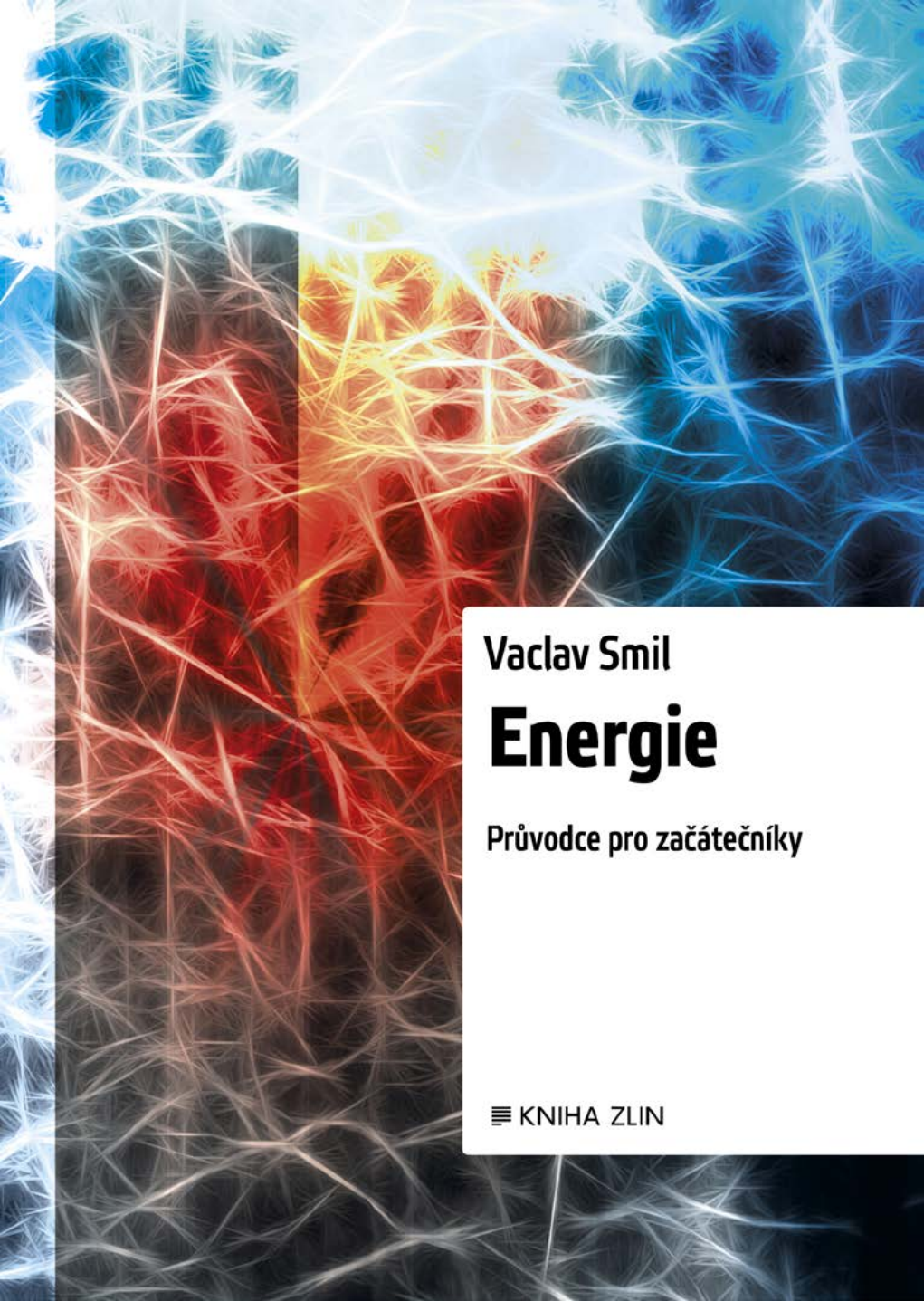




Vaclav Smil

Energie

Průvodce pro začátečníky

≡ KNIHA ZLIN

Energie

Průvodce pro začátečníky

Vyšlo také v tištěné verzi

Objednat můžete na
www.knihazlin.cz
www.albatrosmedia.cz

 **KNIHA ZLIN**

Vaclav Smil

Energie – e-kniha
Copyright © Albatros Media a. s., 2018

Všechna práva vyhrazena.
Žádná část této publikace nesmí být rozšiřována
bez písemného souhlasu majitelů práv.


ALBATROS MEDIA a.s.

TEMA

Copyright © 2006, Vaclav Smil

The moral rights of the author have been asserted

Translation © Pavel Kaas, 2018

ISBN tištěné verze 978-80-7473-654-6

ISBN e-knihy 978-80-7473-650-6 (1. zveřejnění, 2018)

Vaclav Smil

Energie

Průvodce pro začátečníky

V překladu Pavla Kaase

 KNIHA ZLIN

Energie zvládne vše, co lze ve světě udělat.

Johann Wolfgang von Goethe (1749–1832)

Obsah

- 1 **Energie v naší mysli: pojmy a měřítka** | 15
- 2 **Energie v biosféře: fungování přírody** | 45
- 3 **Energie v historii lidstva: svaly, nástroje a stroje** | 91
- 4 **Energie v moderním světě: civilizace fungující na fosilní paliva** | 135
- 5 **Energie v každodenním životě: od jídla po e-mail** | 193
- 6 **Energie v budoucnosti: trendy a neznámo** | 237
- Rejstřík | 269

Přehled ilustrací

Není-li uvedeno jinak, je vlastníkem autorských práv k ilustraci autor.

- 1 **James Watt (bez copyrightu)** | 19
- 2 **James Joule (bez copyrightu)** | 19
- 3 **Energie a jejich konverze** | 24
- 4 **Radiační bilance Země** | 46
- 5 **Elektromagnetické spektrum** | 52
- 6 **Geotektonické desky** | 62
- 7 **Cyklus C_3/C_2** | 71
- 8 **Kleiberova čára** | 81
- 9 **Specifický bazální metabolismus (BMR)** | 82
- 10 **Relativní podíl BMR u dospělých** | 98
- 11 **Celoživotní vývoj specifického BMR u mužů a chlapců** | 99
- 12 **Populační hustota jednotlivých režimů zásobování potravy** | 110
- 13 **Čínský vůl a francouzský kůň zapřažení k pumpování vody (reprodukce z Tian gong kai wu, 1637, a L'Encyclopedie, 1769–1772)** | 113
- 14 **Klipr z devatenáctého století (bez copyrightu)** | 126
- 15 **Francouzské kolo se spodním nátokem ze sklonku osmnáctého století (reprodukce z L'Encyclopedie)** | 130
- 16 **Řez francouzským větrným mlýnem z osmnáctého století (reprodukce z L'Encyclopedie)** | 132
- 17 **Větrný mlýn z konce devatenáctého století na severoamerických Velkých planinách (reprodukce z Wolff, A. R. 1900. The Windmill as Prime Mover)** | 133
- 18 **Globální produkce uhlí, surové ropy a zemního plynu a výroba elektřiny** | 137

- 19 **Parní stroj Jamese Watta (vlevo) a detail odděleného kondenzátoru (reprodukce z Farey, J. 1827. A Treatise on Steam Engines) | 145**
- 20 **Řez Parsonsovou parní turbínou o výkonu 1 MW (reprodukce z 11. vydání Encyclopedia Britannica, 1911) | 148**
- 21 **Energetická bilance tepelné elektrárny na uhlí | 172**
- 22 **Kapacita větrné produkce elektrické energie ve světě a v USA | 180**
- 23 **Dodávky fotovoltaických článků ve světě a v USA | 181**
- 24 **Atmosférické koncentrace CO₂ (odvozeno z dat Carbon Dioxide Information and Analysis Center) | 188**
- 25 **Změny výživy v Číně, 1980–2000 (odvozeno z dat různých vydání China Statistical Yearbook) | 197**
- 26 **Účinnost svítidel | 207**
- 27 **Globální registrace motorových vozidel (odvozeno z dat Motor Vehicle Facts & Figures) | 212**
- 28 **Řez proudovým motorem GE90 (vyobrazeno s laskavým svolením General Electric) | 221**
- 29 **Boeing 747-400 fotografovaný na mezinárodním letišti Los Angeles (snímek přetisknut s laskavým svolením Briana Locketta) | 223**
- 30 **Rozložení průměrné národní energetické spotřeby na osobu a Lorenzova křivka globální komerční energetické spotřeby | 243**
- 31 **Porovnání energetické hustoty spotřeby energie a produkce obnovitelné energie | 250**
- 32 **Dekarbonizace světového zásobování energií | 261**
- 33 **Větrná elektrárna v Albany, USA (reprodukováno s laskavým svolením Western Power Corporation) | 265**

Energie v naší mysli: pojmy a měřítka

Slovo energie je stejně jako mnoho dalších abstraktních pojmů (počínaje hypotézou a konče sófrosyné) řeckou složeninou. Aristotelés (384–322 př. n. l.) vytvořil tento pojem ve své *Metafyzice* spojením εν (v) a έργο (práce) do termínu ενεργεια (*energeia*, „skutečnost identifikovaná pohybem“), který propojil s *entelechií*, tj. „kompletní realitou“. Podle Aristotela existenci každého předmětu udržuje *energeia* související s funkcí předmětu. Sloveso *energein* má tudíž znamenat pohyb, akci, práci a změnu. Tyto definice nevylepší žádný zásadní intelektuální pokrok po téměř celá dvě následující tisíciletí, a dokonce i mnozí zakladatelé moderní vědy přicházeli s naprosto mylnými představami o energii. Nakonec se tento termín stal prakticky neodlišitelným od výkonu a síly. V roce 1748 si David Hume (1711–1776) v díle *An Enquiry Concerning Human Understanding* postěžoval, že „se v metafyzice nevyskytují pojmy nejasnější a nejistější než *síla*, *výkon*, *energie* nebo *nezbytná spojitost*, s čímž se neustále musíme potýkat ve všech našich výkladech“.

V roce 1807 v přednášce pro Royal Institution definoval Thomas Young (1773–1829) energii jako produkt hmotnosti tělesa a čtverce jeho rychlosti, čímž vyslovil nepřesný vzorec (hmotnost by měla být vydělena dvěma) a omezil vysvětlení na kinetickou (mechanickou) energii. O tři desetiletí později sedmé vydání *Encyclopedia Britannica* (dokončené v roce 1842) přineslo pouze velice stručný a nevědecký záznam popisující energii jako „sílu, účinek nebo výkon tělesa. Používá se též obrazně k označení důraznosti projevu.“ V běžném projevu se od té doby, vlastně už od Humeových časů, změnilo kromě frekvence nesprávného užívání pojmu jen málo. Na počátku 21. století se podstatné jméno energie i z něj odvozené přídavné jméno (energický) používají zcela bez výběru jako kvalifikátory jakéhokoli množství rušných, živých, intenzivních akcí a prožitků a energie je stále běžně zaměňována se silou, mocí a výkonem. Příklady je spousta – výkonný nový ředitel vnáší čerstvou energii do staré společnosti; dav je v moci působivého řečníka; pop kultura je měkkou silou Ameriky.

Stoupenci fitness jdou ještě dál a prohlašují (proti veškeré logice i vědeckým důkazům), že jsou nabití energií *po* obzvlášť náročném delším cvičení. Ve skutečnosti tím chtějí říci, že se po něm cítí lépe, pro což máme naprosto srozumitelné vysvětlení – dlouhodobé fyzické cvičení podporuje uvolňování endorfinů (neurotransmitterů, které tlumí vnímání bolesti a navozují euforii) v mozku, a může tudíž navozovat výrazné pocity pohody. Po dlouhém běhu můžete být unavení, dokonce i vyčerpaní, můžete být nadšení až euforičtí – ale nikdy nemůžete být nabití energií, tj. nemůžete mít vyšší hladinu akumulované energie, než jste měli, než jste se rozběhli.

Věda o energii: původ a abstrakce

Používání vžitých pojmů bez jakéhokoliv řádu se vymýtit nedá, ale pro více než stoleté užívání špatně definované terminologie v odborných textech není omluvy. Teoretické výzkumy energie dosáhly uspokojivé (ačkoliv ne dokonalé) koherence a srozumitelnosti před koncem 19. století, kdy po generacích váhavého progresu propuknuvší intelektuální a vynálezecká aktivita v západním světě položila pevné základy moderní vědy a záhy vyvinula mnohé z jejích sofistikovanějších konceptů. Budování základů tohoto vývoje začalo v 17. století a významně pokročilo o století později, kdy bylo podpořeno přijetím Newtonova (1642–1727) komplexního vnímání fyziky i technickými experimenty souvisejícími zejména se zdokonalením parních strojů Jamesem Wattem (1736–1819) (obr. 1; viz též obr. 19).

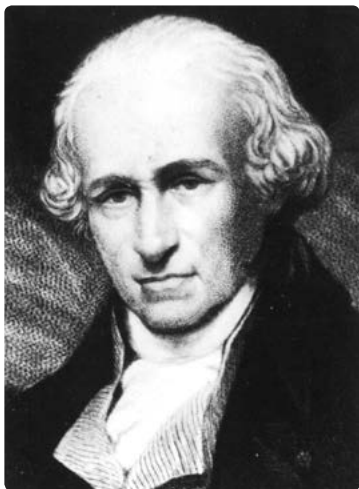
Na počátku 19. století byly klíčovým příspěvkem k mnohostranné povaze moderního chápání energie teoretické dedukce mladého francouzského technika Sadiho Carnota (1796–1832), který stanovil univerzální principy platné pro produkci kinetické energie z tepla a definoval maximální účinnost ideálního (vratného) tepelného stroje. Krátce nato Justus von Liebig (1803–1873), jeden ze zakladatelů moderní chemie a vědecky podloženého zemědělství, předložil v zásadě správný výklad metabolismu lidí a zvířat, v němž přisoudil vznik oxidu uhličitého a vody oxidaci potravy.

Formulace jednoho z nejzásadnějších zákonů moderní fyziky má původ v cestě na Jávou, kterou v roce 1840 podnikl mladý německý lodní lékař Julius Robert Mayer (1814–1878). Krev pacientů, jimž tam pouštěl žilou (tento postup se v léčbě řady onemocnění uplatňoval ještě dlouho

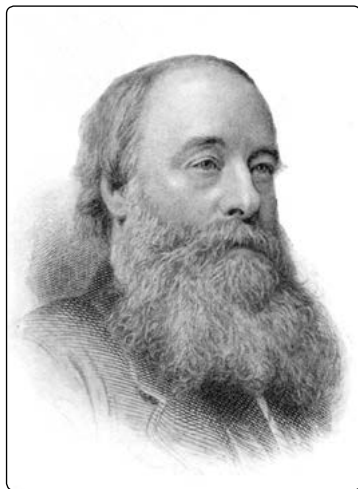
i v 19. století), se zdála být mnohem světlejší než krev pacientů v Německu.

Mayer nešel pro vysvětlení daleko. Krev v tropech podle něj nemusí být tolik okysličována jako v mírném podnebném pásu, protože v teplém podnebí není k tělesnému metabolismu zapotřebí tolik energie. Tato odpověď jej však zavedla k další zásadní otázce. Pokud se v tropech ztrácí méně tepla vyzařováním, co teplo ztracené v důsledku fyzické práce (tj. vynaložení mechanické energie), která zjevně ohřívá okolní prostředí, ať již je vykonávána v Evropě, nebo v tropické Asii? Pokud mu nepřisoudíme nějaký mysteriózní původ, pak i toto teplo musí pocházet z oxidace krve, a tudíž teplo a práce musí být ekvivalentní a v pevně daném poměru převoditelné. Tak začala formulace zákona zachování energie. V roce 1842 Mayer publikoval první kvantitativní odhad energetického ekvivalentu a tři roky nato rozšířil koncept zachování energie na veškeré přírodní jevy včetně elektřiny, světla a magnetismu a popsal detaily svého výpočtu založeného na pokusu s prouděním plynu mezi dvěma izolovanými válci.

Správnou hodnotu ekvivalentu tepelné a mechanické energie našel anglický fyzik (obr. 2) James Prescott Joule (1818–1889) poté, co provedl spoustu pečlivých experimentů. Joule používal vysoce citlivé teploměry k měření teploty vody mísené soustavou otočných lopatek poháněných klesajícími závažími; toto uspořádání umožňovalo poměrně přesné měření mechanické energie vynaložené na proces míchání. V roce 1847 přinesly Jouleovy puntíkářské experimenty výsledek s méně než 1% odchylkou přesnosti od skutečné hodnoty. Zákon zachování energie, podle nějž energii nelze vyrobit ani zničit, je nyní všeobecně znám jako první zákon termodynamiky.



1 | James Watt



2 | James Joule

V roce 1850 německý teoretický fyzik Rudolf Clausius (1822–1888) publikoval svoji mechanickou teorii tepla, v níž prokázal, že maximální výkon dosažitelný ze stroje využívajícího Carnotův cyklus závisí výlučně na teplotách zásobníků tepla, nikoliv na charakteru pracovního média, a že chladnější těleso nemůže samovolně předávat teplo tělesu teplejšímu. Clausius na této zásadní teorii dále pracoval a v díle z roku 1865 poprvé použil pojem *entropie* (z řeckého „přeměna“) k měření míry degradace v uzavřeném systému. Clausius rovněž jasně definoval druhý zákon termodynamiky, podle něhož entropie vesmíru směřuje k maximální hodnotě. V praxi to znamená, že v uzavřeném systému (bez jakéhokoli přísunu energie zvenčí) může dostupnost využitelné energie pouze klesat. Kus uhlí

je vysoce kvalitní a vysoce uspořádaná (s nízkou entropií) forma energie, jehož spálení vyprodukuje teplo, rozptýlenou, neuspořádanou (s vysokou entropií) formu energie nízké kvality. Tato sekvence je nevratná: rozptýlené teplo (a uvolněné plynné spaliny) se už nikdy nemůže znovu stát kusem uhlí. Teplo má tudíž v hierarchii energií jedinečnou pozici: všechny ostatní formy energie lze v teplo zcela přeměnit, jeho přeměna na jiné formy však nikdy nemůže proběhnout beze zbytku, protože pouze určitý podíl prvotního vstupu skončí jako nová forma.

Druhý zákon termodynamiky – univerzální směřování k tepelné smrti a degradaci – se stal snad nejvýznamnější ze všech kosmických generalizací, ač jej většina nevědců nadále ignoruje. Tuto skutečnost famózně vystihl C. P. Snow (1905–1980), anglický fyzik, politik a spisovatel, ve své redeovské přednášce (Rede Lecture) z roku 1959 nazvané *Dvě kultury a vědecká revoluce*:

Mnohokrát jsem byl přítomen shromážděním lidí považovaných podle měřítek tradiční kultury za hluboce vzdělané, kteří s gustem vyjadřovali úžas nad nevzdělaností vědců. Tu a tam jsem se nechal unést a zeptal se společnosti, kolik z nich by dokázalo popsat druhý zákon termodynamiky. Reakce byla chladná a záporná zároveň. A přesto byla má otázka jakýmsi vědeckým ekvivalentem dotazu: „Četli jste Shakespeara?“

Navzdory předpokládané univerzálnosti se zdá, že je druhý zákon neustále porušován živými organismy, jejichž početí a růst (jako jedinců) i evoluce (jako druhů a ekosystémů) produkují výrazně uspořádanější a komplexnější formy života. Ve skutečnosti však o žádný konflikt nejde,

protože druhý zákon termodynamiky se vztahuje pouze na uzavřené systémy s termodynamickou rovnováhou. Biosféra Země je otevřený systém, který bez ustání importuje sluneční energii a využívá její fotosyntetické konverze na novou fytomasu jako základu pro vyšší uspořádanost a organizovanost (redukci entropie).

Třetí zákon termodynamiky, který formuloval roce 1906 Walther Nernst jako tepelný teorém, říká, že všechny procesy dospějí k zastavení (a entropie na tom nic nemění), pouze pokud se teplota přiblíží absolutní nule ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$).

První desetiletí 20. století přineslo zásadní rozšíření prvního zákona termodynamiky, když v roce 1905 Albert Einstein (1879–1955) dospěl k závěru, že hmota sama je formou energie. Podle snad nejslavnější rovnice na světě $E = mc^2$ je energie rovna součinu hmotnosti a čtverce rychlosti světla. Pouhé čtyři tuny hmoty podle této rovnice obsahují ekvivalent roční světové spotřeby komerční energie. Tento ohromující potenciál však zůstává právě jen potenciálem, protože nemáme prostředky k uvolnění energie hmoty například z vápence nebo z vody.

Relativně velký (avšak stále nedostačující) podíl hmoty dokážeme v komerčním měřítku konvertovat na energii pouze prostřednictvím jaderných reaktorů; štěpením jádra jednoho kilogramu uranu-235 se uvolní množství energie odpovídající 190 tunám surové ropy, přičemž dojde k úbytku pouhého gramu (čili jedné tisíciny) původní hmoty. Naproti tomu spálením jednoho kilogramu surové ropy dojde k úbytku pouhé jedné desetimiliardtiny hmoty paliva (a kyslíku potřebného k jeho spálení), což je redukce tak malá, že je prakticky neměřitelná.

Po necelém století usilovného vědeckého bádání bylo poznání podstaty fenoménu energie prakticky kompletní.

Navzdory tomuto obsáhlému a vysoce komplexnímu vědeckému úspěchu však není nijak snadné porozumět základnímu konceptu, který je mnohem obtížnější pochopitelný než například hmota nebo teplota. Richard Feynman, jeden z nejbrilantnějších fyziků 20. století, to ve svých proslulých *Přednáškách z fyziky* z roku 1963 shrnul s odzbrojující upřímností:

Je důležité si uvědomit, že současná fyzika vlastně neví, co je to energie. Nepředstavujeme si, že by se energie vyskytovala v určitém počtu malých kapiček. Tak to není. Existují však vztahy pro výpočet určité číselné veličiny... Je to abstraktní věc v tom smyslu, že to neříká nic o mechanismu nebo příčinách jednotlivých vztahů. (Překlad M. Jodas a I. Štoll, 2000.)

Avšak jakkoliv je to obtížné, musíme se snažit do tohoto abstrakta více proniknout.

Základní pojmy: energie, konverze, účinnost

Dosud nejběžnější definicí energie je „schopnost vykonat práci“, ale úplný význam tohoto jednoduchého výroku se stává jasným, až když přestaneme uvažovat o práci jen jako o mechanické námaze (fyzikálně vzato o energii přenášené vyvinutím síly, obecně vzato o vykonané práci, ať už je to vytuknutí písma na stroji nebo zasazení rýžové sazenice) a vztáhneme tento pojem obecně na jakýkoliv proces, který produkuje změnu (místa, rychlosti, teploty, složení) zasaženého systému (organismu, stroje, planety).

Pokud budete následujících deset minut nehybně sedět v izolované místnosti a zvažovat tento výrok, nevyvinete v omezeném, striktně fyzikálním a běžně užívaném smyslu uplatnění síly k mechanickému výkonu žádnou práci.

Avšak i když nehybně sedíte, váš metabolismus vykonává spoustu práce, protože energie získaná ze strávené potravy je využívána (abychom uvedli alespoň čtyři zásadní procesy) k dýchání, při němž dochází k příjmu kyslíku a uvolňování oxidu uhličitého; k udržování tělesné teploty zhruba 37 °C; k pumpování krve; a tvorbě řady enzymů, jež řídí vše počínaje trávením a konče přenosem nervových signálů. Usilovným přemýšlením o abstraktním pojmu ve skutečnosti opravdu využíváte o něco více energie, avšak navazování všech těch nervových spojení ve vašem mozku navíc znamená jen zcela zanedbatelné zvýšení energetické náročnosti. Dokonce i když tvrdě spíte, váš mozek se podílí na zhruba 20 % metabolismu vašeho organismu, a ani náročná duševní zátěž tento podíl nijak výrazně nenavýší.

Mimo izolovanou místnost je práce vykonávaná jednotlivými energiemi prováděna nesčetskou spoustou způsobů. Blesk, který sjede z letní oblohy, pracuje úplně jinak než gigantický přístavní jeřáb zvedající obrovské ocelové kontejnery z mola a skládající je do závratné výšky na nákladní loď. A tyto rozdíly spočívají v jedné z nejzásadnějších skutečností fyziky, jíž je existence různorodých forem energie a jejich konverze v prostoru a čase v řádech od galaktického po subatomický a od evolučního po efemérní. Blesk pracuje během nepatrného zlomku sekundy, kdy ozáří a ohřeje atmosféru a rozloží molekuly dusíku, čímž přemění elektrickou energii výboje mezi mraky nebo mezi mrakem a zemí na energii elektromagnetickou, tepelnou a chemickou. Naopak motory nákladních jeřábů v kontejnerových přístavech pracují

Z na	elektromag- netické	chemické	tepelné	kinetické	elektrické	jaderné	gravitační
elektromagne- tickou	–	chemiluminis- cence	tepelné záření	urychlování náboje fosfor	elektromagnet- ické záření elektroluminis- cence	gama reakce jaderné bomby	–
chemickou	fotosyntéza fotochemie	chemické zpracování	var disociace	radiolytická disociace	elektrolýza	radiační katalýza ionizace	–
tepelnou	solární absorpce	spalování	tepelná výměna	tření	odporové vytápění	štěpení fúze	–
kinetickou	radiometry	metabolismus svaly	tepelná expanze vnitřní spalování	převody	motor elektro- strikce	radio- aktivita jaderné bomby	padající předměty
elektrickou	solární články fotovoltaika	palivové články baterie	termoelektrína termionika	konvenční generátor	–	nukleární baterie	–
jadernou	gama- neutronové reakce	–	–	–	–	–	–
gravitační	–	–	–	stoupající předměty	–	–	–

3 | Energie a jejich konverze

nepřetržitě a konvertují elektrickou energii v mechanickou a polohovou energii naskládaného nákladu.

Energie není jednoduchá a snadno definovatelná entita, ale spíše abstraktní kolektivní pojem, jímž fyzikové 19. století označili celou škálu přírodních i antropogenních (lidmi vyvolaných) jevů. Jejými nejběžněji se vyskytujícími formami jsou teplo (tepelná energie), pohyb (kinetická nebo mechanická energie), světlo (elektromagnetická

energie) a chemická energie paliv a živin. Některé jejich konverze jsou samotným základem života: během fotosyntézy se malá část elektromagnetické energie světla stává chemickou energií bakterií a rostlin, vaření a topení probíhá konverzí chemické energie biomasy (dřeva, dřevěného uhlí, slámy) nebo fosilních paliv (uhlí, ropy, plynu) na energii tepelnou (obr. 3). Jiné přeměny umožňují ve velkém měřítku využívaný komfort: konverze chemické energie v bateriích na energii elektrickou pohání miliardy mobilních telefonů, přehrávačů i rádií. Další druhy konverze jsou naopak poměrně vzácné, například gama-neutronové reakce, k nimž dochází konverzí elektromagnetické energie na energii jadernou, jsou využívány pouze pro specializované vědecké a průmyslové cíle.

Kinetická energie souvisí s veškerou pohybující se hmotou, ať už jde o těžké protipancéřové granáty z ochuzeného uranu nebo cáry mračen vznášející se nad tropickým deštým pralesem. Její projevy jsou snadno zaznamatelné a její velikost lze snadno vypočítat, protože jde o prostou polovinu hmotnosti pohybujícího se předmětu (m) vynásobenou čtvercem jeho rychlosti (v): $E_k = \frac{1}{2} mv^2$. Zásadní je fakt, že kinetická energie závisí na čtverci rychlosti předmětu. Zdvojnásobením rychlosti se energie zvětšuje čtyřnásobně, ztrojnásobením pak již devítinásobně, a tudíž se při vysoké rychlosti dokonce i malé předměty mohou stát velmi nebezpečnými. Vichry o síle tornáda, jejichž rychlost přesahuje 80 m/s (téměř 290 km/h) dokážou zarazit stéblo rovnající se hmotností peříčku do kmene stromu, drobná částička kosmického smetí (např. uvolněný šroubek) pohybující se rychlostí 8000 m/s dokáže proděravět tlakový skafandr kosmonauta pohybujícího se vesmírem a kosmická loď může být poškozena mikrometeoroidem

Teplo

Spalné teplo (neboli specifická energie) je rozdíl mezi energií vazeb ve výchozích reaktantech a vazeb v nově vzniklých sloučeninách. Nejméně účinná paliva (mokrá rašelina, mokrá sláma) uvolňují méně než třetinu tepelné energie produkované spalováním benzínu nebo petroleje. Energetický obsah paliva, potravin nebo jakéhokoliv jiného spalitelného materiálu lze snadno stanovit spálením absolutně suchého vzorku v kalorimetru (zařízení, které měří teplo uvolněné během chemických reakcí). Teplo je uvolňováno řadou dalších energetických konverzí. Jaderné štěpení je významným komerčně využívaným procesem, jehož teplo slouží k výrobě elektřiny, teplo vznikající odporem vůči elektrickému proudu se využívá k přípravě jídla, ohřevu vody a vytápění, tření produkuje značný podíl nežádoucího (v převodech vozidel) i nevyhnutelného (na styku pneumatik s vozovkou) tepla.

Jakmile je teplo vytvořeno, může se šířit třemi způsoby: *vedením* neboli *kondukcí* (což je přímý molekulární kontakt nejběžnější v pevném skupenství), *prouděním* neboli *konvekcí* (pohybem kapalin nebo plynů) a *sáláním* neboli *radiací* (vyzařováním elektromagnetických vln tělesy teplejšími než jejich okolí). Většina tepla sálajícího při teplotách okolního vzduchu z povrchu Země, z rostlin, budov i lidí má formu neviditelného infračerveného záření, ale žhavé (o teplotě nad 1200 °C) předměty, jako například vinutá wolframová

vlákna v žárovkách, tavená ocel v elektrických pecích nebo vzdálené hvězdy, sálají za doprovodu viditelného světla.

Latentní teplo je množství energie potřebné k dosažení změny fáze látky beze změny teploty. Změna vody na páru (latentní teplo odpařování) při teplotě 100 °C vyžaduje přesně 6,75× více energie než změna ledu na vodu při teplotě 0 °C.

Na ohřev vody rovněž připadá většina z rozdílu mezi hrubou (a tedy vyšší) výhřevností paliva a jeho čistou (nižší) výhřevností. První hodnota se rovná celkovému množství energie uvolněné jednotkou paliva při spalování, kdy je veškerá voda kondenzována na kapalné skupenství (a tudíž došlo k rekuperaci odpařeného tepla); k druhé hodnotě dojdeme po odečtení energie potřebné k odpaření vody vzniklé během spalování. Tento rozdíl činí zhruba 1 % u koksu (což je v podstatě prakticky čistý uhlík, jehož spalování generuje pouze oxid uhličitý), kolem 10 % u zemního plynu a téměř 20 % u čistého vodíku (jehož spalování generuje pouhou vodu). Rozdíl může být ještě větší u dřeva, ale pouze na malé části tohoto rozdílu se podílí vodík přítomný v palivu. Čerstvé (mokré) dřevo prostě obsahuje příliš mnoho (někdy přes 75 %) vlhkosti; většina tepelné energie uvolněné spalováním nevyzrálého (zeleného) dřeva se spotřebovává na odpařování vody místo na ohřev okolního prostoru, a pokud má mokré dřevo více než 67 % vody, ani nedojde k jeho zapálení.

pohybujícím se rychlostí 60 000 m/s (ač se toto riziko jeví jako skutečně minimální).

Potenciální (polohová) energie je výsledkem změny umístění hmoty v prostoru nebo jejího uspořádání. Gravitační potenciální energie vznikající změnou polohy v gravitačním poli Země je všudypřítomná; získává ji vše, co stoupá, ať je to vznášející se vodní pára, ruka zdvižená v gestu, letící pták nebo vzlétající raketa. Praktickým příkladem využití gravitační potenciální energie s významným ekonomickým přínosem je voda zadržovaná přehradní hrází ke spouštění na lopatky turbíny, a tím k výrobě elektřiny. Tímto způsobem se vyrábí téměř 20 % celosvětové produkce elektrického proudu. Potenciální energie vody za přehradní hrází (nebo kamene vratce umístěného na zvětřavajícím svahu) je prostým násobkem změny polohy hmoty o hmotnosti m směrem vzhůru, její průměrné výšky nad povrchem (h) a tíhového zrychlení (g): $E_p = mgh$. Pružiny napnuté vinutím jsou běžným příkladem praktického využití elastické potenciální energie, která je zadržována deformací a uvolněna jako užitečná práce, když se pružina rozvíjí a pohání hodinový stroj nebo mechanickou hračku.

Biomasa (živě zastoupená v rostlinách, mikroorganismech, zvířatech a lidech, neživě především v půdě, organické hmotě a kmenech stromů) a fosilní paliva (vznikající přeměnou neživé biomasy) jsou enormní zásobárnou chemické energie. Tato energie je udržována v atomových vazbách pletiv, tkání a paliv a je uvolňována spalováním (rychlou oxidací), jež produkuje teplo (*exotermní* reakce). To vede ke vzniku nových chemických vazeb a k tvorbě oxidu uhličitého, často k emisím dusíku a mnohdy i oxidů síry, v případě kapalných a plyných paliv také k uvolňování vody.

Účinnost energetické konverze je prostým poměrem žádoucího výstupu oproti počátečnímu vstupu. Snad nejvýš-