637 000	13	74 200
Francúzsko	60 600 000	547 000	110	9 010	Svet	6 440 000 000	148 000 000	43	23 100
Gaza	1 370 000	360	3 820	261	Španielsko	40 300 000	504 000	80	12 500
Grécko	10 600 000	131 000	81	12 300	Srb. a Čier. H.	10 800 000	102 000	105	9 450
Grónsko	56 300	2 160 000	0,026	38 400 000	Sudán	40 100 000	2 500 000	16	62 300
Holandsko	16 400 000	41 500	395	2 530	Surinam	438 000	163 000	2,7	372 000
Hong Kong	6 890 000	1 090	6 310	310 158	Škótsko	7 480 000	78 700	64	15 500
Island	296 000	103 000	2,9	347 000	Švajčiarsko	5 050 000	41 200	181	5 510
India	1 080 000 000	3 280 000	328	3 040	Švédsko	9 000 000	449 000	20	49 900
Indonézia	241 000 000	1 910 000	126	7 930	Taiwan	22 800 000	35 900	35 900	1 570
Irán	68 000 000	1 640 000	41	24 200	Taliano	58 100 000	301 000	192	5 180
Írsko	4 010 000	70 200	57	17 500	Tanzánia	36 700 000	945 000	39	25 700
Japonsko	127 000 000	377 000	337	2 9607	Thajsko	65 400 000	514 000	127	7 850
Jemen	20 700 000	527 000	39	25 400	Turecko	69 600 000	780 000	89	11 200
Južná Afrika	44 300 000	1 210 000	36	27 500	Ukrajina	47 400 000	603 000	78	12 700
Južná Kórea	48 400 000	98 400	491	2 030	Veľká Británia	59 500 000	244 000	243	4 110
Kanada	32 800	9 980 000	3,3	304 000	Venezuela	25 300 000	912 000	28	35 900
Kazachstan	15 100 000	2 710 000	6	178 000	Vietnam	83 500 000	329 000	253	3 940
Keňa	33 800 000	582 000	58	17 200	USA	295 000 000	8 150 000	36	27 600
Kolumbia	42 900 000	1 130 000	38	26 500	Wales	2 910 000	20 700	140	7 110
Latin. Amerika	342 000 000	17 800 000	19	52 100	Zambia	11 200 000	752 000	15	66 800
Litva	2 290 000	64 500	35	28 200	Záp. Sahara	273 000	266 000	1	974 000
Líbya	5 670 000	1 750 000	3,3	303 000					

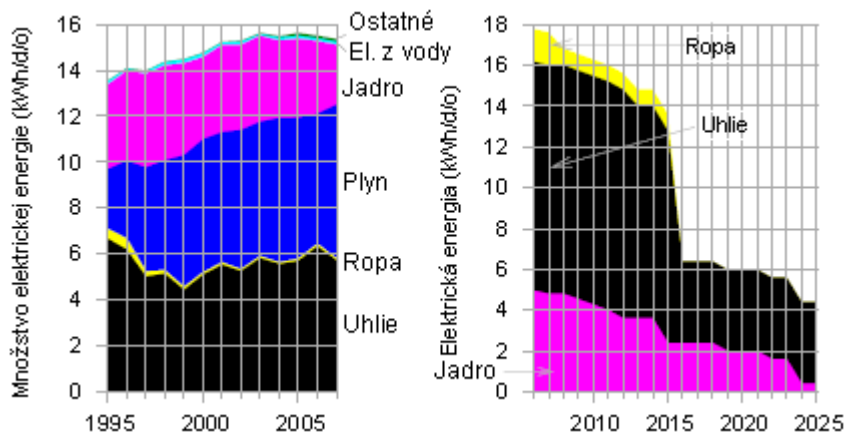
Tabuľka J. 5. Jednotlivé regióny a ich hustoty populácie. Populácie nad 50 miliónov a rozlohy väčšie ako 5 miliónov km² sú zvýraznené. Tieto údaje sú graficky znázornené na obrázku J.1 (strana 338). Údaje sú z roku 2005.

*poznámka – SAR – Stredoafrická Republika

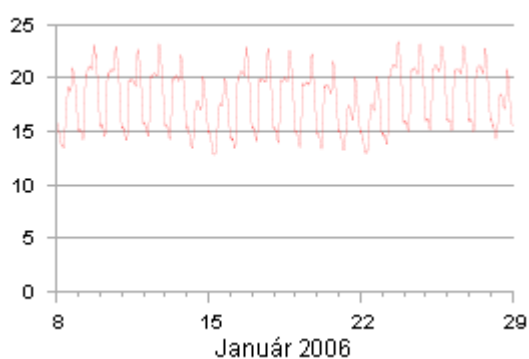
K História energie Veľkej Británie

Primárne palivo	kWh/d/o	kWh(e)/d/o
Ropa	43	
Zemný plyn	47	
Uhlie	20	
Jadro	9	→ 3,4
Voda		0,2
Ostatné obn. zdroje		0,8

Tabuľka K. 1. Primárne zdroje energie vo Veľkej Británii (2005-2006).



Tabuľka K. 2. Vľavo: Celková výroba elektrickej energie vo Veľkej Británii, podľa jednotlivých zdrojov, v kWh za deň na osobu. (Ďalších 0,9 kWh/d/o spotrebujú samotné generátory.) Vpravo: Nedostatok elektrickej energie, ktorý spôsobí zatvorenie britských elektrární, podľa predpovedí EDF. Tento graf ukazuje predpokladaný výkon jadrových, uhoľných a ropných elektrární, v kWh za deň na osobu. Elektrická energia je maximálne vyrobené množstvo výkonu v elektrárni.



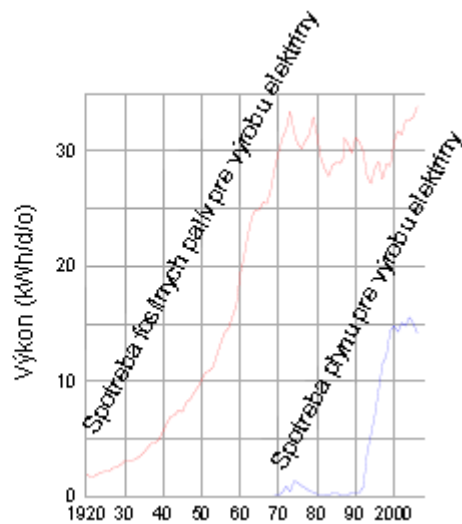
Tabuľka K. 3. Spotreba elektriny vo Veľkej Británii (v kWh/d na osobu) v priebehu dvoch týždňov počas zimy roku 2006. Maximá v januári sú o 18:00 každý deň. (Ak chcete údaje pre celú krajinu v GW, tak 24 kWh/d na osobu je to isté ako 60 GW pre Britániu.)

	2006	2007
„Primárne jednotky“ (prvé 2 kWh/d)	10,73 p/kWh	17,43 p/kWh
„Sekundárne jednotky“ (zvyšok)	9,13 p/kWh	9,70 p/kWh

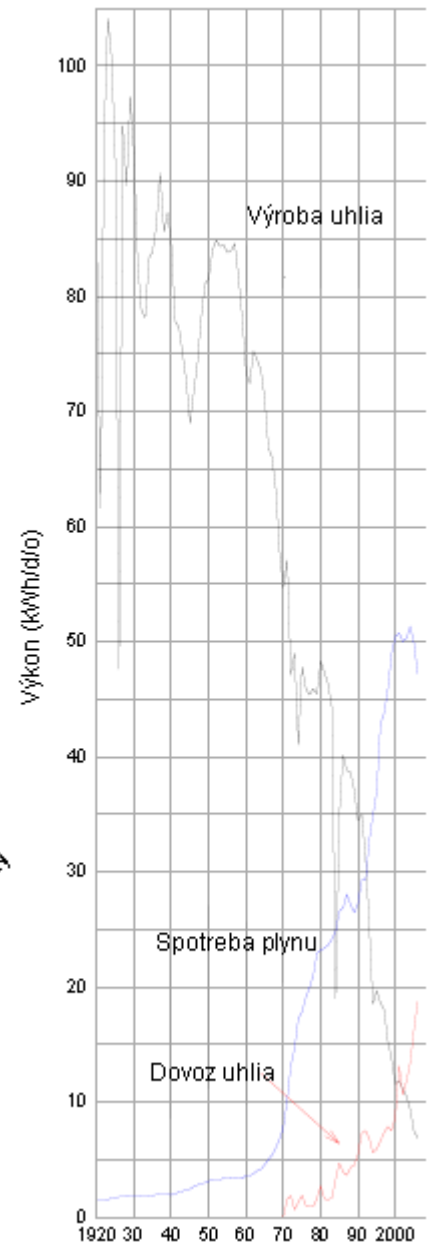
Tabuľka K. 4. Ceny domácej elektriny (2006, 2007) pre zákazníkov PowerGenu v Cambridge, vrátane dane (p = penice).



Tabuľka K. 5. História výroby celkovej elektriny, elektriny z vody a elektriny z jadra v Británii. Výkony sú vyjadrené „na osobu“, vydelením každého výkonu 60 miliónmi.



Tabuľka K. 6. História spotreby fosílnych palív pre výrobu elektriny. Výkony sú vyjadrené „na osobu“, vydelením každého výkonu 60 miliónmi.



Tabuľka K. 7. História ťažby a dovozu uhlia a spotreba zemného plynu v Británii. Výkony sú vyjadrené „na osobu“, vydelením každého výkonu 60 miliónmi.

Zoznam internetových odkazov

Táto časť obsahuje zoznam celých odkazov, ktoré zodpovedajú tiny URLs, ktoré sa spomínajú v texte knihy. Každý odkaz začína číslom strany, na ktorom sa spomína tiny URL. Pozri aj <http://tinyurl.com/yh8xse> (alebo www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/book/tex/cft.url.html) pre možnosť priamo kliknúť na odkazy.

Ak nájdete nejaký URL odkaz, ktorý už nefunguje, môžete nájsť túto stránku v internetovom archíve Wayback Machine [f754].

str tinyURL celý internetový odkaz.

18	ydoobr	www.bbc.co.uk/radio4/news/anyquestions_transcripts_20060127.shtml
18	2jhve6	www.ft.com/cms/s/0/48e334ce-f355-11db-9845-000b5df10621.html
19	25e59w	news.bbc.co.uk/1/low/uk_politics/7135299.stm
19	5o7mxk	www.guardian.co.uk/environment/2007/dec/10/politics
19	5c4olc	www.foe.co.uk/resource/press_releases/green_solutions_undermined_10012008.html
19	2fztd3	www.jalopnik.com/cars/alternative-energy/now-thats-some-high-quality-h2o-car-runs-on-water-177788.php
19	26e8z	news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/3381425.stm
19	ykhayj	politics.guardian.co.uk/terrorism/story/0,,1752937,00.html
20	l6y5g	www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/fig3-1.htm
20	5qfkaw	www.nap.edu/catalog.php?record_id=12181
21	2z2xg7	assets.panda.org/downloads/2_vs_3_degree_impacts_1oct06_1.pdf
21	yyxq2m	www.bp.com/genericsection.do?categoryId=93&contentId=2014442
21	dzcqq	www.defra.gov.uk/environment/climatechange/internat/pdf/avoid-dangercc.pdf
21	y98ys5	news.bbc.co.uk/1/hi/business/4933190.stm
30	5647rh	www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/tsgb/
31	27jdc5	www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/energyenvironment/tsgb-chapter3energyandtheenvi1863
31	28abpm	corporate.honda.com/environmentology/
31	nmn4l	www.simetric.co.uk/si_liquids.htm
31	2hcgdh	cta.ornl.gov/data/appendix_b.shtml
34	vxhhj	www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/weather/
34	tdvml	www.phy.hw.ac.uk/resrev/aws/awsarc.htm
36	3fbufz	www.ipcc.ch/ipccreports/sres/aviation/004.htm
36	3asmgy	news.independent.co.uk/uk/transport/article324294.ece
36	9ehws	www.boeing.com/commercial/747family/technical.html
36	3exmgv	www.ryanair.com/site/EN/about.php?page=About&sec=environment
36	yrmum	www.grida.no/climate/ipcc/aviation/124.htm
37	36w5gz	www.rolls-royce.com/community/downloads/environment04/products/air.html
44	2rqloc	www.metoffice.gov.uk/climate/uk/location/scotland/index.html
44	2szckw	www.metoffice.gov.uk/climate/uk/stationdata/cambridgedata.txt
45	5hrxls	eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?+s01
45	6z9epq	www.solarcentury.com/knowledge_base/images/solar_pv_orientation_diagram
47	2tl7t6	www.reuk.co.uk/40-Percent-Efficiency-PV-Solar-Panels.htm
47	6hobq2	www.azonano.com/news.asp?newsID=4546

- 47 2lsx6t www.udel.edu/PR/UDaily/2008/jul/solar072307.html
- 47 62ccou www.nrel.gov/news/press/2008/625.html
- 48 5hzs5y www.ens-newswire.com/ens/dec2007/2007-12-26-093.asp
- 48 39z5m5 news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/6505221.stm
- 48 2uk8q8 www.powerlight.com/about/press2006_page.php?id=59
- 48 2ahecp [www.aps.org/meetings/multimedia/upload/The Status and Outlook for the Photovoltaics Industry David E Carrlson.pdf](http://www.aps.org/meetings/multimedia/upload/The%20Status%20and%20Outlook%20for%20the%20Photovoltaics%20Industry%20David%20E%20Carrlson.pdf)
- 48 6kq77 www.defra.gov.uk/erdp/pdfs/ecs/miscanthus-guide.pdf
- 58 ynzej www.aceee.org/conf/06modeling/azevado.pdf
- 64 wbd8o www.ref.org.uk/energydata.php
- 66 25e59w news.bbc.co.uk/1/low/uk_politics/7135299.stm
- 66 2t2vjq www.guardian.co.uk/environment/2007/dec/11/windpower.renewableenergy
- 66 57984r www.businessgreen.com/business-green/news/2205496/critics-question-government
- 66 6oc3ja www.independent.co.uk/environment/green-living/donnachadh-mccarthy-my-carbonfree-year-767115.html
- 66 5soql2 www.housebuildersupdate.co.uk/2006/12/eco-bollocks-award-windsave-ws1000.html
- 66 6g2jm5 www.carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/small-wind
- 79 5h69fm www.thepoultrysite.com/articles/894/economic-approach-to-broiler-production
- 80 5pwjop www.fertilizer.org/ifa/statistics/STATSIND/pkann.asp
- 80 5bj8k3 [www.walkerscarbonfootprint.co.uk/walkers carbon footprint.html](http://www.walkerscarbonfootprint.co.uk/walkers_carbon_footprint.html)
- 80 3s576h www.permatopia.com/transportation.html
- 87 6xrm5q www.edf.fr/html/en/decouvertes/voyage/usine/retour-usine.html
- 94 yx7zm4 www.cancentral.com/funFacts.cfm
- 94 r22oz www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/energy-cost/NS6Chart.html
- 94 yhrest www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/106.pdf
- 94 y5as53 [www.aluminum.org/Content/NavigationMenu/The Industry/Government Policy/Energy/Energy.htm](http://www.aluminum.org/Content/NavigationMenu/The%20Industry/Government%20Policy/Energy/Energy.htm)
- 94 y2ktgg [www.ssab.com/templates/Ordinary 573.aspx](http://www.ssab.com/templates/Ordinary_573.aspx)
- 95 6lbrab www.lindenau-shipyard.de/pages/newsb.html
- 95 5ctx4k [www.wilhelmsen.com/SiteCollectionDocuments/WW Miljorapport engelsk.pdf](http://www.wilhelmsen.com/SiteCollectionDocuments/WW_Miljorapport_engelsk.pdf)
- 95 yqbz13 [www.normanbaker.org.uk/downloads/Supermarkets Report Final Version.doc](http://www.normanbaker.org.uk/downloads/Supermarkets_Report_Final_Version.doc)
- 102 yttg7p [budget2007.treasury.gov.uk/page 09.htm](http://budget2007.treasury.gov.uk/page_09.htm)
- 102 fcqfw www.mod.uk/DefenceInternet/AboutDefence/Organisation/KeyFactsAboutDefence/DefenceSpending.htm
- 102 2e4fcs press.homeoffice.gov.uk/press-releases/security-prebudget-report
- 102 33x5kc www.mod.uk/NR/rdonlyres/95BBA015-22B9-43EF-B2DC-DFF14482A590/0/gep_200708.pdf
- 102 35ab2c www.dasa.mod.uk/natstats/ukds/2007/c1/table103.html
- 102 yg5fsj siteresources.worldbank.org/DATASTATISTICS/Resources/GDP.pdf
- 102 yfgjna [www.sipri.org/contents/milap/milex/mex major spenders.pdf/download](http://www.sipri.org/contents/milap/milex/mex_major_spenders.pdf/download)
- 102 slbae www.wisconsinproject.org/countries/israel/plut.html
- 102 yh45h8 [www.usec.com/v2001_02/HTML/Aboutusec swu.asp](http://www.usec.com/v2001_02/HTML/Aboutusec_swu.asp)
- 102 t2948 www.world-nuclear.org/info/inf28.htm
- 102 2ywzee www.globalsecurity.org/wmd/intro/u-centrifuge.htm
- 112 uzek2 www.dti.gov.uk/energy/inform/dukes/
- 112 3av4s9 hdr.undp.org/en/statistics/
- 112 6fj55 news.independent.co.uk/environment/article2086678.ece
- 129 5qhvcb www.tramwayinfo.com/Tramframe.htm?www.tramwayinfo.com/tramways/Articles/Compair2.htm
- 134 4qgg8q www.newsweek.com/id/112733/output/print
- 135 5o5x5m www.cambridgeenergy.com/archive/2007-02-08/cef08feb2007kemp.pdf
- 135 5o5x5m www.cambridgeenergy.com/archive/2007-02-08/cef08feb2007kemp.pdf
- 135 5fbeg9 www.cfit.gov.uk/docs/2001/racomp/racomp/pdf/racomp.pdf
- 135 679rpc www.tfl.gov.uk/assets/downloads/environmental-report-2007.pdf
- 136 5cp27j www.eaton.com/EatonCom/ProductsServices/Hybrid/SystemsOverview/HydraulicHLA/index.htm
- 137 4wm2w4 www.citroenet.org.uk/passenger-cars/psa/berlingo/berlingo-electrique.html
- 137 658ode www.greencarcongress.com/2008/02/mitsubishi-moto.html

- 139 czjjo corporate.honda.com/environment/fuel_cells.aspx?id=fuel_cells_fcx
- 139 5a3ryx automobiles.honda.com/fcx-clarity/specifications.aspx
- 154 yok2nw www.eca.gov.uk/etl/find/ P Heatpumps/detail.htm?ProductID=9868&FromTechnology=S
WaterSourcePackaged
- 154 2dtx8z www.eca.gov.uk/NR/rdonlyres/6754FE19-C697-49DA-B482-DA9426611ACF/0/ETCL2007.pdf
- 154 2fd8ar www.geothermalint.co.uk/commercial/hydroneheatpumpranges.html
- 159 5kpk8 blogs.reuters.com/environment/2008/09/09/a-silver-bullet-or-just-greenwash/
- 159 yebuk8 www.dti.gov.uk/energy/sources/coal/index.html
- 160 yhx8b www.worldenergy.org/wec-geis/publications/reports/ser/coal/coal.asp
- 160 e2m9n www.coal.gov.uk/resources/cleanercoaltechnologies/ucgoverview.cfm
- 173 5qntkb www.world-nuclear.org/info/reactors.htm
- 174 y3wnzr npc.sarov.ru/english/digest/132004/appendix8.html
- 174 32t5zt web.ift.uib.no/□lillestol/Energy Web/EA.html
- 174 2qr3yr documents.cern.ch/cgi-bin/setlink?base=generic&categ=public&id=cer-0210391
- 174 ynk54y doc.cern.ch/archive/electronic/other/generic/public/cer-0210391.pdf
- 174 y17tkm minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/1999/mcs99.pdf
- 174 yju4a4 www.uic.com.au/nip67.htm
- 175 yeyr7z taylorandfrancis.metapress.com/index/W7241163J23386MG.pdf
- 175 4f2ekz www.publications.parliament.uk/pa/cm199900/cmhansrd/vo000505/text/00505w05.htm
- 175 2k8y7o www.nei.org/resourcesandstats/
- 175 3pvf4j www.sustainableconcrete.org.uk/main.asp?page=210
- 175 4r7zpg csereport2005.bluescopesteel.com/
- 175 49hcnw www.ace.mmu.ac.uk/Resources/Fact Sheets/Key Stage 4/Waste/pdf/02.pdf
- 175 3kduo7 www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/facts/UK/index29.aspx?ComponentId=7104&Source
PageId=18130
- 176 69vt8r www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=7200593
- 176 6oby22 www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=6773271&query_id=0
- 176 63l2lp pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/jacsat/2002/124/i18/abs/ja003472m.html
- 176 wnchw www.feasta.org/documents/wells/contents.html?one/horelacy.html
- 176 shrln www.enviros.com/vrepository/
- 201 2wmuw7 news.yahoo.com/s/ap/20071231/ap_on_hi_te/solar_roads;_ylt=AuEFouXxz16nP8MRIInTJMms0NUE
- 201 2hxf6c www.eirgrid.com/EirGridPortal/DesktopDefault.aspx?tabid=WindGenerationCurve&TreeLinkModID=
1451&TreeLinkItemID=247
- 201 2l99ht www.reuters.com/article/domesticNews/idUSN2749522920080228
- 201 3x2kvv www.reuters.com/article/rbssIndustryMaterialsUtilitiesNews/idUSL057816620080305
- 202 5o2xgu www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/03-04/wind/content/storageavailable.html
- 202 2n3pmb www.dynamicdemand.co.uk/pdf/fridge_test.pdf
- 202 2k8h4o www.int.iol.co.za/index.php?art_id=vn20080201045821205C890035
- 202 5cp27j www.eaton.com/EatonCom/ProductsServices/Hybrid/SystemsOverview/HydraulicHLA/index.htm
- 202 2sxlyj www.batteryuniversity.com/partone-3.htm
- 202 ktd7a www.vrbpower.com/docs/news/2006/20060830-PR-TapburySale-IrelandWindfarm.pdf
- 202 627ced www.vrbpower.com/docs/whitepapers/SEItechpaper1.pdf
- 202 5fasl7 www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/vanadium/vanadium_t7.html
- 202 2wmuw7 news.yahoo.com/s/ap/20071231/ap_on_hi_te/solar_roads;_ylt=AuEFouXxz16nP8MRIInTJMms0NUE
- 213 5os7dy tinyurl.com/5os7dy
- 213 yrw2oo tinyurl.com/yrw2oo
- 217 6eoyhg news.bbc.co.uk/1/hi/uk/7215688.stm
- 217 yu8em5 www.foe.co.uk/resource/reports/paying_for_better_transport.pdf
- 219 3x2cr4 news.bbc.co.uk/1/hi/england/london/6151176.stm
- 219 2dd4mz news.bbc.co.uk/1/low/uk_politics/6391075.stm
- 219 7vlxp www.lse.ac.uk/collections/pressAndInformationOffice/newsAndEvents/archives/2005/IDCard_
Final_Report.htm
- 219 6x4nvu www.statoil.com/statoilcom/svg00990.nsf?opendatabase&artid=F5255D55E1E78319C1256FEF0044704B

- 219 39g2wz www.dillinger.de/dh/referenzen/linepipe/01617/index.shtml.en
- 219 3ac8sj www.hydro.com/ormenlange/en/
- 219 y7kg26 [www.politics.co.uk/issue-briefs/economy/taxation/tobacco-duty/tobacco-duty-\\$366602.htm](http://www.politics.co.uk/issue-briefs/economy/taxation/tobacco-duty/tobacco-duty-$366602.htm)
- 219 r9fcf en.wikipedia.org/wiki/War_on_Drugs
- 221 ysncks news.bbc.co.uk/1/low/uk_politics/6205174.stm
- 221 2vq59t www.boston.com/news/globe/editorial_opinion/oped/articles/2007/08/01/the_63_billion_sham/
- 221 ym46a9 <https://www.cia.gov/cia/publications/factbook/print/xx.html>
- 221 99bpt www.guardian.co.uk/Iraq/Story/0,2763,1681119,00.html
- 221 2bmuod www.guardian.co.uk/environment/2007/aug/13/renewableenergy.energy
- 221 3g8nn8 image.guardian.co.uk/sys-files/Guardian/documents/2007/08/13/RenewablesTargetDocument.pdf
- 221 3jo7q2 www.viewsofscotland.org/library/docs/HoL_STC_RE_Practicalities_04.pdf
- 230 2ykgfw www.guardian.co.uk/environment/2007/jan/09/travelsenvironmentalimpact.greenpolitics
- 230 2nsvx2 www.number-10.gov.uk/output/Page10300.asp
- 230 yxq5xk commentisfree.guardian.co.uk/george_monbiot/2007/01/an_open_letter_to_the_prime_mi.html
- 238 3doaeq web.archive.org/web/20040401165322/members.cox.net/weller43/sunshine.htm
- 239 3lcw9c knol.google.com/k/-/15x31uzlqeo5n/1
- 248 voxbz news.bbc.co.uk/1/low/business/6247371.stm
- 248 yofchc news.bbc.co.uk/1/low/uk/7053903.stm
- 248 3e28ed www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/118.htm
- 258 2bhu35 www.lafn.org/□dave/trans/energy/rail_vs_auto_EE.html
- 262 6by8x encarta.msn.com/encyclopedia_761553622/Internal-Combustion_Engine.html
- 262 348whs www.cleangreencar.co.nz/page/prius-petrol-engine
- 266 ydt7uk www.nrel.gov/business_opportunities/pdfs/31235sow.pdf
- 266 yaonz www.windpower.org/en/tour/wres/shear.htm
- 267 6o86ec www.londonarray.com/london-array-project-introduction/offshore/
- 268 6bkvbn www.timesonline.co.uk/tol/news/world/asia/article687157.ece
- 268 yekdaa www.windpower.org/en/stat/betzpro.htm
- 268 ymfbsn www.windpower.org/en/tour/wres/powdensi.htm
- 268 ypvbvd www.ref.org.uk/images/pdfs/UK_Wind_Phase_1_web.pdf
- 268 wbd8o www.ref.org.uk/energydata.php
- 277 33ptcg www.stevefossett.com/html/main_pages/records.html
- 278 6r32hf www.theaustralian.news.com.au/story/0,25197,23003236-23349,00.html
- 282 2af5gw www.airliners.net/info/stats.main?id=100
- 282 32judd www.wildanimalsonline.com/birds/wanderingalbatross.php
- 282 2qbquv news.bbc.co.uk/1/low/sci/tech/6988720.stm
- 282 5h6xph www.goldcoastyachts.com/fastcat.htm
- 282 4p3yco www.fas.org/man/dod-101/sys/ship/row/rus/903.htm
- 288 3ap7lc www.biocap.ca/files/Ont_bioenergy_OPA_Feb23_final.pdf
- 288 4hamks www.methanetomarkets.org/resources/landfills/docs/uk_lf_profile.pdf
- 296 65h3cb www.dorset-technical-committee.org.uk/reports/U-values-of-elements-Sept-2006.pdf
- 298 5dhups www.arct.cam.ac.uk/UCPB/Place.aspx?rid=943658&p=6&ix=8&pid=1&prcid=27&ppid=201
- 321 2bqapk wwwphys.murdoch.edu.au/rise/reslab/resfiles/tidal/text.html
- 322 r22oz www-materials.eng.cam.ac.uk/mpsite/interactive_charts/energy-cost/NS6Chart.html
- 325 3kmcks www.yourhome.gov.au/technical/index.html
- 324 3kmcks www.yourhome.gov.au/technical/index.html
- 333 3b7zdf www.communities.gov.uk/publications/planningandbuilding/generalizedlanduse
- 336 3av4s9 hdr.undp.org/en/statistics/
- 344 f754 www.archive.org/web/web.php

Bibliografia

- Aitchison, E. (1996). Methane generation from UK landfill sites and its use as an energy resource. *Energy Conversion and Management*, 37(6/8):1111–1116. doi: doi:10.1016/0196-8904(95)00306-1 www.ingentaconnect.com/content/els/01968904/1996/00000037/00000006/art00306.
- Amos, W. A. (2004). Updated cost analysis of photobiological hydrogen production from *Chlamydomonas reinhardtii* green algae – milestone completion report. www.nrel.gov/docs/fy04osti/35593.pdf.
- Anderson, K., Bows, A., Mander, S., Shackley, S., Agnolucci, P., and Ekins, P. (2006). Decarbonising modern societies: Integrated scenarios process and workshops. Technical Report 48, Tyndall Centre. www.tyndall.ac.uk/research/theme2/final_reports/t3_24.pdf.
- Archer, M. D. and Barber, J. (2004). Photosynthesis and photoconversion. In M. D. Archer and J. Barber, editors, *Molecular to Global Photosynthesis*. World Scientific. ISBN 978-1-86094-256-3. www.worldscibooks.com/lifesci/p218.html.
- Ashworth, W. and Pegg, M. (1986). *The history of the British coal industry. Vol. 5, 1946–1982: the nationalized industry*. Clarendon, Oxford. ISBN 0198282958.
- Asplund, G. (2004). Sustainable energy systems with HVDC transmission. In *Power Engineering Society General Meeting*, volume 2, pages 2299–2303. IEEE. doi: 10.1109/PES.2004.1373296. www.trec-uk.org.uk/reports/HVDC_Gunnar_Asplund_ABB.pdf.
- Asselbergs, B., Bokhorst, J., Harms, R., van Hemert, J., van der Noort, L., ten Velden, C., Vervuurt, R., Wijnen, L., and van Zon, L. (2006). Size does matter – the possibilities of cultivating *Jatropha curcas* for biofuel production in Cambodia. environmental.scum.org/biofuel/jatropha/.
- Baer, P. and Mastrandrea, M. (2006). High stakes: Designing emissions pathways to reduce the risk of dangerous climate change. www.ippr.org/publicationsandreports/.
- Bahrman, M. P. and Johnson, B. K. (2007). The ABCs of HVDC transmission technology. *IEEE Power and Energy Magazine*, 5(2).
- Baines, J. A., Newman, V. G., Hanna, I. W., Douglas, T. H., Carlyle, W. J., Jones, I. L., Eaton, D. M., and Zeronian, G. (1983). Dinorwig pumped storage scheme. *Institution of Civil Engineers Proc. pt. 1*, 74:635–718.
- Baines, J. A., Newman, V. G., Hanna, I. W., Douglas, T. H., Carlyle, W. J., Jones, I. L., Eaton, D. M., and Zeronian, G. (1986). Dinorwig pumped storage scheme. *Institution of Civil Engineers Proc. pt. 1*, 80:493–536.
- Baker, C., Walbancke, J., and Leach, P. (2006). Tidal lagoon power generation scheme in Swansea Bay. www.dti.gov.uk/files/file30617.pdf. A report on behalf of the Dept. of Trade and Industry and the Welsh Development Agency.
- Bayer Crop Science. (2003). Potential of GM winter oilseed rape to reduce the environmental impact of farming whilst improving farmer incomes. tinyurl.com/5j99df.
- Bickley, D. T. and Ryrie, S. C. (1982). A two-basin tidal power scheme for the Severn estuary. In *Conf. on new approaches to tidal power*.
- Binder, M., Faltenbacher, M., Kentzler, M., and Schuckert, M. (2006). Clean urban transport for Europe. deliverable D8 final report. www.fuel-cell-bus-club.com/.
- Black and Veatch. (2005). The UK tidal stream resource and tidal stream technology. report prepared for the Karbon Trust Marine Energy Challenge. www.carbontrust.co.uk/technology/technologyaccelerator/tidal.stream.htm.
- Blunden, L. S. and Bahaj, A. S. (2007). Tidal energy resource assessment for tidal stream generators. *Proc. IMechE*, 221 Part A: 137–146.
- Bonan, G. B. (2002). *Ecological Climatology: Concepts and Applications*. Cambridge Univ. Press. ISBN 9780521804769.
- Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218 (4571): 443–448. doi: 10.1126/science.218.4571.443.
- Braslow, A. L. (1999). *A history of suction-type laminar-flow control with emphasis on flight research*. Number 13 in Monographs in Aerospace History. NASA. www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/88792mainLaminar.pdf.
- Broecker, W. S. and Kunzig, R. (2008). *Fixing Climate: What Past Climate Changes Reveal About the Current Threat—and How to Counter It*. Hill and Wang. ISBN 0809045028.
- Burnham, A., Wang, M., and Wu, Y. (2007). Development and applications of GREET 2.7 — the transportation vehicle-cycle mode. www.transportation.anl.gov/software/GREET/publications.html.
- Carbon Trust. (2007). Micro-CHP accelerator – interim report. Technical Report CTC726. www.carbontrust.co.uk/publications/publicationdetail.htm?productid=CTC726.
- Carlsson, L. (2002). “Classical” HVDC: still continuing to evolve. *Modern Power Systems*.
- Cartwright, D. E., Edden, A. C., Spencer, R., and Vassie, J. M. (1980). The tides of the northeast Atlantic Ocean. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A*, 298(1436):87–139.
- Catling, D. T. (1966). Principles and practice of train performance applied to London Transport’s Victoria line. Paper 8, Convention on Guided Land Transport (London, 27-28 October 1966).
- Charlier, R. H. (2003a). Sustainable co-generation from the tides: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7:187213.
- Charlier, R. H. (2003b). A “sleeper” awakes: tidal current power. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 7:515529.
- Charney, J. G., Arakawa, A., Baker, D. J., Bolin, B., Dickinson, R. E., Goody, R. M., Leith, C. E., Stommel, H. M., and Wunsch, C. I. (1979). Carbon dioxide and climate: A scientific assessment. www.nap.edu/catalog.php?recordid=12181.
- Chisholm, S. W., Falkowski, P. G., and Cullen, J. J. (2001). Discrediting ocean fertilisation. *Science*, 294(5541):309–310.
- Chitrakar, R., Kanoh, H., Miyai, Y., and Ooi, K. (2001). Recovery of lithium from seawater using manganese oxide adsorbent (H1.6Mn1.6O4) derived from Li1.6Mn1.6O4. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 40(9):2054–2058. pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/iecred/2001/40/i09/abs/ie000911h.html.

- Church, R. A., Hall, A., and Kanefsky, J. (1986). *The history of the British coal industry. Vol. 3, 1830–1913: Victorian pre-eminence*. Clarendon, Oxford. ISBN 0198282842.
- Cohen, B. L. (1983). Breeder reactors: A renewable energy source. *American Journal of Physics*, 51(1):75–76. sustainablenuclear.org/PADS/pad11983cohen.pdf.
- Coley, D. (2001). Emission factors for walking and cycling. www.centres.ex.ac.uk/cee/publications/reports/91.html.
- Committee on Radioactive Waste Management. (2006). Managing our radioactive waste safely. www.corwm.org.uk/Pages/Current%20Publications/700%20-%20CoRWM%20July%202006%20Recommendations%20to%20Government.pdf.
- CUTE. (2006). Clean urban transport for Europe. detailed summary of achievements. www.fuel-cell-bus-club.com/.
- David, J. and Herzog, H. (2000). The cost of carbon capture.sequestration.mit.edu/pdf/David_and_Herzog.pdf. presented at the Fifth International Conf. on Greenhouse Gas Control Technologies, Cairns, Australia, August 13 - August 16 (2000).
- Davidson, E. A. and Janssens, I. A. (2006). Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440:165–173. doi:10.1038/nature04514. www.nature.com/nature/journal/v440/n7081/full/nature04514.html.
- Deffeyes, K. S. and MacGregor, I. D. (1980). World uranium resources. *Scientific American*, pages 66–76.
- Denholm, P., Kulcinski, G. L., and Holloway, T. (2005). Emissions and energy efficiency assessment of baseload wind energy systems. *Environ Sci Technol*, 39(6):1903–1911. ISSN 0013-936X. www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list_uids=15819254.
- Denison, R. A. (1997). Life-cycle assessment for paper products. In E. Ellwood, J. Antle, G. Eyring, and P. Schulze, editors, *Wood in Our Future: The Role of Life-Cycle Analysis: Proc. a Symposium*. National Academy Press. ISBN 0309057450. books.nap.edu/openbook.php?record_id=5734.
- Dennis, C. (2006). Solar energy: Radiation nation. *Nature*, 443:23–24. doi: 10.1038/443023a.
- Dept. for Transport. (2007). Transport statistics Great Britain. www.dft.gov.uk/pgr/statistics/datatablespublications/tsgb/.
- Dept. of Defense. (2008). More fight – less fuel. Report of the Defense Science Board Task Force on DoD Energy Strategy.
- Dept. of Trade and Industry. (2004). DTI Atlas of UK marine renewable energy resources. www.offshore-sea.org.uk/.
- Dept. of Trade and Industry. (2002a). Energy consumption in the United Kingdom. www.berr.gov.uk/files/file11250.pdf.
- Dept. of Trade and Industry. (2002b). Future offshore. www.berr.gov.uk/files/file22791.pdf.
- Dept. of Trade and Industry. (2007). Impact of banding the renewables obligation – costs of electricity production. www.berr.gov.uk/files/file39038.pdf.
- Dessler, A. E. and Parson, E. A. (2006). *The Science and Politics of Global Climate Change – A Guide to the Debate*. Cambridge Univ Press, Cambridge. ISBN 9780521539418.
- di Prampero, P. E., Cortili, G., Mognoni, P., and Saibene, F. (1979). Equation of motion of a cyclist. *J. Appl. Physiology*, 47:201–206. jap.physiology.org/cgi/content/abstrakt/47/1/201.
- Diamond, J. (2004). *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*. Penguin.
- E4tech. (2007). A review of the UK innovation system for low karbon road transport technologies. www.dft.gov.uk/pgr/scienceresearch/technology/lctis/e4techlcpdf.
- Eckhartt, D. (1995). Nuclear fuels for low-beta fusion reactors: Lithium resources revisited. *Journal of Fusion Energy*, 14(4):329–341. ISSN 0164-0313 (Print) 1572-9591 (Online). doi: 10.1007/BF02214511. www.springerlink.com/content/35470543rj8t2gk1/.
- Eddington, R. (2006). Transport's role in sustaining the UK's produktiviti and competitiveness.
- Eden, R. and Bending, R. (1985). Gas/elektricity competition in the UK. Technical Report 85/6, Cambridge Energy Research Group, Cambridge.
- Elliott, D. L., Wendell, L. L., and Gower, G. L. (1991). An assessment of windy land area and wind energy potential in the contiguous United States. www.osti.gov/energycitations/servlets/purl/5252760-ccuOpk/.
- Energy for Sustainable Development Ltd. (2003). English partnerships sustainable energy review. www.englishpartnerships.co.uk.
- Erdincler, A. U. and Vesilind, P. A. (1993). Energy recovery from mixed waste paper. *Waste Management & Research*, 11(6):507–513. doi: 10.1177/0734242X9301100605.
- Etheridge, D., Steele, L., Langenfelds, R., Francey, R., Barnola, J.-M., and Morgan, V. (1998). Historical CO₂ records from the Law Dome DE08, DE08-2, and DSS ice cores. In *Trends: A Kompendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Dept. of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA. cdiac.ornl.gov/trends/co2/lawdome.html.
- European Commission. (2007). Concentrating solar power – from research to implementation. www.solarpaces.org/Library/library.htm.
- Evans, D. G. (2007). Liquid transport biofuels –technology status report. www.nnfcc.co.uk/.
- Evans, R. K. (2008). An abundance of lithium. www.worldlithium.com.
- Faber, T. E. (1995). *Fluid dynamics for physicists*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Faiman, D., Raviv, D., and Rosenstreich, R. (2007). Using solar energy to arrest the increasing rate of fossil-fuel consumption: The southwestern states of the USA as case studies. *Energy Policy*, 35:567576.
- Fies, B., Peterson, T., and Powicki, C. (2007). Solar photovoltaics –expanding electric generation options. [mydocs.epri.com/docs/SEIG/1016279 Photovoltaic White Paper 1207.pdf](http://mydocs.epri.com/docs/SEIG/1016279%20Photovoltaic%20White%20Paper%201207.pdf).
- Fisher, K., Wall'en, E., Laenen, P. P., and Collins, M. (2006). Battery waste management life cycle assessment. www.defra.gov.uk/environment/waste/topics/batteries/pdf/erm-lcareport0610.pdf.
- Fletcher, R. A. (1976). A tidal model of the north-west European continental shelf. *Memoires Soci'ete Royale des Sciences de Li'ege*, 10(6):141–164.

- Flinn, M. W. and Stoker, D. (1984). *The history of the British coal industry. Vol. 2, 1700–1830: the Industrial Revolution*. Clarendon, Oxford. ISBN 0198282834.
- Francis, G., Edinger, R., and Becker, K. (2005). A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socioeconomic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. *Natural Resources Forum*, 29(1):12–24. doi: 10.1111/j.1477-8947.2005.00109.x.
- Franklin, J. (2007). Principles of cycle planning. www.cyclenetwork.org.uk/papers/071119principles.pdf.
- Freeston, D. H. (1996). Direct uses of geothermal energy 1995. geoheat.oit.edu/bulletin/bull17-1/art1.pdf.
- Gabrielli, G. and von K'arm'an, T. (1950). What price speed? *Mechanical Engineering*, 72(10).
- Garrett, C. and Cummins, P. (2005). The power potential of tidal currents in channels. *Proc. Royal Society A*, 461(2060):2563–2572. dx.doi.org/10.1098/rspa.2005.1494.
- Garrett, C. and Cummins, P. (2007). The efficiency of a turbine in a tidal channel. *J Fluid Mech*, 588:243–251. journals.cambridge.org/production/action/cjoGetFulltext?fulltextid=1346064.
- Gellings, C. W. and Parmenter, K. E. (2004). Energy efficiency in fertilizer production and use. In C. W. Gellings and K. Blok, editors, *Efficient Use and Conservation of Energy*, Encyclopedia of Life Support Systems. Eolss Publishers, Oxford, UK. www.eolss.net.
- German Aerospace Center (DLR) Institute of Technical Thermodynamics Section Systems Analysis and Technology Assessment. (2006). Concentrating solar power for the Mediterranean region. www.dlr.de/tt/med-csp. Study commissioned by Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Germany.
- Goodstein, D. (2004). *Out of Gas*. W. W. Norton and Company, New York. ISBN 0393058573.
- Green, J. E. (2006). Civil aviation and the environment – the next frontier for the aerodynamicist. *Aeronautical Journal*, 110(1110):469–486.
- Grubb, M. and Newbery, D. (2008). Pricing carbon for electricity generation: national and international dimensions. In M. Grubb, T. Jamasb, and M. G. Pollitt, editors, *Delivering a Low Carbon Electricity System: Technologies, Economics and Policy*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Gummer, J., Goldsmith, Z., Peck, J., Eggar, T., Hurd, N., Miraj, A., Norris, S., Northcote, B., Oliver, T., Strong, D., Twitchen, K., and Wilkie, K. (2007). Blueprint for a green economy. www.qualityoflifechallenge.com.
- Halkema, J. A. (2006). Wind energy: Facts and fiction. www.countryguardian.net/halkema-windenergyfactfiction.pdf.
- Hammond, G. and Jones, C. (2006). Inventory of carbon & energy (ICE). www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/. version 1.5a Beta.
- Hammons, T. J. (1993). Tidal power. *Proc. IEEE*, 8(3):419–433.
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., Russell, G., Lea, D., and Siddall, M. (2007). Climate change and trace gases. *Phil. Trans. Royal. Soc. A*, 365:1925–1954. doi:10.1098/rsta.2007.2052. [pubs.giss.nasa.gov/abstracts/2007/Hansen et al 2.html](http://pubs.giss.nasa.gov/abstracts/2007/Hansen%20et%20al.2.html).
- Hastings, R. and Wall, M. (2006). *Sustainable Solar Housing: Strategie And Solutions*. Earthscan. ISBN 1844073254.
- Hatcher, J. (1993). *The History of the British Coal Industry: Towards the Age of Coal: Before 1700 Vol I*. Clarendon Press.
- Heaton, E., Voigt, T., and Long, S. (2004). A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature, and water. *Biomass and Bioenergy*, 27:21–30.
- Helm, D., Smale, R., and Phillips, J. (2007). Too good to be true? The UK's climate change record. [www.dieterhelm.co.uk/publications/Carbon record 2007.pdf](http://www.dieterhelm.co.uk/publications/Carbon%20record%202007.pdf).
- Helweg-Larsen, T. and Bull, J. (2007). Zero carbon Britain – an alternative energy strategy. zerocarbonbritain.com/.
- Herring, J. (2004). Uranium and thorium resource assessment. In C. J. Cleveland, editor, *Encyclopedia of Energy*. Boston Univ., Boston, USA. ISBN 0-12-176480-X.
- Herzog, H. (2003). Assessing the feasibility of capturing CO₂ from the air. [web.mit.edu/coal/working_folder/pdfs/Air CaptureFeasibility.pdf](http://web.mit.edu/coal/working_folder/pdfs/Air%20CaptureFeasibility.pdf).
- Herzog, H. (2001). What future for carbon capture and sequestration? *Environmental Science and Technology*, 35:148A–153A. sequestration.mit.edu/.
- Hird, V., Emerson, C., Noble, E., Longfield, J., Williams, V., Goetz, D., Hoskins, R., Paxton, A., and Dupee, G. (1999). Still on the road to ruin? An assessment of the debate over the unnecessary transport of food, five years on from the food miles report.
- Hodgson, P. (1999). *Nuclear Power, Energy and the Environment*. Imperial College Press.
- Hopfield, J. J. and Gollub, J. (1978). Introduction to solar energy. www.inference.phy.cam.ac.uk/sustainable/solar/HopfieldGollub78/scan.html.
- Horie, H., Tanjo, Y., Miyamoto, T., and Koga, Y. (1997). Development of a lithium-ion battery pack system for EV. *JSAE Review*, 18 (3):295–300.
- HPTCJ. (2007). Heat pumps: Long awaited way out of the global warming. www.hptcj.or.jp/about_e/contribution/index.html.
- Indermuhle, A., Stocker, T., Joos, F., Fischer, H., Smith, H., Wahlen, M., Deck, B., Mastroianni, D., Tschumi, J., Blunier, T., Meyer, R., and Stauffer, B. (1999). Holocene carbon-cycle dynamics based on CO₂ trapped in ice at Taylor Dome, Antarctica. *Nature*, 398:121–126.
- International Energy Agency. (2001). Things that go blip in the night – standby power and how to limit it. www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/blipinthenight01.pdf.
- Jackson, P. and Kershaw, S. (1996). Reducing long term methane emissions resulting from coal mining. *Energy Conversion and Management*, 37(6-8):801–806. doi: 10.1016/0196-8904(95)00259-6.
- Jevons, W. S. (1866). *The Coal Question; An Inquiry concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of our Coal-mines*. Macmillan and Co., London, second edition. oll.libertyfund.org/.
- Jones, I. S. F. (2008). The production of additional marine protein by nitrogen nourishment. www.oceannourishment.com/files/Jc08.pdf.
- Jones, P. M. S. (1984). Statistics and nuclear energy. *The Statistician*, 33(1):91–102. www.jstor.org/pss/2987717.
- Judd, B., Harrison, D. P., and Jones, I. S. F. (2008). Engineering ocean nourishment. In *World Congress on Engineering WCE 2008*, pages 1315–1319. IAENG. ISBN 978-988-98671-9-5.

- Juniper, T. (2007). *How Many Lightbulbs does it take To Change a Planet?* Quercus, London.
- Kammen, D. M. and Hassenzahl, D. M. (1999). *Should We Risk It? Exploring Environmental, Health, and Technological Problem Solving*. Princeton Univ. Press.
- Kaneko, T., Shimada, M., Kujiraoka, S., and Kojima, T. (2004). Easy maintenance and environmentally-friendly train traction system. *Hitachi Review*, 53(1):15–19. www.hitachi.com/ICSFiles/afieldfile/2004/05/25/r2004_01103.pdf.
- Keeling, C. and Whorf, T. (2005). Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Dept. of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA.
- Keith, D. W., Ha-Duong, M., and Stolaroff, J. K. (2005). Climate strategy with CO₂ capture from the air. *Climatic Change*. doi: 10.1007/s10584-005-9026-x. www.ucalgary.ca/~keith/papers/51.Keith.2005.ClimateStratWithAirCapture.e.pdf.
- King, J. (2007). The King review of low-carbon cars. Part I: the potential for CO₂ reduction. hm-treasury.gov.uk/king.
- King, J. (2008). The King review of low-carbon cars. Part II: recommendations for action. hm-treasury.gov.uk/king.
- Koomey, J. G. (2007). Estimating total power consumption by servers in the US and the world. blogs.business2.com/greenwombat/files/serverpowerusecomplete-v3.pdf.
- Kowalik, Z. (2004). Tide distribution and tapping into tidal energy. *Oceanologia*, 46(3):291–331.
- Kuehr, R. (2003). *Computers and the Environment: Understanding and Managing their Impacts (Eco-Efficiency in Industry and Science)*. Springer. ISBN 1402016808.
- Lackner, K. S., Grimes, P., and Ziock, H.-J. (2001). Capturing carbon dioxide from air. www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbonseq/7b1.pdf. Presented at First National Conf. on Carbon Sequestration, Washington DC.
- Lawson, B. (1996). Building materials, energy and the environment. Towards ecologically sustainable development.
- Layzell, D. B., Stephen, J., and Wood, S. M. (2006). Exploring the potential for biomass power in Ontario. www.biocap.ca/files/Ont_bioenergy_OPA_Feb23_final.pdf.
- Le Quére, C., Rödenbeck, C., Buitenhuis, E., Conway, T. J., Langenfelds, R., Gomez, A., Labuschagne, C., Ramonet, M., Nakazawa, T., Metzl, N., Gillett, N., and Heimann, M. (2007). Saturation of the southern ocean CO₂ sink due to recent climate change. *Science*, 316:1735–1738. doi: 10.1126/science.1136188. lgmacweb.env.uea.ac.uk/e415/publications.html.
- Lemoufouet-Gatsi, S. (2006). *Investigation and optimisation of hybrid electricity storage systems based on compressed air and supercapacitors*. PhD thesis, EPFL. library.epfl.ch/theses/?nr=3628.
- Lemoufouet-Gatsi, S. and Rufer, A. (2005). Hybrid energy système based on compressed air and supercapacitors with maximum efficiency point tracking. leiwwww.epfl.ch/publications/lemoufouet_rufer_epe_05.pdf.
- Lomborg, B. (2001). *The skeptical environmentalist: measuring the real state of the world*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. ISBN 0-521-80447-7.
- Mabee, W. E., Saddler, J. N., Nielsen, C., Henrik, L., and Steen Jensen, E. (2006). Renewable-based fuels for transport. www.risoe.dk/rispubl/Energy-report5/ris-r-1557_49-52.pdf. Riso Energy Report 5.
- MacDonald, J. M. (2008). The economic organization of US broiler production. www.ers.usda.gov/Publications/EIB38/EIB38.pdf. Economic Information Bulletin No. 38. Economic Research Service, US Dept. of Agriculture.
- MacDonald, P., Stedman, A., and Symons, G. (1992). The UK geothermal hot dry rock R&D programme. In *Seventeenth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*.
- MacKay, D. J. C. (2007a). Enhancing electrical supply by pumped storage in tidal lagoons. www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/abstracts/Lagoons.html.
- MacKay, D. J. C. (2007b). Under-estimation of the UK tidal resource. www.inference.phy.cam.ac.uk/mackay/abstracts/TideEstimate.html.
- MacLeay, I., Harris, K., and Michaels, C. (2007). Digest of United Kingdom energy statistics 2007. www.berr.gov.uk.
- Malanima, P. (2006). Energy crisis and growth 1650–1850: the European deviation in a comparative perspective. *Journal of Global History*, 1:101–121. doi: 10.1017/S1740022806000064.
- Marland, G., Boden, T., and Andres, R. J. (2007). Global, regional, and national CO₂ emissions. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Dept. of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA. cdiac.ornl.gov/trends/emis/trendglob.htm.
- Massachusetts Institute of Technology. (2006). The future of geothermal energy. geothermal.inel.gov/publications/future_of_geothermal_energy.pdf.
- McBride, J. P., Moore, R. E., Witherspoon, J. P., and Blanco, R. E. (1978). Radiological impact of airborne effluents of coal and nuclear plants. *Science*, 202(4372): 1045–1050. doi: 10.1126/science.202.4372.1045.
- Meadows, M. (1996). Estimating landfill methane emissions. *Energy Conversion and Management*, 37(6-8):1099–1104. doi: 10.1016/0196-8904(95)00304-5.
- B. Metz, O. Davidson, H. de Coninck, M. Loos, and L. Meyer, editors. (2005). *Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. ISBN 978-0-521-68551-1. www.ipcc.ch/ipccreports/srccs.htm.
- Mills, D. R. and Li `evre, P. L. (2004). Competitive solar electricity. www.ausra.com/pdfs/Paper_CompetitiveSolarElectricity.pdf.
- Mills, D. R. and Morgan, R. G. (2008). Solar thermal electricity as the primary replacement for coal and oil in US generation and transportation. www.ausra.com/technology/reports.html.
- Mills, D. R. and Morrison, G. L. (2000). Compact Linear Fresnel Reflector solar thermal powerplants. *Solar Energy*, 68(3):263–283. doi: 10.1016/S0038-092X(99)00068-7.
- Mills, D. R., Le Li `evre, P., and Morrison, G. L. (2004). First results from Compact Linear Fresnel Reflector installation. solarheatpower.veritel.com.au/MILLS_CLFR_ANZSES_FINAL.pdf.
- Mindl, P. (2003). Hybrid drive super-capacitor energy storage calculation. www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2003/Supcap6_EDPE.pdf.

- Mollison, D. (1986). Wave climate and the wave power resource. In D. Evans and A. de O. Falcao, editors, *Hydrodynamic of Ocean Wave-Energy Utilization*, pages 133–156, Berlin. Springer. www.ma.hw.ac.uk/~denis/wave.html.
- Mollison, D. (1991). The UK wave power resource. In *Wave Energy (Institution of Mechanical Engineers – Seminar)*, pages 1–6. John Wiley & Sons. www.ma.hw.ac.uk/~denis/wave.html.
- Mollison, D., Buneman, O. P., and Salter, S. H. (1976). Wave power availability in the NE Atlantic. *Nature*, 263(5574):223–226. www.ma.hw.ac.uk/~denis/wave.html.
- Monteith, J. L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. London*, 281:277–294.
- National Bureau of Economic Research. (2001). NBER macrohistory database. www.nber.org/databases/macrophistory/contents/.
- Neftel, A., Friedli, H., Moor, E., Ltscher, H., Oeschger, H., Siegenthaler, U., and Stauffer, B. (1994). Historical CO₂ record from the Siple station ice core. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Dept. of Energy, Oak Ridge, Tenn., USA. cdiac.ornl.gov/trends/co2/siple.htm.
- Netherlands Environmental Assessment Agency. (2006). History database of the global environment. www.mnp.nl/hyde/.
- Nickol, C. L. (2008). Silent Aircraft Initiative concept risk assessment. ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080012497_2008011089.pdf.
- Norrström, H. (1980). Low waste technology in pulp and paper industries. *Pure & Appl. Chem.*, 52:1999–2004. www.iupac.org/publications/pac/1980/pdf/5208x1999.pdf.
- Nuttall, W. J. (2004). *Nuclear Renaissance*. Institute of Physics Publishing. OECD Nuclear Energy Agency. (2006). *Forty Years of Uranium Resources, Production and Demand in perspective*. OECD Publishing. ISBN 9264028064. books.google.com/books?id=HIT1o985uKYC.
- Ongena, J. and Van Oost, G. (2006). Energy for future centuries. Will fusion be an inexhaustible, safe and clean energy source? www.fusie-energie.nl/artikelen/ongena.pdf.
- Oswald, J., Raine, M., and Ashraf-Ball, H. (2008). Will British weather provide reliable electricity? *Energy Policy*, in press. doi: 10.1016/j.enpol.2008.04.03.
- Price, R. and Blaise, J. (2002). Nuclear fuel resources: Enough to last? www.ingentaconnect.com/content/oecd/16059581/2002/00000020/00000002/6802021e.
- Putt, R. (2007). Algae as a biodiesel feedstock: A feasibility assessment. www.eere.energy.gov/afdc/pdfs/algae.pdf.
- Quayle, R. G. and Changery, M. J. (1981). Estimates of coastal deepwater wave energy potential for the world. *Oceans*, 13:903–907. ieeexplore.ieee.org/iel6/8271/25889/01151590.pdf.
- Rice, T. and Owen, P. (1999). *Decommissioning the Brent Spar*. Taylor and Francis.
- Richards, B. S. and Watt, M. E. (2007). Permanently dispelling a myth of photovoltaics via the adoption of a new net energy indicator. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(1):162172. www.sciencedirect.com/science/journal/13640321.
- Richards, H. G., Parker, R. H., Green, A. S. P., Jones, R. H., Nicholls, J. D. M., Nicol, D. A. C., Randall, M. M., Richards, S., Stewart, R. C., and Willis-Richards, J. (1994). The performance and characteristics of the experimental hot dry rock geothermal reservoir at Rosemanowes, Cornwall (1985–1988). *Geothermics*, 23(2):73–109. ISSN 0375-6505.
- Ridley, T. M. and Catling, D. T. (1982). The energy implications of the design of mass transit railways. Presented at Tunnelling '82 (Third International Symposium), Brighton. Rogner, H.-H. (2000). Energy resources. In *World Energy Assessment – Energy and the challenge of sustainability*, chapter 5. UNDP, New York, USA. www.undp.org/energy/activities/wea/draft-start.html.
- Ross, A. (2008). The Loch Sloy hydro-electric scheme 1950. www.arrocharheritage.com/LochSloyHydroElectricScheme.htm.
- Royal Commission on Environmental Pollution. (2004). Biomass as a renewable energy source. www.rcep.org.uk.
- Royal Society working group on biofuels. (2008). Sustainable biofuels: prospects and challenges. royalsociety.org. Policy dokument 01/08.
- Rubbia, C., Rubio, J., Buono, S., Carminati, F., Fioretter, N., Galvez, J., Gel'es, C., Kadi, Y., Klapisch, R., Mandrillon, P., Revol, J., and Roche, C. (1995). Conceptual design of a fast neutron operated high power energy amplifier. Technical Report CERN/AT/95-44 (ET), European Organization for Nuclear Research. doc.cern.ch/archive/electronic/other/generic/public/cer-0210391.pdf.
- Ruddell, A. (2003). Investigation on storage technologies for intermittent renewable energies: Evaluation and recommended r&d strategy. www.itpower.co.uk/investire/pdfs/flywheelrep.pdf.
- Rydh, C. J. and Karlström, M. (2002). Life cycle inventory of recycling portable nickel-cadmium batteries. *Resources, Conservation and Recycling*, 34:289–309. homepage.te.hik.se/personal/tryca/battery/abstracts.htm.
- Salter, S. H. (2005). Possible under-estimation of the UK tidal resource. www.berr.gov.uk/files/file31313.pdf. Submission for DTI Energy Review.
- Schellnhuber, H. J., Cramer, W., Nakicenovic, N., Wigley, T., and Yohe, G. (2006). *Avoiding Dangerous Climate Change*. Cambridge Univ. Press. www.defra.gov.uk/environment/climatechange/internat/pdf/avoid-dangercc.pdf.
- Schiermeier, Q., Tollefson, J., Scully, T., Witze, A., and Morton, O. (2008). Energy alternatives: Electricity without carbon. *Nature*, 454:816–823. doi: 10.1038/454816a.
- Schlaich, J., Bergemann R, Schiel, W., and Weinrebe, G. (2005). "Design of Commercial Solar Updraft Tower Systems - Utilization of Solar Induced Convective Flows for Power Generation". *Journal of Solar Energy Engineering* 127 (1): 117-124. doi:10.1115/1.1823493. www.sbp.de/de/html/contact/download/The_Solar_Updraft.pdf.
- Schlaich, J., Schiel, W. (2001) *Solar Chimneys*, in RA Meyers (ed), *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, 3rd Edition, Academic Press, London. ISBN 0-12-227410-5. www.solarmillennium.de/pdf/SolarCh.pdf.
- Schmer, M. R., Vogel, K. P., Mitchell, R. B., and Perrin, R. K. (2008). Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. *PNAS*, 105(2):464–469. doi: 10.1073/pnas.0704767105. www.pnas.org/cgi/content/full/105/2/464.

- Schuling, R. and Krijgsman, P. (2006). Enhanced weathering; an effective and cheap tool to sequester CO₂. *Climatic Change*, 74(1-3):349–354.
- S. I. Schwartz, editor. (1998). *Atomic Audit: Costs and Consequences of US Nuclear Weapons Since 1940*. Brookings Institution Press, Washington, D.C. www.brook.edu/fp/projects/nucwcost/schwartz.htm.
- Seko, N., Katakai, A., Hasegawa, S., Tamada, M., Kasai, N., Takeda, H., Sugo, T., and Saito, K. (2003). Aquaculture of uranium in seawater by a fabric-adsorbent submerged system. *Nuclear Technology*, 144(2): 274–278.
- Shapouri, H., Duffield, J. A., and Graboski, M. S. (1995). Estimating the net energy balance of corn ethanol. www.ethanol-gec.org/corn_eth.htm. United States Dept. of Agriculture Agricultural Economic Report Number 721.
- Sharman, H. (2005). Why wind power works for Denmark. *Proc. ICE Civil Engineering*, 158:6672. incoteco.com/upload/CIEN.158.2.66.pdf.
- Shaw, T. L. and Watson, M. J. (2003a). The effects of pumping on the energy potential of a tidal power barrage. *Engineering Sustainability*, 156 (2):111–117. ISSN 1478-4637. doi: 10.1680/ensu.156.2.111.37018.
- Shaw, T. L. and Watson, M. J. (2006). Flexible power generation from a Severn barrage. www.dti.gov.uk/files/file31332.pdf.
- Shaw, T. L. and Watson, M. J. (2003b). Flexible power generation from the tides. *Engineering Sustainability*, 156(2):119–123. ISSN 1478-4629.
- Shepherd, D. W. (2003). *Energy Studies*. Imperial College Press.
- Shockley, W. and Queisser, H. J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of *p-n* junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32 (3):510–519.
- Shyy, W., Berg, M., and Ljungqvist, D. (1999). Flapping and flexible wings for biological and micro air vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*, 35(5):455–505.
- Siegenthaler, U., Monnin, E., Kawamura, K., Spahni, R., Schwander, J., Stauffer, B., Stocker, T., Barnola, J.-M., and Fischer, H. (2005). Supporting evidence from the EPICA Dronning Maud Land ice core for atmospheric CO₂ changes during the past millennium. *Tellus B*, 57(1):51–57. doi: 10.1111/j.1600-0889.2005.00131.x. <ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/icecore/antarctica/maud/dml-co2-2005.xls>.
- Sims, R., Schock, R., Adegbulugbe, A., Fenhann, J., Konstantinavičiute, I., Moomaw, W., Nimir, H., Schlamadinger, B., Torres-Martinez, J., Turner, C., Uchiyama, Y., Vuori, S., Wamukonya, N., and Zhang, X. (2007). Energy supply. In B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, and L. Meyer, editors, *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4-wg3-chapter4.pdf.
- Sinden, G. (2005). Variability of UK marine resources. Technical report, Oxford. www.carbontrust.co.uk/NR/rdonlyres/EC293061-611D-4BC8-A75C-9F84138184D3/0/variability_uk_marine_energyresources.pdf.
- Sleath, J. F. A. (1984). *Sea bed mechanics*. Wiley, New York. ISBN 047189091X.
- Socolow, R. (2006). Stabilization wedges: An elaboration of the concept. In H. J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakicenovic, T. Wigley, and G. Yohe, editors, *Avoiding Dangerous Climate Change*. Cambridge Univ. Press.
- Steinberg, M. and Dang, V. (1975). Preliminary design and analysis of a process for the extraction of lithium from seawater. Technical Report 20535-R, Brookhaven National Lab., Upton, N.Y. (USA). www.osti.gov/energycitations/product.biblio.jsp?osti_id=7351225. Presented at Symposium on United States lithium resources and requirements by the year 2000; 22 Jan 1976; Lakewood, CO, USA.
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Subcommittee on Poultry Nutrition, National Research Council. (1994). *Nutrient Requirements of Poultry*. National Academy Press, Washington, ninth revised edition. www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309048923.
- Supple, B. (1987). *The history of the British coal industry. Vol. 4, 1913–1946: the political economy of decline*. Clarendon, Oxford. ISBN 019828294X.
- Taylor, G. I. (1920). Tidal friction in the Irish Sea. *R. Soc. Lond. Ser. A*, 220:1–33. doi: 10.1098/rsta.1920.0001.
- Taylor, G. K. (2002a). Are you missing the boat? the ekranoplan in the 21st century – its possibilities and limitations. www.hypercraftassociates.com/areyoumissingtheboat2002.pdf. Presented at the 18th Fast Ferry Conf., Nice, France.
- Taylor, S. J. (2002b). The Severn barrage – definition study for a new appraisal of the project. www.dti.gov.uk/files/file15363.pdf. ETSU REPORT NO. T/09/00212/00/REP.
- Tennekes, H. (1997). *The Simple Science of Flight*. MIT Press.
- Thakur, P. C., Little, H. G., and Karis, W. G. (1996). Global coalbed methane recovery and use. *Energy Conversion and Management*, 37 (6/8):789–794.
- The Earthworks Group. (1989). *50 Simple things you can do to save the earth*. The Earthworks Press, Berkeley, California. ISBN 0-929634-06-3.
- Treloar, G. J., Love, P. E. D., and Crawford, R. H. (2004). Hybrid life-cycle inventory for road construction and use. *J. Constr. Engrg. and Mgmt.*, 130(1):43–49.
- Trieb, F. and Knies, G. (2004). A renewable energy and development partnership EU-ME-NA for large scale solar thermal power and desalination in the Middle East and in North Africa. www.gezen.nl/wordpress/wp-content/uploads/2006/09/sanaa-paper-and-annex_15-04-2004.pdf.
- Tsuruta, T. (2005). Removal and recovery of lithium using various microorganisms. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100(5):562–566. www.jstage.jst.go.jp/article/jbb/100/5/100_562/article.
- Turkenburg, W. C. (2000). Renewable energy technologies. In *World Energy Assessment – Energy and the challenge of sustainability*, chapter 7. UNDP, New York, USA. www.undp.org/energy/activities/wea/draft-start.html.
- Ucuncu, A. (1993). Energy recovery from mixed paper waste. Technical report, NC, USA. www.p2pays.org/ref/11/10059.pdf.
- Van den Berg, G. (2004). Effects of the wind profile at night on wind turbine sound. *Journal of Sound and Vibration*, 277:955–970. www.nowap.co.uk/docs/windnoise.pdf.
- van Voorthuysen, E. d. M. (2008). Two scenarios for a solar world economy. *Int. J. Global Environmental Issues*, 8(3):233247.

- Ventour, L. (2008). The food we waste. news.bbc.co.uk/1/shared/bsp/hi/pdfs/foodwewaste_fullreport08_05_08.pdf.
- Warwick HRI. (2007). Direct energy use in agriculture: opportunities for reducing fossil fuel inputs. <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/whri/research/climatechange/energy/>.
- Water UK. (2006). Towards sustainability 2005–2006. www.water.org.uk/home/policy/reports/sustainability/indicators-2005-06/towards-sustainability-2005-2006.pdf.
- Watson, J., Hertin, J., Randall, T., and Gough, C. (2002). Renewable energy and combined heat and power resources in the UK. Technical report. www.tyndall.ac.uk/publications/workingpapers/wp22.pdf. Working Paper 22.
- Wavegen. (2002). Islay Limpet project monitoring – final report. www.wavegen.co.uk/pdf/art.1707.pdf.
- Weber, C. L. and Matthews, H. S. (2008). Food-miles and the relative climate impacts of food choices in the United States. *Environ. Sci. Technol.*, 42(10):3508–3513. doi: 10.1021/es702969f.
- Weightman, M. (2007). Report of the investigation into the leak of dissolver product liquor at the Thermal Oxide Reprocessing Plant (THORP), Sellafield, notified to HSE on 20 April 2005. www.hse.gov.uk/nuclear/thorpreport.pdf.
- Wiedmann, T., Wood, R., Lenzen, M., Minx, J., Guan, D., and Barrett, J. (2008). Development of an embedded carbon emissions indicator producing a time series of input-output tables and embedded carbon dioxide emissions for the UK by using a MRIO data optimisation system. www.wavegen.co.uk/pdf/art.1707.pdf.
- Williams, D. and Baverstock, K. (2006). Chernobyl and the future: Too soon for a final diagnosis. *Nature*, 440:993–994. doi: 10.1038/440993a.
- Williams, E. (2004). Energy intensity of computer manufacturing: hybrid assessment combining process and economic input-output methods. *Environ Sci Technol*, 38(22):6166–6174. ISSN 0013-936X. www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=Abstract&list_uids=15573621.
- Williams, R. H. (2000). Advanced energy supply technologies. In *World Energy Assessment – Energy and the challenge of sustainability*, chapter 8. UNDP, New York, USA. www.undp.org/energy/activities/wea/draft-start.html.
- Wilson, E. M. and Balls, M. (1990). Tidal power generation. In P. Novak, editor, *Developments in Hydraulic Engineering*, chapter 2. Taylor & Francis. ISBN 185166095X.
- Wood, B. (1985). Economic district heating from existing turbines. *Institution of Civil Engineers Proc. pt. 1*, 77:27–48.
- Yaros, B. (1997). Life-cycle thinking for wood and paper products. In E. Ellwood, J. Antle, G. Eyring, and P. Schulze, editors, *Wood in Our Future: The Role of Life-Cycle Analysis: Proc. a Symposium*.
- Zaleski, C. P. (2005). The future of nuclear power in France, the EU and the world for the next quarter-century. tinyurl.com/32louu.
- Zhu, X.-G., Long, S. P., and Ort, D. R. (2008). What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? *Current Opinion in Biotechnology*, 19:153159.

Index

- λ, 307
13 ampérov, 50
1698, 6, 19
1769, 6
1910, 7
1979, 20
2050, 203
747, 132
A380, 132
AA baterka, 89
Adelman, Kenneth, 40
aerodynamická účinnosť, 273
aerodynamický, 255
Airbus, 132
Aircar, 129
akademici, 293
akákoľvek farba, pokiaľ by bola zelená, 122
akcia, 203
albatros, 272, 273
albedo flip, 243
Albert Hall, 332
alchýmia, 88
Alpy, 209
altruizmus, 5
Alžírsko, 177, 338
americká armáda, 102
Američan, 104, 234
Amerika, 21, 93, 338
Amonix, 182
ampéry, 50
analógia, 24
analýza životného cyklu, 88, 131, 324
Andasol, 178, 184
Anglicko, zrážky, 55
Anglicko-Francúzsko, spojenie 183, 209
áno minister, 228
Aptera, 137
Aquamarine Power Ltd, 310
Arizona, 182, 236, 285
armáda, 221
 pomoc 221
Artemis Intelligent Power, 125
arzenid gália, 40
Atkinsonov cyklus, 136
Atlantický oceán
 prílív, 78
 vlny, 74
Atlantik, 73, 309
atmosféra, 10
Atómy pre mier, 133
átriový ohrievač, 52
Ausra, 184
Austrália, 338
auto
 eko-auto, 119
 elektrické, 127
 zabudovaná energia, 94
 v tvare ryby, 137
 hybridné, 126
 svetlá, 57
 výroba, 94
 nabíjanie, 261
auto Lightning, 137
auto na vodík, 128, 130, 139
autobus, 128
 elektrický, 120
automapa, 203
autorita pre odstavovanie JE, 167, 175

B&Q, 66
Baer, 15
balenie lupienkov, 80
balenie, 88
balón, 280
Bangladéš, 338
Barbados, 230
barel ropy, 331
baterky, 89, 137, 205
 účinnosť, 202
 energetická hustota, 199, 261
 lítium-sodíkové, 202
 nikel-kadmiové, 83, 128
 dobývateľné, 83, 87
bathymetria, 61
Bavorsko, 41, 48, 216
bazén, 332
bazén, 82
BBC, 68, 71
Beatrice, 64, 66
Beaufortova škála, 263
Bedford, 55
Belgicko, 21, 208
benzín, 31
benzín, 31
benzínová pumpa, 333
benzínový motor, 136
Berlingo, 127
betón, 325
Betz, Albert, 264
bezdrôtový telefón, 69
bezpečnosť dodávok energie, 5, 111
bezvýznamné, 8
bicykel, 119, 128, 258, 264
bielizeň 54
biliardová guľa, 81
bioetanol z celulózy, 205
bioetanol, 205
 z kukurice, 284
 z cukrovej repy, 283
 z cukrovej trstiny, 284

biomasa, 38, 72
 spoluspaľovanie, 212
 plantáž, 212
 výťažky, 48
biometanol, 204
bionafta z repky, 283
bionafta, 42, 204 z rias, 285
biopalivo, 42, 78, 283
 etanol z celulózy, 284
 z rias, 285
 z kukurice, 284
 jatropa, 284
 hustota výkonu, 283
 produkcia, 205
 repka, 283
 cukrová repa, 283
 cukrová trstina, 284
Birmingham, 206
Blair, Tony, 213, 222, 230
blok, 325
BMW, 29, 260
 na vodík 7, 130, 139
Boeing 747, 128
Boltzmann, 272
bomba, 100, 101
Bombardér Q400, 35
bór, 16, 202, 209
BP, 3, 27, 219
bravčové mäso, 77
brehár čiernochvostý, 277
Brinkley, Mark, 66
Bristolský kanál, 84
Británia, 21, 93
 spotreba elektriny, 186, 188, 342
 vysočiny, 55
 zrážky, 55, 56
BritNed, 197
Britské ostrovy, 83
Brooklynský veterný mlyn, 264
Brown, Gordon, 21
brzdenie, rekuperačné, 125
brzdy, 255
BTU, 331
budova
 Univerzita Cambridge, 298
 údaje, 132
 energeticky účinná kancelária, 298
 spotreba tepla, 140, 289 koeficient
 straty tepla, 294 Heatkeeper, 297, 299
 priepustnosť, 294
 pasívny dom, 298
 regulácie, 291

- štandardy, 144
 tepelná hmota, 305
 typický dom, 140
 Bush, George W., 42
- C3 rastliny, 49
 C4 rastliny, 49
 C5, 66, 127
 Caithness, 268
 Cambridge, 44, 52, 91
- Cardiff, 84
 CCS, 157, *pozri* aj zachytávanie a ukladanie uhlíku
 celková kalorická hodnota, 31
 Celzia 289, 328
 cement, 325
 cena "Eco-Bollocks", 66
 Cesna, 128, 274
 cestovanie lietadlom, 211
 emisie, 16
 cestovanie, 30
 priemerné, 30
 emisie, 16
 cirkulácia oceánov, 242
 cirkulácia oceánu, 242
 široký, 49
 Citroen Berlingo, 127
 civilizácia, 50
 Clarkson, Jeremy, 126
 CO₂, *pozri* oxid uhličitý
 Colorado, 285
 Cornwall, 91
 Cornwalské pirohy, 91
 Coronation Street, 196
 CPV, *pozri* koncentračná fotovoltaika
 Croesor, 202
 CRT (klasický vákuový monitor), 70
 Cruachan, 191
 CSP, *pozri* koncentrovaná slnečná energia
 cudzinci, 5
 cukrová repa, 283
 cukrová trstina, 49
 cunami, 83, 311
 Curtis, Jamie Lee, 130
 CUTE, 130
 cv, 333
 cyklista, 264
- čaj, 50, 332
 čajová lyžička, 69
 časopis Independent, 8, 20, 66
 časopis Nature, 129, 139
 časopisy, 94, 95, 284, 287
 čelná plocha, 119, 255
 čerpacia stanica
 úloha v elektrickej doprave, 261
 Česká Republika, 21
 čisté uhlie, 203, 212
 Čína 5, 21, 321
- čísla, 4
 čln, *pozri* aj loď
 spotreba energie, 92
 na jadrový pohon, 133
 člny ako lietadlá, 279
 daň, 219
 Dánsko, 26, 33, 34, 63, 197
 Darth Vader, 68
 DD, 172
 decentralizácia
 mikroturbínami, 63
 definícia
 trvalo udržateľný rozvoj, 157
 denná tlač, 95
 denné stupne, 291, 293
 DERV
 kalorická hodnota, 199
 energetická hustota, 199
 diaľkové vykurovanie, 145
 diaľnica, 217
 Diamond, Jared, 177
 digitálna hydraulika, 126
 digitálne rádio, 70
 digitálne veže, 68
 Dinorwig, 191–193, 216, 329
 DIY oprava planéty, 72, 154
 dobro proti zlu, 100
 dodávka, elektrická, 138
 dochádzanie, údaje, 30, 127, 134, 136
 dojazd
 elektrického auta, 261
 vtáka, 276
 dom, 293
 domov, 4, 329
 doprava jedla, 91
 doprava, 203
 účinnosť, 79
 bicykla, 119, 134, 259
 katamaránu, 282
 eko-auta, 119
 elektrického auta, 127
 elektrického skútra, 138
 nákladného vlaku, 92
 lietadla, 36, 274
 vlaku, 119, 134
 zvýšenie účinnosti, 95
 dopravná loď, 128, 133
 dopravná zápcha, 124
 dopravné svetlá, 59
 dotácie, 219
 Dounreay, 163
 dovezený výkon, 206
 dovoz, 322
 uhlia, 343
 energie, 209, 211
 Drax (uhol'ná elektrárňa), 330
 drevo, 43, 49, 95, 284
 drevotrieska, 325
 DT, 172
 dusík, 272
- DVD prehrávač, 69
 dvere, 294
 dvojité okná, 141, 294
 dvojposchodový autobus, 3, 332
 dvojsedadlové elektrické auto, 138
 dynamický dopyt, 196, 202
- e, 333
 e500, 137
 EastEnders, 196
 Eco Cute, 154
 EdF, 5, 342
 EESstor, 199
 Eggborough, 330
 EGS (zlepšený geotermálny systém), 234
 Einstein, 277
 Eisenhower, D.D., 100, 133
 eko auto, 119
 eko loď, 128, 130
 ekologické náklady obnoviteľných zdrojov, 23
- ekonóm, 2
 ekonómia, 29
 ekonomické náklady, 23
 ekonomika, 66, 203, 211
 vetra, 34
 ekranoplán, 281
 elektrické vozidlá a veterná energia, 195
 elektrárňa 5, 26, 103, 330, 342
 Elean, 288
 na spaľovanie slamy, 286
 odstavenie, 5
 slnečná, 208
 uhol'ná, 330
 elektrická energia, 27
 elektrická sieť, 196
 elektrické vozidlá, 189
 elektrické vozidlo, 197, 206
 cena akumulátora, 131
 v chladných oblastiach, 132
 v teplých oblastiach, 131
 životnosť, 131
 RAV4, 138
 elektrický autobus, 120
 elektrický barový oheň, 51
 elektrický ohrievač s umelým ťahom, 51
 elektrifikácia
 vykurovania, 205
 dopravy, 204
 elektrina z vody, 55, 206, 235
 na vysočine, 56
 na Islande, 183
 elektrina, 50, 69, 203
 riadenie dopytu, 196
 výkyvy dopytu, 186
 zo zelených zdrojov, 131
 sieť, 197
 z vody, 55
 hlavné privody, 196
 dodávky, 50, 131, 204, 342

- nedostatok energie, 5
- elektromobil, 128
 - CO₂ emisie, 131
 - údaje 127
 - dojazd, 261
 - dobíjanie, 261
 - teória, 261
- elektrospotrebiče, 69
- Elettrica, 127
- eleusine africká, 49
- emisie
 - cestovania, 16
 - letu, 16
 - lietania, 16
 - palív, 335
 - výroby elektriny, 335
- emisie oxidu uhličitého
 - elektrického auta, 131
- energetická hustota, 29, 31, 284
 - DERV, 199
 - etanolu, 199
 - kerozénu, 199
 - lítium-iónového katalyzátora, 199
 - masla, 29
 - metanolu, 199
 - nafty, 199
 - oloveného akumulátoru, 199
 - palivového dreva, 199
 - paliva, 29, 199
 - propánu, 199
 - uhlia, 199
 - vodíku, 199
- energetická intenzita, 115
- energetická účinnosť, 58
- energetické náklady spracovania, 324
- energetické plodiny, 42, 283
- energetický nedostatok, 5, 342
- energetický násobič, 166
- energia, 24
 - chemická, 31
 - úspory, 26
 - v kontraste s výkonom, 24
 - geotermálna, 9
 - kinetická, 28
 - nízko kvalitná, 39
 - vyparovania, 31
 - výdaje, 217
 - vln, 307
- entropia, 26, 92
- Estónsko, 21
- etanol z celulózy, 284
- etanol, 42
 - kalorická hodnota, 199
 - energetická hustota, 199
 - z kukurice, 284
 - z cukrovej trstiny, 284
- Etheridge, D. M., 19
- etické predpoklady, 17
- etika, 11
 - množivého reaktora, 163
 - znečistenia, 14
- Euroópska Únia, 219
- Európa, 43, 104, 108, 207, 233, 338
 - kontinentálna, 145, 146, 329
- Európska asociácia pre veternú energiu, 235
- EV1, 137
- Evans, R. Keith, 139
- Exxon, 219
- fabrika, 88
- Faerské ostrovy, 197, 198
- faktické predpoklady, 17
- farba, 325
- fén, 88
- Fetiš, 138
- FEU, 332
- Ffestiniog, 191
- Fido, 78
- Fínsko, 208, 216
- Fischer, Joška, 177
- Florø, 312
- formácia lietania, 270, 278
- Formula Jeden, 333
- fosílna palivá, 5
 - zlom, 5
- fosílna palivo, 203
 - záloha pre vietor, 187
- Fossett, Steve, 277
- fotosyntéza, 43, 285
- fotovoltaičné články, 45
- fotovoltaika, 38, 39
- Foyers, 191
- fraktál, 65
- Francúzsko, 21, 171, 208, 209, 211
- futbal, 197
- fúzia deutéria, 172
- fúzia lítia, 172
- fúzny reaktor, 172
- fyzik, 2
- fyzika, 30
 - zachovanie energie, 26
 - Newtonove zákony, 269
- fyzikálne zákony
 - zachovania energie, 26
- g, 307
- Gaia, 2
- galón, 331
- General Motors, 129, 137
- genetická modifikácia, 43, 49, 285, 288
- genetické inžinierstvo, 44
- geo-inžinierstvo, 240
- geotermálna energia, 96
- geotermálna ťažba, 96
- geotermálny výkon, 26, 96
- geotermálny, 96, 237
 - zosilnená, 98
 - suché teplé skaly, 99
- Island, 183
- magma, 99
- GHG, *pozri* skleníkový plyn
- gigatona, 240
- gigawatt, 25, 188
- gigawatt-hodina, 25
- Giza, 332
- Glasgow, 33, 56
- Glendoe, 56
- GlobalFlyer, 277
- globálne otepľovanie, 10
- GM EV1, 137
- GM, 129
- gmt, 252
- gnuplot, 252
- Goodstein, David, 2
- Google, 239
- granit, 301, 302, 325
- gravitácia, 307
- Great Yarmouth, 268
- Greenpeace, 4, 19, 161, 210, 235, 269
- Gretar Ívarsson, 97
- grgat', 25
- Grónsko, 10
- Grubb, Michael, 226
- guma, 258, 325
- GW(e), 333
- GW, 25
- G-Wiz, 127
 - údaje, 127
- GWp, 333
- Haishan, 321
- Hammerfest, 84
- Hansen, Jim, 248
- Hawaj, 6
- HDP, 105, 231, 336
- Heatkeeper, 297, 299
- Heaton, Emily, 43
- hektár, 246
- helikoptéra, 128
- Heliodynamics, 40, 48
- heliostaty, 184
- hélium, 280
- Helm, Dieter, 322
- Helston, 91
- Herne Bay, 60
- HEU, 102
- história, 108
- hĺbky vody, 61
- hĺbky, 61
- hliník, 89, 97, 325
 - plechovky, 89
 - zabudovaná energia, 87
 - Island, 183
- hliníkové baterky
 - energetická hustota, 199
- hluchý prílív, 81, 84
- hlúpa reklama, 88
- hmla, 11
- hnojivo, 43, 48, 78, 80
- hobra, 325

- hodín osvitu, 44
 hokejový graf, 19
 Holandsko, 201
 Honda, 31, 139
 FCX Clarity, 130
 auto s palivovým článkom, 130
 Horná snemovňa parlamentu, 228
 horúca voda, 26, 50
 horúce suché skaly, 98, 99
 horúci vzduch, 51
 Housebilder's Bible, 66
 hovädzie mäso, 77
 hp (horse power), 333
 hračky, 68
 hranice, 30
 hriankovač, 25, 50
 hrubá kalorická hodnota, 31
 humanitárna koalícia, 244
 Hummer, 129, 130
 hus, 278
 hustota populácie, 33, 177, 213
 v meste, 152
 hustota výkonu, 41
 všetkých obnoviteľných zdrojov,
 112, 177
 biopaliva, 283
 koncentračnej slnečnej energie, 178,
 184
 elektriny z vody na vysočinách, 56
 kolektorov na ohrev vody, 39
 elektriny z vody, 55, 56
 ozdobnice, 43
 vetra z morí, 60
 fotovoltaiky 47
 rastlín, 43
 repky, 283
 slnečného žiarenia, 38
 vetra, 263
 veternej elektrárne, 32
 hustota, 31, 263
 HVDC, 178, *pozri* vysoko napäťové DC
 hybridné automobily, 126
 porovnanie, 126
 zavádzajúca reklama, 126
 hydraulika, digitálna, 126
 Hyperauto, 139

 chemická energia, 26, 27, 31
 chladiaca veža, 145
 chladnička a mraznička, 50, 69
 chladnička, 50, 147
 chladnička, výroba, 94
 chladničky a riadenie spotreby, 196
 chlpaté deky, 141
 chlpatý, 141
 chôdza, 79
 CHP, 145
 Chrušev, 281

 i MiEV, 137

 iba dočasne, 96
 IKEA, 155
 íl, 325
 Indermuhle, A., 19
 India, 21, 166
 informačné systémy, 68
 infračervený, 10
 inštitút Rocky Mountain, 139
 internet, 21
 internetový odkaz, xi
 invázia Nacistov, 110, 112, 267
 investícia, 217
 inžinier, 31
 IPCC, 36, 169, 249
 Írsko, 73, 187, 201, 312
 výdaj vetra, 187
 Isaac Asimov, 115
 Island, 96, 97, 183, 185, 197
 Islay, 75
 ITER, 172
 izolácia, 141, 205, 296

 jablko, 259
 jačmeň, 286
 jadro, 211
 kapacita, 342
 výroba vodíka, 174
 odstavenie elektrární, 5, 342
 reaktor
 množivý, 163
 energetický násobič, 166
 fúzny, 172
 tlakovodný, 162
 zbraň, 100, 161
 testovanie, 220
 jadrová energia, 2, 4, 18, 19, 68, 206
 náklady, 165, 167
 údaje pre jednotlivé krajiny, 161
 165, 217
 neflexibilita, 186
 elektráreň, 162
 rýchlosť výstavby, 171
 stavba, 169
 potrebné palivo, 165
 jadrová skládka, 220
 jadrový reaktor rýchly brodivý, 163
 jalový výkon, 72
 Japonsko, 21, 144, 151, 173, 268, 338
 legislatíva na podporu účinnosti, 153
 jatropa, 284
 jazdný odpor, 258
 jazero
 Loch Lomond, 192, 193
 Loch Sloy, 56, 193
 je možné mať iba jeden rad, 315, 316
 jedenia mäsa, argument pre, 78
 jedlo, 38
 odpad, 43, 219
 jednotka separačnej práce, 102
 jednotky, 24, 329
 rýchlosť, 263
 premena, 368
 Jersey Water, 93
 Jersey, 310
 JET, 198
 Jevons, William Stanley, 19, 157, 158, 186
 joule, 25, 328
 J-Power, 194
 Juhoaustriálska univerzita, 137
 jumbo lietadlo, 273
 Jutland, 65
 Južná Afrika, 197

 kábel modemu, 68
 kačka Stephena Saltera, 309
 kachle, 50
 Kalifornia, 182
 Kalifornský technologický inštitút, 2
 kalória, 330
 Kalória, 76, 330
 kalorická hodnota, 199
 kalorická hodnota, 29, 31, 48, 213, 284
 masla, 28
 uhlia, 199
 DERV, 199
 nafty, 199
 etanolu, 199
 palivového dreva, 199
 paliva, 29, 199
 hrubá, 31
 vodík, 199
 kerozén, 199
 metanol, 199
 čistá, 29 propán, 199
 odpad, 287
 drevo, 284
 kampaň, 72, 154
 Kanada, 21, 235
 kanvica, 50, 51, 197
 kapacita, 33, 63, 267
 kartón, 284
 katamarán, 128, 280, 282
 Katar, 21
 káva, 332
 Kazachstan, 177, 338
 kazetový prehrávač, 70
 každá maličkosť pomáha, 3, 58, 68
 kcal, 76, 330
 Keeling, C. D., 19
 kelvín, 289
 Kemp, Roger, 135
 Ken, 72, 154
 Kentish Flats, 60, 64, 67, 216
 keramika, 88
 kerozén
 kilokalória, 330
 kilotona, 101
 kilowatt, 50
 kilowatt-hodina za deň, 24
 kilowatt-hodina, 24

- kinetická energia, 28, 255, 263, 307
King, David, 228, 248
Kinlochewe, 55, 56
klimatická zmena, 5, 10
 je o energii, 5
 väčšia hrozba ako terorizmus, 4
klimatickí neaktivisti, 8, 240
klimatizácia, 52, 144, 151
 v autách, 131
kĺzací pomer, 273
kĺzcie číslo, 273
koeficient odporu, 137, 254–256
koeficient straty tepla, 140, 141, 291
koeficient straty tepla, 294, 295, 297
kogenerácia, 145
kohútik, 24
kohútik, 24
kola, 89, 94
koľaj, 119, 258–260
 spotreba energie, 92
 náklad, 92
komín, 145, 157
 elektráreň, 182
Komisia pre trvalo udržateľný rozvoj, 2, 106
kompaktný lineárny fresnelov reflektor, 184
kôň, 78
koncentračná fotovoltaika, 182
koncentrovaná slnečná energia, 40, 178, 184
parabolické žľaby, 178
kondenzácia, 292
kondenzačný kotol, 292
konská sila, 28
kontajner, 91, 332
kontinent, 97
kontinentálna Európa, 145, 329
kontinentálny šelf, 82, 243
konverzná tabuľka, rýchlosť, 263
Konzervatívna strana, 114
kôra, 96
Koriolisova sila, 82
kov, 88
krajiny, 17, 105, 231, 336, 337
 civilizované, 50
krava, 76, 77, 79
kremičitan horečnatý, 246
krídlo, 270
krídllová loď, 279
krúžok, 181, 221
kryštál, 302
kubická stopa, 334
kubický meter, 334
kukurica, 286
kukurica, 49
kúpeľ, 50, 51
kurča, 77
 krmivo, 72
 ekrementy, 41, 286
kúrenie, 203
 účinnosť, 292
 podlahové, 151
kvart, 331
kW(e), 333
kW_o, 333
kyslík, 272
l, 307
La Rance, 84, 85
labouristi, 19
ľadoborec, 133
ľadovce, 6
ľahké drevo, 284, 325
ľahko vyputeľné a zapnutelné, 186
laminátová preglejka, 325
laminátované drevo, 325
Langeled, 62, 63, 219
laptop, 70
Larry, 227
laserová tlačiareň, 69, 70
láska, 4
Lawson, Dominic, 8, 20
LCA, pozri analýza životného cyklu
LCD (monitor z tekutých kryštálov), 70
Learjet, 128, 275
LED, 58, 205
Leggett, Jeremy, 228
lego, 88
les, 205, 235
letecký benzín, 31
letisko Heathrow, 217
LEU, 102
Lexus, 126
Liberálni demokrati 210, 213
Líbya, 177, 338
lietadlá člny ako príklad, 279
lietadlo, 132
lietadlo, 35
 zlepšenie účinnosti, 37
 mýtus o pomalšom lietaní, 269
 turbovtuľové, 35
lietadlová loď, 220
lietanie
 lietajúce člny, 279
 emisie, 16, 36
 formácia, 270
 budúcnosť, 132, 211
 mýty o možnosti spomalenia, 269
 optimálna rýchlosť, 272
 optimálna výška, 277
Limity rastu, 174
Limpet, 75
litánie, 10, 21
liter, 332
lítium, 139, 172, 176
lítium-iónový akumulátor
 účinnosť, 202
 energetická hustota, 199
lítium-iónový polymérový akumulátor
 energetická hustota, 199
lítium-iónový, 137
Livingstone, Ken, 154
Llyn Stwlan, 191
loď, 9
 nákladná, 91
 križník, 88
 spotreba energie, 92
 na jadrový pohon, 133
 farba, 3
lodná doprava, 91, 95, 133
logaritmická mierka, 7, 9
Lomborg, Bjørn, 2
London Array, 66
Londýn, 72, 154, 206, 217
Londýnske metro, 135
Lorem, 137
Los Angeles, 3
Lovelock, James, 2
LPG, 94
lumenov na watt, 58
Lun, 281
lupienky, 80
Luxembursko, 21
m, 329
mačka, 63, 78, 103
magické playing field, 171
magma, 99
make-up, 219
malé je pekné, 161
mali by sme mať zmysluplný plán, 163
Malin Head, 312
malý štvorec, 236
Manzanares, 183
mapa, 11
Maplin, 68
margarín, 29
Marchetti, C., 174
maslo, 29, 31
 kalorická hodnota, 28
mäso, 77
mäsožravec, 77
Mastrandrea, 15
maximálny výkon, 63
Mazda, 131
McCarthy, Donnachadh, 66
McMahon, Richard, 72
McNuggets, 42
MDF, 325
meď, 325
medzikontinentálny let emisie, 16
Mega City, 137
megatona, 101
membrána, 92
merač, 334
merač spotreby, 68
mesačná energia, 82
mesiac, 81, 82, 96
mesto
 Tsukuba, 268
metán, 43, 206, 287
metanol, 209

- kalorická hodnota, 199
 energetická hustota, 199
 metánové hydráty, 243
 metapost, 252
 meter, 328
 Mexická vlna, 307
 Mexiko, 235
 miešanie, 92
 migrácia, 278
 mikro-generácia, 63, 268
 mikro-CHP, 145
 mikroturbína, 63, 268
 mikroviator, 63
 mikrovlny, 50, 51
 miliarda, 11, 217, 329
 miliarda, 329
 milión, 329
 Ministerstvo obrany, 102
 mini-SUV, 138
 miniturbína, 268
 mínometná paluba, 293
 Mio, 329
 MIT, 98, 99
 mliečny 76, 79
 mlieko, 76
 množivý reaktor, 163, 165
 Modec, 138
 model Británie, 115, 204 2008, 116

 model letu, 272
 model, 203
 - bicykla, 259
 - auta, 254
 - letu, 270
 - vlak, 260
 - výkonu vetra, 263
 - veterného mlynu, 264
 modelovanie podnebia, 11
 modem, 68
 môj, 186
 monazit, 166
 monitor, 69
 Moore, Patrick, 161
 morská voda, 93, 162, 166, 172, 174, 176
 morské hĺbky, 61
 morský had, 309
 motivácia, 5
 motorka, 10
 mrazenie, 26
 mraznička, 50
 Mrd, 329
 Mt, 329
 Mtoe, 329
 Mühlhausen, 41, 48
 Murko, 78
 MW(e), 333
 MWp, 333
 MyCar, 137
 mýtus
 - nízka účinnosť auta, 119
 - obchodovanie s emisiami, 226
 - jedlo, 79
 - elektrina z vody, 56
 - oveľa účinnejšie nové lietadlá, 132
 - rýchlosť výstavby nových elektrární, 171
 neutralizácia, 3, 226
 lietadlá by mali letieť pomalšie, 269
 FV články, 45
 chodenie, 79
 spoľahlivosť vetra, 201

 nabíjačka mobilného telefónu, 68, 72
 nabíjačka telefónu, 4, 68
 nabíjačka, 68, 69, 72
 nabíjanie batérií, 197
 nabíjanie, 261
 nabíjanie, elektromobilov, 197
 nabíjateľná baterka, 89, 94
 náboženstvo, 197
 nadmorská výška, 272
 nadnárodné chemikálie, 89
 nafta, 31
 - energetická hustota, 199
 - kalorická hodnota, 199
 náhrada ropy, 42
 nájomník, 227
 nákladná cestná doprava, 91
 nákladná loď
 - na jadrový pohon, 133
 nákladná loď, 133, 324
 - spotreba energie, 92
 nákladná loď, 91
 náklady na odstavenie JE, 175
 náklady na, 214
 - zbrojenie, 221
 - odstavenie jadrovej elektrárne, 175
 - viator na mori, 66
 - viator, 66
 Nanosafe, 137
 Nant-y-Moch, 55
 nápor, 196
 nárast hladiny oceánov, 10, 17
 Národná akadémia vied, 20
 národná spotreba plynu, 200
 Národné laboratórium pre obnoviteľnú energiu, 285

 náš kúsok pomoci, 3
 natankovanie, 44
 názvoslovie, 328
 neaktivista, 8
 nedôveryhodný cudzí štát, 5
 Neftel, A., 19
 neistota, 11
 Nemecko, 21, 33, 34
 nenávisť, 4
 nepresnosť, zámerná, 16
 nepriateľ ľudí, 4
 nerezová oceľ, 325
 neutralizácia, 211

 neutralizácia uhlíku, 3, 226, 244
 neutralizácia, 3, 226, 244
 New Jersey, 236
 New Scientist, 4, 19
 Newbery, David, 226
 newton, 259, 328
 Newtonove zákony, 269
 nezmysel, 171
 nezodpovedný žurnalizmus, 8
 nikdy nehovorte, 25
 nikel-kadmiový akumulátor
 - energetická hustota, 199
 nikel-kadmium, 89, 94
 nikel-kovový hybridný akumulátor
 - energetická hustota, 199
 NIMBY, 208
 nízka tepelná hodnota, 31
 nízko kvalitná energia, 39
 nízko-obohatený urán, 102
 nížiny, 55
 Nórsko, 63, 84, 136, 190, 197, 219, 312
 North Hoyle, 64, 268
 nos, 296
 nosenie svetra, 205
 Nové Mexiko, 182
 Nový Zéland, 264
 nozdry, 296
 NS Savannah, 133

 O'Leary, Michael, 36
 obchod, 88
 obchodovanie s emisiami, 217, 226
 obilie, 286
 obilie, 286
 objem, 24, 331, 332
 - jednotky, 332
 oblačnosť, 38
 oblačný deň, 45
 obnoviteľná energia
 - výskum a vývoj, 221
 - certifikát záväzkov, 66
 obnoviteľné zdroje, prerošovanosť, 186
 obojsmerná výroba, 311
 obrovský vysávač, 244
 obruč, 263
 Ocean Power Delivery (spoločnosť), 309
 oceán, 81
 - ťažba uránu, 165
 oceánsky výmenník tepla, 162, 242
 oceľ, 89, 94, 325
 odhad, 264
 odpad jedla, 43, 48, 219
 odpad jedla, 48
 odpad, 145
 odpadové teplo, 145
 odpor verejnosti, 250
 odpor vzduchu, 118
 odsolovanie, 92, 93, 310
 oheň, elektrický, 51
 Okinawa, 194

- o-km, 118
okno, 294
olivín, 246
Olkiluoto, 216
olovený akumulátor
 účinnosť, 202
 energetická hustota, 199
omyl, *pozri* aj mýtus
 Limity Rastu, 174
Orkneje, 82, 268
orliak morský, 63
orol, 63
ortuť, 58
oslava cestovania, 4
osobo-kilometer, 118
ostrov
 jadrový, 174
Ottov cyklus, 136
Out of Gas, 2
ovce, 78
ovládateľný, 280
ovos, 286
oxid thóričitý, 166
oxid uhličitý, 19, 20
 klimatická zmena, 5
 údaje 6, 9
 ekvivalent, 11
 skleníkový efekt, 5
oxidy dusíku, 36
Oxygen Cargo (elektrický skúter), 138
Oyster, 310
ozdobnica, 43, 48, 205, 283
ozón, 36
- p, 333
palec, 329, 333
palivo
 kalorická hodnota, 29, 199
 energetická hustota, 29, 199
palivové drevo
 kalorická hodnota, 199
 energetická hustota, 199
palivový článok autobusu, 130
 priamy uhlík, 158
papier, 3, 89, 95, 284, 322
parabolický žľab, 178
parfum, 219
parný stroj, 6, 9
partizánska fyzika, 31
pasenie, 78
Pasívny dom, 298
pedant, 31, 65
Pelamis, 74, 208, 309
perióda, 307
pes, 78
PET zabudovaná energia, 94
petagram, 329
Pg, 329
Phoenix SUT, 138
pilot, 277
- pinta, 331, 332
pirohy, 91
plán D, 207
plán E, 211
plán G, 210
plán L, 209
plán M, 214, 216
plán N, 208
plán, 163
planéta Dorkon, 29
planéta, 10
 zničenie, 68
plast, 88, 325
plátok mäsa 77, 79
plavidlo, 279
pláž, 307
plechovka, 89
plechovka, hliníková, 89
plocha na osobu, 32, 338–341
plocha, 55, 332 čelná, 119
plošina Magnus, 63
plutónium, 101, 102
plyn, 206
 skládkový, 287
 metán, 287
 spotreba krajiny, 200
plynný obal, 166
plynomer, 334
plynové potrubie, 62
plynovod, 219
plytká voda, 310
pneumatika, 258
pobrežie, 65, 74
počet áut, ktoré prestanú jazdiť po uliciach, 330
počítač, 68, 69, 89
 výroba, 94
podlahové vykurovanie, 151
pohár čaju, 331
pohár, 332
pochopenie, 16
poistenie, 217
pokojné počasie, 186
polícia v Jersey, 138
politika, 203
poľnohospodársky odpad, 206
pomaranč 96
poměr výťažku energie, 41, 42
 slnečnej FV, 41
 vetra, 42
poměr zdvihu ku ťahu, 273, 278
ponorka, 281
populačný rast, 7, 9, 115
porast s krátkym rubným vekom, 49
Porritt, Jonathon, 2
posledná vec, 240
posuvná strecha, 132
potenciálna energia, 307
pouličné svetlá, 59
povedať nie, 108
Powergen, 342
- pozinkovaná oceľ, 325
pozitívna spätná väzba, 243
ppm, 248
prasa, 77
prášková sadra, 325
pravda, 68
prečerpávacia vodná elektráreň, 86, 189,
 191, 192, 210
- predseda vlády, 3
preglejka, 325
preklad, 368
premena energie, 103
premena jednotiek, 334
prenos, 209
prenosové vedenie, 211
prerušovanosť, 62
Prestatyn, 64
prezentácia
 zavádzajúca 4, 171
prezident Dwight D. Eisenhower, 100, 133
priama normálna ožiarenosť, 180
priamy uhlíkový palivový článok, 158
Priatelja Zeme, 19
priehrada Severn, 85
priehrada, 55
priemerné cestovanie, 30
priemerné rýchlosti vetra, 32
priemerný Brit, 30
priemyselná revolúcia, 6, 9
priepustnosť, 141, 291, 293, 294
prikryvka, 10
prílív a odliv, 82, 237
 ako vlny, 311
 v porovnaní s vetrom, 86
 vysvetlenie, 81
 v oceánoch, 81
 výroba dvoma spôsobmi, 311
 zdroj v Británii, 321
prílív je ako vietor, 315, 316
prílívová elektráreň, 206
prílívová energia, 82, 86
 dve nádrže, 320
prílívová lagúna, 85, 206, 211, 321
prílívová priehrada, 206
prílívové vlny, 83
prílívový bazén, 82
Primátor Londýna, 72, 154
princíp znižovania a zblížovania, 15
Prius, 126, 136
- projektor, 70
propán
 kalorická hodnota, 199
 energetická hustota, 199
proso, 49, 284
protiprúdový výmenník tepla, 296
prúd, 84
ps, 333
PS10, 184
pšenica, 286

- púšť, 178
PVC, 325
pyramída, 332
- QE2, 128
quad, 331
Queen's University v Belfaste, 310
- radiátor, 51
rádio, 70
rádioaktívne žiarenie z uhoľných elektrární, 168
 rádioaktívny rozpad, 96
rádio-budík, 70
raketoplán, 219
Rance, 85
ranč, 42
Range Rover, 128
Rapley, Chris, 115
rastliny
 C3, 49
 C4, 49
 účinnnejšie, 49
Rau, Nick, 19
RAV4, 138
reaktor, 167
 rýchly množivý, 163
recyklovanie, 88, 206
 údaje, 207
reklama podporujúca konzum, 4
rekord, let, 277
rekuperačné brzdenie, 125
repka olejnatá, 283
reportéri, 68
REVA, 127
reverzná osmóza, 92, 93, 196, 310
režim standby, 69
riadenie laminárneho prúdenia, 274
riadenie spotreby, 189, 196, 197
riadenie, 79
riasy, 284, 285, 288
 na biopalivo, 285
 na vodík, 285
rieka, 145
 urán, 165
Rijndam, 133
ROC, *pozri* certifikát záväzkov
Rolls Royce, 37
ropa zo Saudskej Arábie, 9
ropa, 206
 Severné more, 5
 cena, 5
ropa, 4, 6, 7, 15, 17, 206
 ťažba, 5
ropná plošina, 64
ropná veža, 60
ropné elektrárne, 5
ropné pole, 64
ropný magnát, 10
Rosemanowes, 98
- rotor, 267
rovník, 38
Royal Albert Hall, 332
rozhrešenie, 3
rozmanitosť, 207
roztavená soľ, 178
Rubbia, Carlo, 166
rúra, 50, 51
Rusko, 21, 133, 237
Ryanair, 36
rybník, 74
ryby, 137
rýchlosť poklesu, 188
rýchlosť prívlu, 82
rýchlosť straty tepla vedením, 290
rýchlosť vetra
 v Cairngorm, 32
 v Cambridge, 32, 34
 údaje, 265
rýchlosť vlny, 82
rýchlosť, 263, 307
rýchly množivý reaktor, 162, 163
sadra, 325
sadrokartón, 325
Sahara, 178
Saint-Malo, 85
salinita, 242
Salter, Stephen, 135
 kačka, 309
San Francisco, 120
Sandia National Laboratories, 99
Saudská Arábia, 6, 177, 220, 338
Sauven, John, 19
Savannah, 133
SAX-40, 37
Scaled Composites (prostriedok Stevena Fossetta), 277
Scroby Sands, 268
sekunda, 328
sekvestrácia, 157, 240
SELCHP, 216, 287
Severná Amerika, 234
Severné Írsko, 85
Severné more, 73, 82, 83
 ropa, 5
Seville, 184
sexy osobnosti, 205
Shadowfax, 78
Shell UK, 60
Shell, 66, 219
Shetlandy, 268
Shockley–Queisserov limit, 47
Schwarzenegger, Arnold, 130
SI, 328
Sibír, 243
Siegenthaler, Urs, 19
Sinclair C5, 66, 127
Sizewell, 167
skala, 96
Skeptický ekológ, 2
skeptik, 6, 8
- skladať, 22
skládka odpadu, 43, 88, 206, 207
skládkový plyn, 287
sklenkový efekt, 5, 10
sklenkový plyn, 10
sklená vata, 325
sklo, 88, 325
skokový príliv a odliv, 81, 84
slama, 96, 288, 325
slaná voda, 92
sliz, 285
slnčná elektrárňa, 41, 178
slnčná fotovoltaika, 39
 najväčšia elektrárňa na svete, 48
 celosvetovo, 41, 48
slnčná komínová elektrárňa, 182
slnčná tepelná energia, 38, 238
slnčná termálna elektrina, 184
slnčné elektrárne, 208
slnčné kolektory, 301
slnčné panely, 39
 počas zamračeného dňa, 45
slnčné svetlo, 243
slnčné svetlo, 38
 údaje 238
slnčné vykurovanie, 39
slnčné vzostupné veže, 182
slnčný bojovník, 40
slnčný ohrev vody, 205, 238
slnčný svit, 38, 44
slnčný výkon, 38
 koncentračný, 40
 parabolické žľaby, 178
 v autách, 131
slnko, 96
sluha, 24
sluha, 88
Smart Car, 136
Smith, James, 60
Smola, 63
sneh, 243
Snowdonia, 191, 192
sociálne náklady, 23
soľ, uskladnenie tepla, 178
Solarcentury, 228
Solarpark, 41, 48, 216
Solartres, 184
Solúcar, 184, 216
Southampton Geothermal District Heating Scheme, 98, 99
- spaľovanie
 účinnosť, 44
 odpad, 43
spaľovanie odpadu domácností, 43
spaľovanie odpadu, 26, 43, 206, 207, 212
 účinnosť, 213
spaľovanie, 31
spam, 4
spánok, 69
spätne väzby mimo kontrolu, 243

- spojenie
 Anglicko–Francúzsko, 179, 183
 Island, 183
 Nórsko, 197, 207
- spoluspaľovanie s biomasou, 211
- spotreba
 elektriny 186, 188, 342
 plynu 200, 343
- spotreba 22
 v Európe, 104
- spotreba ropy, na svete, 284
- správca, 227
- sprcha, 50, 51
- stavebné drevo, 325
- STE, 184
- stena, 294
- stereo, 69
- Sternova správa, 221, 230
- Stiglitz, Joseph, 221
- Stirlingov motor, 184
- Strana zelených, 210
- Strangford Lough, 85
- Strathclyde University, 202
- strážcovia arzenálu, 220
- stredovek, 108
- stromy, 43, 49, 284 umelé, 249
- Sudán, 177, 338
- sulfid lítny, 202
- súostrovie Scilly, 83
- superjumbo, 132
- surové železo, 9
- sušenie šiat, 51
- sušička, 51
- súťaž v plytvaní energie, 68
- SUV, elektrické, 138
- svet, 17, 105, 221, 231, 336–338
- svetlá, na autách, 57
- svetová spotreba ropy, 284
- svietiť aj naďalej, 68
- SWU, 102, 173
- syr, 76
- šaty, 293
- šikovnosť, 273
- Škótsko 64, 83, 192, 198
 zrážky, 56
- šou Punch a Judy, 250
- Španielsko 178, 183
 vietor, 201
- štadión, 307
- štvorec na púšti, 178, 236
- Švédsko 190, 197, 208
- systém riadený urýchľovačom, 166
- Team Crocodile, 119
- tehla, 325
- technológia, 115
- tekutá soľ
 uskladnenie energie, 178
- tekuté palivá
 z rastlín, 283
- telefón 68
- telefón, 68
- televízia, 68, 103
- Televízne nápory, 196
- tepelná hmota, 305
- tepelná kapacita, 50, 302
- tepelná priepustnosť, 289
- tepelná vodivosť, 302
- tepelné čerpadlo, 26, 52, 205, 300, 301
 vzduch-vzduch, 52, 151, 205
 zima, 153
- tepelný stroj, 145
- teplo nízkej kvality, 97
- teplo, 10
- teplota, 50
- teplotná požiadavka, 292
- termohalinná cirkulácia, 242
- termostat, 4, 141, 154
- terorizmus, 4
- Tesco, 219
- Tesla Roadster, 127
- TEU, 95, 332
- Texas, 182, 187, 201
- th, 333
- Think (auto), 136
- thórium, 166, 174
 v uhlí, 175
 zásoby, 166
 zdroje, 166
- tiché lietadlo, 37
- Tina, 227
- tinyURL, ix, 344
- titaničitán barnatý, 199
- titaničitán lítny, 137
- Titanik, 68, 69
- t-km, 118
- tlačiareň 70
- tlak, 273
- tlakovodný, 162
- TNT, 101
- toaleta, 92
- tok slnečného žiarenia, 38
- tok tepla, 97
- tok, 24, 84
- tona, 331
- ton-km, 118
- topoľ, 205, 283
- tovar, 88
- Toyota Prius, 136
- Toyota RAV4 EV, 138
- Trajekt, 120
- transformátor, 69
- tráva, 42
- trenie pri slapových javoch, 96
- TREV, 138
- Trident, 221
- trojité sklo, 141
- trojkolka, 138
- trolejbus, 120
- trópy, 49
- trubica vzduchu, 255
- trubica, 270, 272
- trvalo udržateľná energia
 environmentálne náklady, 23
 sociálne náklady, 23
- trvalo udržateľné uhlie, 158
- trvalo udržateľný definícia, 157
- tučný znamená 6000 m/s, 277
- tuhý komunálny odpad, 207, 284
- turbína, 145
- turbovrtuľa, 35, 128
- turbovrtuľové, 35
- tvrdé drevo, 284, 325
- ťah, 118
- ťažba uhlia, 158, 161 geotermálna, 96
- ťažba uhlia na svete, 7
- ťažba uránu, 165, 174
- U-faktor, 289, 294
- uhlie kralúje, 8
- uhlie na svete, 6, 7, 9
- uhlie, 8, 94, 206, 284
 Britské zdroje, 6
 kalorická hodnota, 199
 čisté, 203, 212
 obsahuje urán a thórium, 175
 energetická hustota, 199
 ako zdroj rádioaktivity, 168
 odstavky elektrární, 342
 Veľká Británia, 158
 dovoz, 343
 ťažba, 158, 161
 bane, 208
 elektrárne, 5, 157, 330
 produkcia, 6, 343
 náhrada, 42
- uhlíková cena, 211
- uhlíková daň, 331
- uhlíková intenzita, 322
- uhlíková neutralizácia, 3, 211, 226, 244
- uhlíkový offset, 3, 226, 244
- uhlíkový palivový článok, 158
- uhl'ovodík, 17, 28, 41, 74
- uhl'ovodík, 29, 31
- umelé stromy, 249
- umývanie riad, 50, 51
- umývanie šiat, 50, 51
- umývanie, 51
- Univerzita Cambridge, 298
- Univerzita Delaware, 47
- upchávanie dier v stenách, 142, 295
- upíry, výkon, 155
- urán, 101, 166, 206
 cena, 165
 vyčerpaný, 163
 ťažba z morskej vody, 165, 174
 v uhlí, 175
 zásoby, 2, 162
- URL, *pozri* internetový odkaz

- USA, 99, 234
 obilie, 49
 uskladnenie
 kinetická energia, 198
 roztavená soľ, 178
 uskladnenie kinetickej-energie, 198
 uskladnenie uhlíku, 157, 240
 spolumpaľovaním biomasy, 211
 spolumpaľovaním, 212
 USS Akron, 280
 uzol, 84
- účinnosť 191, 201
 účinnosť legislatívy, 153
 účinnosť, 115, 191, 201
 popletená s výkonom, 47
 zlepšenia, 42
 účinnejšie lietadlá, 37
 spaľovania, 44
 elektrární, 49
 slnečných panelov, 47
 možnosti zlepšenia, 23
 účinnosť, 49
 údaje
 rozloha, 338
 kalorické hodnoty, 284
 uhlíková intenzita výroby elektriny, 335
 uhlíková intenzita palív, 335
 koncentrácia CO₂, 6, 9
 dovoz uhlia, 343
 intenzita palív, 335
 výroba uhlia, 6, 7, 9, 343
 dochádzanie 30, 127, 136
 krajiny, 338
 hĺbky, 61
 elektromobil, 127
 kapacita výroby elektriny, 342
 spotreba elektriny, 342
 výroba elektriny, 342, 343
 emisie, 15
 emisie áut, 136
 spotreba energie, 105, 231, 337
 nedostatok energie, 342
 fosílna palivá, 343
 nákladná loď 92 G-Wiz, 127
 spotreba plynu, 343
 dopyt po plyne, 200
 HDP, 105, 231, 336
 emisie skleníkových plynov, 336, 337
 spotreba tepla, 141
 výška, 55
 elektrina z vody, 343
 Island, 97
 dovoz, 323
 spaľovanie 207
 skládka, 207
 jadrová energia, 343
 jadrová energia podľa krajiny, 161
- veterná energia v oceánoch, 64
 spotreba ropy, 284
 cena ropy, 5
 výroba ropy, 5–7, 9
 fotovoltaika, 40
 populácia, 9, 338
 odstavenie elektrární, 5
 prečerpávacie elektrárne, 201
 recyklovanie, 207
 jazdný odpor, 258
 hĺbka morí, 58
 výroba slamy, 286
 slnečnosť, 38, 44, 238
 hustota populácie v mestách, 152
 odpad, 207
 hĺbka vôd, 58
 vietor
 Cairngorm, 32
 Cambridge, 32, 34
 Írsko, 187
 výkyvy výkonu vetra, 188
 drevo, 284
 úrad pre reklamné štandardy, 118
 úspora energie, 26
 úspora veľkovýroby, 34
 úsporná žiarovka, 58
 úsporné, lietadlo, 36
 ústie Severn, 84
 ústie Temže, 64, 82, 83
 útes Horns, 61, 65
 útes, 11
- Vader, Darth, 68
 váha, 59
 Valentia, 312
 Vancouver, 120
 varenie, 50, 207
 varič, 50, 51
 včlenená, 89
 Vectrix, 138
 vegán, 77
 vegetarián, 4, 77
 vegetariánstvo, 78
 Veľká Británia, 17, 21
 uhlie, 6, 7, 9
 výroba elektriny, 342, 343
 teritoriálne vody, 60
 Venturi Fetish, 138
 verejná doprava, 204
 vesmírna loď, 29, 255
 Vestas, 64
 veterná elektrárň Whitelee, 33
 veterná elektrárň, 32, 214
 veterná turbína, 34
 veterný mlyn, 267
 pod vodou, 83
 vetranie, 289, 296
 viacprechodové FV články, 47
 vidiek, 208
 vietor, 187
- vietor na mori, 60, 64
 náklady, 66
 údaje, 64
 hĺbka, 60
 vysokozdvížne nákladné lode, 63, 208, 216
 využiteľnosť, 268
 v plytkých moriach, 60
 v hlbokých moriach, 60, 66
 vietor, 32, 210, 235, 307
 argumenty proti, 187
 v porovnaní s prílivom, 86
 cena, 66
 údaje, 32, 34, 187, 265
 v hlbokých moriach, 61, 66
 prerušovanie, 187
 v Írsku, 188
 mikrovietor, 63, 66
 na mori, 60
 cena, 66
 vysokozdvížne nákladné lode, 63, 208, 216
 London Array, 66
 hustota výkonu, 60
 pôvod, 73
 v Španielsku, 201
 vír, 270
 Virgin Trains, 330
 Virgin, 277
 Viridian Solar, 39
 vírivý vzduch, 255
 viskozita, 309
 vlak, 118–120, 128, 258–260
 nákladný, 92
 vlastné obnoviteľné zdroje, 300
 vlašný, 26
 vlhký, 296
 vlna, 73, 307, 308
 hlbokomorská, 307
 Mexická, 307
 vytvorená loďami, 92
 v plytkých vodách, 312
 ako zdroj, 73
 ako príliv, 311
 vlnová dĺžka, 307
 vlnová elektrárň, 74
 VLS-PV, pozri veľmi rozsiahla fotovoltaika
 voda, 24, 36, 50
 cena, 92
 odsolovanie, 92
 zabudovaná energia, 95
 horúca, 50
 prečerpávanie, 92
 plytká, 310
 vodcovstvo, 230
 vodík, 130, 285
 a bór, 202
 a veterná energia, 195
 kalorická hodnota, 199
 energetické náklady, 139
 energetická hustota, 199
 z rias, 285

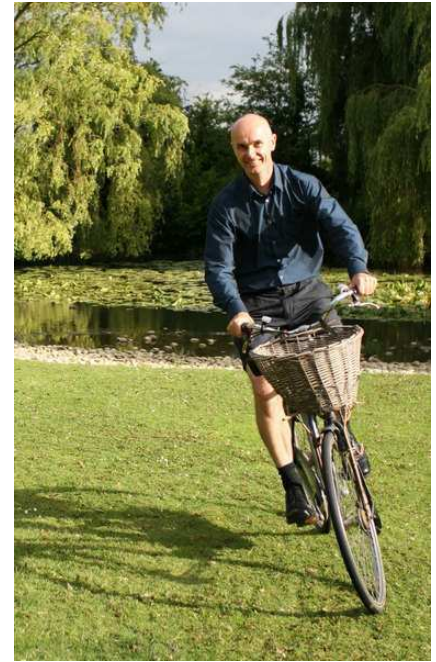
- z baktérií, 42
- lietadlo, 277
- výroba z jadrovej energie, 174
- účinnosť uskladnenia, 196
- vodivosť, 303
- vodná para, 73
- vodný skúter, 128, 130
- vojna, 100
 - v Iraku, 221
 - proti drogám, 219
- Volkswagen, 255
- volt, 50
- vozidlá na vodík, 195
- vozidlo
 - elektrické, 127
 - do siete, 198
- VRB systémy, 200
- vřba, 205, 283
- vrstva (kurčaťa), 77
- vták, 269
 - formácia lietania, 270, 278
 - najdlhší let, 277
 - rozsah, 276 rýchlosť, 272
 - teória, 269
- vtáky a veterné turbíny, 63
- vyhliadkový balón, 325
- výkon na jednotku dĺžky
 - prílivu a odlivu, 83, 312
 - vlny, 74
- výkon na jednotku plochy, *pozri* hustota
- výkon 24
 - slnečnej energie na svete, 41, 48
 - v pohotovostnom režime, 155
 - vetra a elektromobily, 195
 - vody, 55
 - zamieňaný s účinnosťou, 47
 - definícia, 24
 - slnečného žiarenia, 38
 - pri standby, 155
- vykurovací faktor, 147, 154, 292, 300
- výkyvy, 186, 205, 210
- výletná loď, 88
- výmena batérií, 261
- výmenník tepla, 297
- výmenník tepla, oceán, 242
- výmenný kurz, 27
- vypni, 72
- vypni, 154
- vyradenie elektrárne z prevádzky, 217
- vyradenie jadrovej elektrárne, 175
- výroba elektriny, 343
 - z vody, 343
- výroba ocele, 62
- výroba s dvojitým efektom, 311
- výroba, 68, 94, 131
- výrobky, 13, 68, 88
- vysávač, 71
 - obrovský, 244
- výskum a vývoj, 221
- výslovnosť, 328
- vysočiny, 55
 - zrážky, 55
- vysoká tepelná hodnota, 31
- vysoko obohatený urán, 102
- výška letu, 277
- výťažok rastlín, 48, 283
- výťažok, 48
- využitelnosť, 33, 64, 66, 267, 268
- vývoz zbraní, 220
- vzdialenosť, 73
- vzduch
 - spotreba energie, 92
 - horúci, 51
- vzducholod', 280
- vzorec kinetickej energie, 30
 - vlny, 307
- vzostupné slnečné veže, 182
- vždy zapnuté, 96
- W(e), 333
- Wales, 55, 60, 64, 78, 191, 268
- Wartsila–Sulzer, 262
- watt, 68, 328
- Watt, James, 6, 9, 328
- Wavegen, 75
- Weetabix, 42
- Weier, Sven, 72
- Wellington, 264
- Wembley, 332
- White, David J., 60
- Whitstable, 60
- Whorf, T. P., 19
- Wicks, Malcolm H., 111
- Windermere, 192
- Windsave WS1000, 66
- Woodbridge, 82
- Wp, 333
- Xebra, 137
- Yamal, 133
- zábavná elektronika, 69
- zabezpečenie proti prievanu, 132, 289
- zabudovaná energia, 89, 94, 95
 - hliníku, 94
 - budovy, 326
 - stavebných materiálov, 325
 - auta, 94, 324
 - skla, 325
 - kovu, 325
 - papiera, 95
 - PET, 94
 - skaly, 325
 - ocele, 94
 - vody, 95
 - dreva, 325
- začarovaný kruh, 243
- záhrada, 147
- zachraňovanie Titanicu, 68
- zachytávanie a ukladanie uhlíku, 157, 240
- zachytávanie uhlíku, 212
- zámerná nepresnosť, 16
- zamračený deň, 45
- zápcha, 124 zdanenie, 135
- zapnutelné a vypnutelné, 186
- zasklenie, 294
- zasklenie, dvojité, 141
- zásobovanie zelenou energiou, 131
- zástrčka, 50
- zateplenia podkrovia, 141
- zavádzajúca reklama, 126
- zavádzajúca prezentácia, 171
- závislosť, 203
- zavlažovanie, 43
- závodná loď, 130
- záznam letu, 277
- záznam plynomeru, 334
- záznamník, 70
- zbrane, 221
- zdvižná nákladná loď, 63, 67, 207, 216
- Ze-0, 137
- zelené riasy, 285, 288
- zem, 10, 81, 325
 - rozloha 332
- zemný plyn, 206, 287
 - zmeny v spotrebe, 200
 - národná spotreba, 200
- zeppelin, 280
- zima
 - tepelné čerpadlá, 153
- zíškať budovu, 250
- zjednodušenie, 16
- Zlá situácia, 10
- zlepšené
 - získavania geotermálnej energie, 98
- zlo, 68
- zlom jadra, 2
- zlom ropy, 2, 5, 19
- zlom, 267
- zmätenie
 - výkon a účinnosť, 47
 - výkon a energia, 24
- zmena teploty, 301
- zmena životného štýlu, 141
- zmeny v spotrebe energie, 186, 200
- zmeny vzduchu, 289, 296
- značka stop, 255
- znečistenie, 58
- znečisťovateľ platí, 14
- zníženie populácie, 4, 115
- zo vzduchu, 240
- zosilňovač 70
- zotrvačník, 56, 198
- zrážky, 55
- zrkadlo, 40
- zvrásnenie, 82
- žiarovka, 58
 - klasická, 58
 - LED, 58 úsporná, 58
 - nízko energetická, 58
- životný cyklus tovaru, 88
- žurnalista, 139
- žurnalizmus, zlý, 8

Obnoviteľné zdroje energie - s chladnou hlavou

David JC MacKay

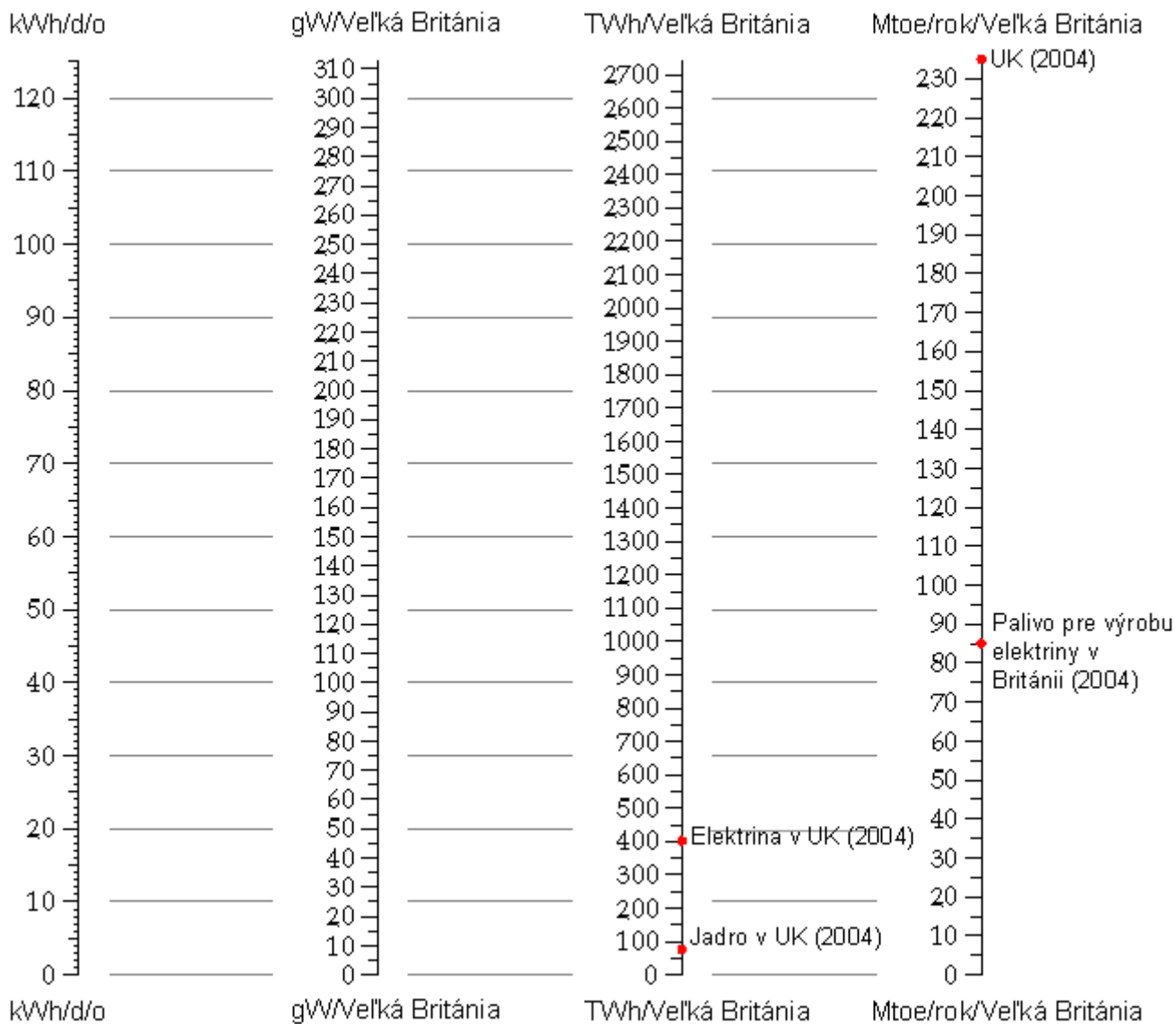
O autorovi

David MacKay je profesor na fakulte fyziky na univerzite v Cambridge. Tu vyštudoval prírodné vedy a titul PhD získal z počítačových a neurónových systémov na Kalifornskom technickom inštitúte (CalTech). Do Cambridge sa vrátil ako člen Kráľovskej spoločnosti na Darwin College. Je medzinárodne uznávaný pre svoj výskum v oblasti strojového učenia, teórii informácie a komunikačných systémov, vrátane vynálezu rozhrania Dasher, programu, ktorý umožňuje účinnú komunikáciu v akomkoľvek jazyku s akýmkoľvek základom. Na univerzite v Cambridge učí fyziku od roku 1995. Od roku 2005 venoval väčšinu času verejným prednáškam o energii. Je členom Rady globálnej agendy pre klimatickú zmenu Svetového ekonomického fóra.



Autor, júl 2008
Fotografia: David Stern

Konverzná tabuľka výkonu



1kWh/d to isté ako 1/24 kW

„UK“ = 60 miliónov ľudí

GW často sa používa pre „kapacitu“ (max. výkon)

TWh/r často sa používa pre priemerný výkon

1 Mtoe „jeden milión ropného ekvivalentu“

Spotreba energie v USA: 250 kWh/d na osobu

Spotreba energie v Európe: 125 kWh/d na osobu

Najčastejšie jednotky výkonu, ktoré sa používajú vo verejných dokumentoch, sú:

Terrawatt-hodiny za rok (TWh/r).

1000 TWh/r vo Veľkej Británii sa zhruba rovná 45 kWh/d na osobu.

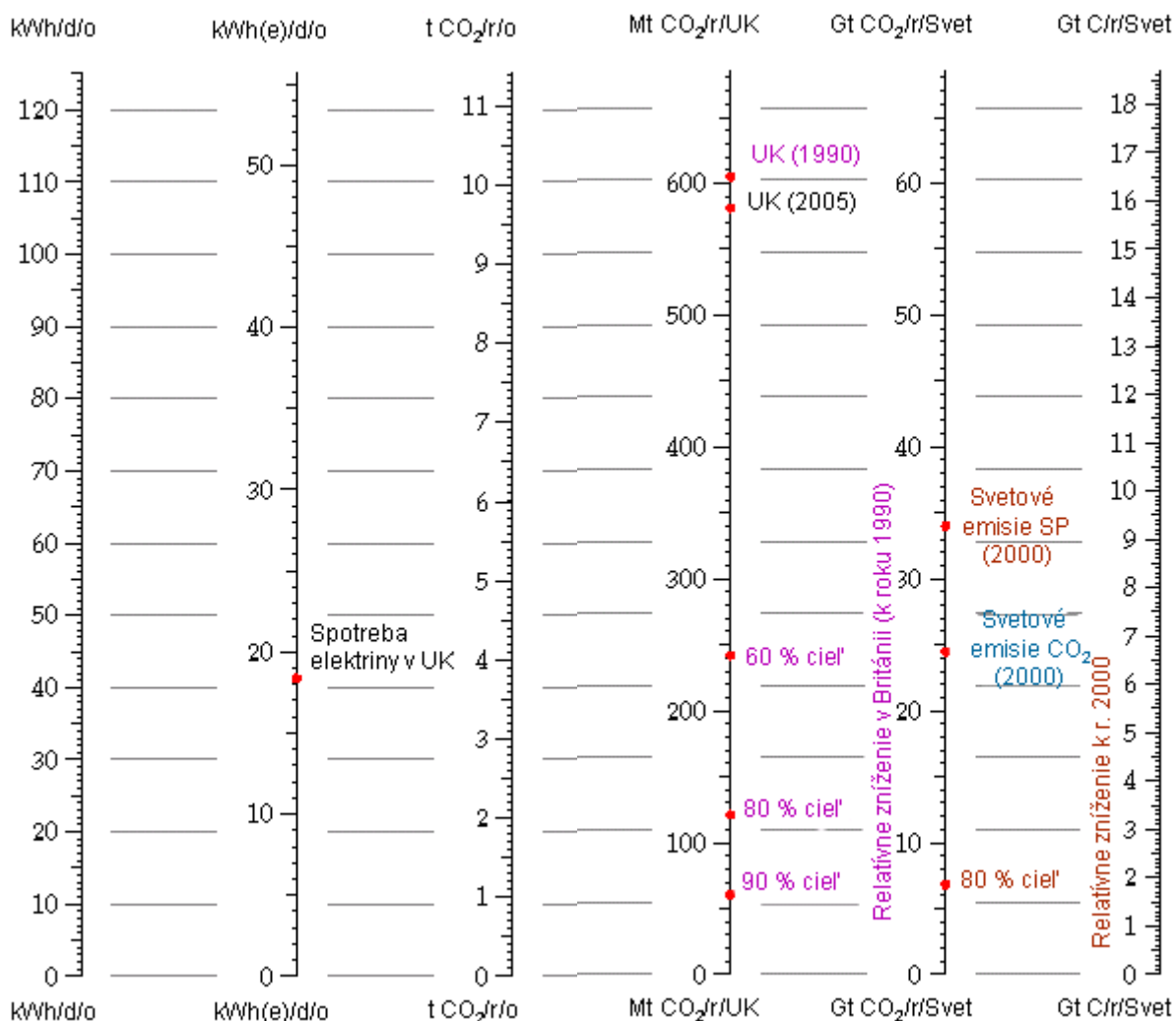
Gigawatty (GW).

2,5 GW vo Veľkej Británii je 1kWh/d na osobu.

Milióny ton ropného ekvivalentu za rok (Mtoe/r)

2 Mtoe/r vo Veľkej Británii je zhruba 1 kWh/d na osobu

Konverzná tabuľka oxidu uhličitého



kWh pomer premeny *chemickej* energie:
 1 kWh ⇔ 250 g CO₂ (ropa, benzín)
 (pre plyn, 1 kWh ⇔ 200g)

kWh(e) *elektrická* energia je nákladnejšia:
 1 kWh(e) ⇔ 445 g CO₂ (z plynu)
 (z uhlia je to dvojnásobne viac)

t CO₂ tona CO₂
 MtC milión ton CO₂

„UK“ = 60 miliónov ľudí
 „Svet“ = 6 miliárd ľudí

Internetová stránka knihy

Registrujte si svoju knihu: získate posledné informácie, oznámenie o činnosti autora a zľavy na nové vydania knihy.

www.uit.co.uk/register

Zdroje pre vašu knihu: linky pre ďalšie čítanie, komentáre autora na aktuálne dianie a viac.

www.uit.co.uk/resources

Správy: nové tituly, udalosti, recenzie, rozhovory, podcasty, adť.: ***www.uit.co.uk/resources***

Pridajte sa na náš mailing list: získajte e-mailové správy o zaujímavých témach:

www.uit.co.uk/subscribe

Objednajte si knihy: objednajte si online. Ak máte kníhkupectvo, dozviete sa viac o distribúcii alebo nás kontaktujte so špeciálnymi požiadavkami. ***www.uit.co.uk/order***

Tlačové správy/média/obchod: pre titulné obrázky, alebo usporiadanie rozhovoru a návštevy s autorom, navštívte: ***www.uit.co.uk/order***

Pošlite nám svoj vlastný nápad do knihy: ak chcete napísať – napríklad ak máte iba zárodok nejakého nápadu – veľmi radi sa o ňom dozvieme. Veľmi radi podporíme našich autorov a urobíme proces písania knihy tak uspokojujúci a jednoduchý, ako sa len dá.

www.uit.co.uk/for-authors

UIT Cambridge Ltd.
PO Box 145
Cambridge
CB4 1GQ

E-mail: *inquiries@uit.co.uk*

Telefón: **+44 1223 302 041**