

Obsah

Předmluva a poděkování	...9
-------------------------------	------

Kapitola 1 Energie a společnost	...11
--	-------

1.1 Toky, zásoby a ovládání	...15
1.2 Koncepty a měřítka	...19
1.3 Složitosti a zádrhele	...30

Kapitola 2 Energie v pravěku	...35
-------------------------------------	-------

2.1 Společenstva sběračů	...43
2.2 Původ zemědělství	...59

Kapitola 3 Tradiční zemědělství	...67
--	-------

3.1 Společné rysy a odlišnosti	...71
3.1.1 Obdělávání půdy	...72
3.1.2 Dominance zrnin	...77
3.1.3 Sklizňové cykly	...83
3.2 Cesty k intenzifikaci	...86
3.2.1 Tažná zvířata	...87
3.2.2 Zavlažování	...99
3.2.3 Hnojení	...106
3.2.4 Rozmanitost plodin	...110
3.3 Setrvačnost a inovace	...111
3.3.1 Starověký Egypt	...113
3.3.2 Čína	...116
3.3.3 Mezoamerické kultury	...123
3.3.4 Evropa	...126

- 3.3.5 Severní Amerika ...133
- 3.4 Limity tradičního zemědělství ...139
 - 3.4.1 Úspěchy ...140
 - 3.4.2 Výživa ...147
 - 3.4.3 Limity ...150

Kapitola 4 Předindustriální hnací síly a paliva ...159

- 4.1 Hybné síly ...163
 - 4.1.1 Živá síla ...165
 - 4.1.2 Vodní energie ...181
 - 4.1.3 Větrná energie ...194
- 4.2 Paliva z biomasy ...201
 - 4.2.1 Dřevo a dřevěné uhlí ...202
 - 4.2.2 Posklizňové zbytky a trus ...207
- 4.3 Potřeby pro domácnost ...210
 - 4.3.1 Příprava jídla ...211
 - 4.3.2 Teplo a světlo ...214
- 4.4 Doprava a stavebnictví ...218
 - 4.4.1 Pohyb po souši ...218
 - 4.4.2 Veslice a plachetnice ...229
 - 4.4.3 Budovy a stavby ...240
- 4.5 Hutnictví ...253
 - 4.5.1 Neželezné kovy ...254
 - 4.5.2 Železo a ocel ...257
- 4.6 Válčení ...264
 - 4.6.1 Energie živé síly ...265
 - 4.6.2 Výbušniny a zbraně ...270

Kapitola 5 Fosilní paliva, primární elektřina a obnovitelné zdroje ...274

- 5.1 Velký přechod ...278
 - 5.1.1 Počátky a rozšíření těžby uhlí ...279
 - 5.1.2 Od dřevěného uhlí ke koksu ...285
 - 5.1.3 Parní stroje ...286
 - 5.1.4 Ropa a spalovací motory ...298
 - 5.1.5 Elektrická energie ...309

5.2	Technické inovace	...324
5.2.1	Uhlí	...330
5.2.2	Uhlovodíky	...333
5.2.3	Elektrina	...340
5.2.4	Obnovitelné zdroje energie	...345
5.2.5	Hnací síly v dopravě	...350

Kapitola 6 Civilizace založená na fosilních palivech ...356

6.1	Bezprecedentní síla a její využití	...358
6.1.1	Energie v zemědělství	...368
6.1.2	Industrializace	...377
6.1.3	Doprava	...389
6.1.4	Informace a komunikace	...400
6.1.5	Hospodářský růst	...413
6.2	Následky a obavy	...421
6.2.1	Urbanizace	...422
6.2.2	Kvalita života	...427
6.2.3	Politické důsledky	...437
6.2.4	Zbraně a války	...441
6.2.5	Environmentální změny	...456

Kapitola 7 Energie ve světových dějinách ...462

7.1	Základní modely využití energie	...463
7.1.1	Energetické éry a přechody	...465
7.1.2	Dlouhodobé trendy a klesající náklady	...476
7.1.3	Co se nezměnilo?	...487
7.2	Mezi determinismem a volbou	...499
7.2.1	Imperativy potřeby a využívání energie	...500
7.2.2	Důležitost ovládacích prvků	...508
7.2.3	Limity vysvětlení energie	...514

Dodatky ...529

Základní měřítka	...529
Vědecké jednotky a jejich násobky a zlomky	...531
Chronologie vývoje energetiky	...532
Výkon v historii	...540

Bibliografické poznámky ...543

Odkazy ...547

Jmenný rejstřík ...605

Věcný rejstřík ...609

Kapitola 1

Energie a společnost

Energie je jedinou univerzální měnou: má-li se cokoli realizovat, některá z jejích mnoha forem musí být vždy transformována. Univerzální projevy těchto přeměn sahají od obrovských rotací galaxií až po termonukleární reakce ve hvězdách. Na Zemi se tyto projevy pohybují od teraformačních sil deskové tektoniky, které rozdělují dna oceánů a tvoří nová pohoří, až po kumulativní erozivní dopady drobných dešťových kapek (jak Římané věděli, *gutta cavat lapidem non vi, sed saepe cadendo* – kapka vody udělá prohlubeň v kameni ne silou, ale neustálým odkapáváním). Život na Zemi – navzdory desetiletím pokusů zachytit smysluplný mimozemský signál je to stále jediný život ve vesmíru, o kterém víme – by byl nemožný bez fotosyntetické přeměny sluneční energie na fyto masu (rostlinnou biomasu). Na této transformaci závisí přežití lidstva a na mnoha dalších energetických tocích závisí jeho civilizovaná existence. Jak řekl Richard Adams (1982, s. 27):

Můžeme uvažovat jakkoli horečně, ale pokud nemáme prostředky na přeměnu myšlenek v činy, zůstanou myšlenkami. [...] Historie postupuje nepředvídatelně. Dějinné události však nutně nabývají struktury nebo organizace, které musí být v souladu s jejich energetickými složkami.

Evoluce lidských společností má za následek větší počet obyvatel, rostoucí složitost sociálních a výrobních uspořádání a vyšší kvalitu života pro stoupající počet lidí. Ze základního biofyzikálního hlediska lze jak prehistorickou lidskou evoluci, tak i běh dějin chápat jako snahu ovládnout větší zásoby a toky koncentrovanějších a všestrannějších forem energie a přeměnit je dostupnějšími způsoby s nižšími nároky a vyšší účinností na teplo, světlo a pohyb. Tuto tendenci zobecnil Alfred Lotka (1880–1949), americký matematik, chemik a statistik, ve svém zákonu maximální energie: „V každém uvažovaném případě bude přírodní výběr směřovat ke zvýšení celkové hmoty organického systému, zvýšení rychlosti cirkulace hmoty systémem a ke zvýšení celkového energetického toku systémem, dokud je přítomen nevyužitý zbytek hmoty a dostupná energie“ (Lotka, 1922, s. 148).

Dějiny po sobě jdoucích civilizací, největších a nejsložitějších organismů v biosféře, se odvíjely přesně v tomto duchu. Lidská závislost na stále vyšších energetických tocích může být považována za nevyhnutelné pokračování evoluce organismu. Wilhelm Ostwald (1853–1932, nositel Nobelovy ceny za chemii z roku 1909 – za práci o katalýze) byl prvním vědcem, který jednoznačně rozšířil platnost „druhého termodynamického zákona na veškeré a jakékoli jednání a zejména na souhrn lidských konání. [...] Na tuto transformaci nejsou připraveny všechny energie, pouze určité formy, které proto dostaly název volné energie. [...] Volná energie je tedy kapitál spotřebováváný všemi tvory všeho druhu a vše se děje její přeměnou“ (Ostwald, 1912, s. 83). To ho vedlo k formulaci energetického imperativu: „Vergeude keine Energie, verwerte sie“ – „Nemrhejte energií, využijte ji“ (Ostwald, 1912, s. 85).

Tři citáty ilustrují, jak Ostwaldovi následovníci opakují jeho závěry a jak někteří z nich učinili spojení mezi energií a všemi lidskými záležitostmi deterministicky ještě explicitnějším. Na počátku sedmdesátých let Howard Odum (1924–2002) přišel s variací na Ostwaldovo klíčové téma: „Dostupnost zdrojů energie určuje množství pracovní aktivity, které může existovat, a kontrola těchto toků energie určuje výkon v lidském konání a v jeho relativním vlivu na přírodu“ (Odum, 1971, s. 43). Na konci osmdesátých let Ronald Fox uzavřel

knihu o energii v evoluci výrokem, že „při každém zdokonalení propojení energetických toků došlo ke zdokonalení kulturních mechanismů“ (Fox, 1988, s. 166).

Člověk nemusí být zrovna vědec, aby dokázal najít propojení mezi přísunem energie a společenským pokrokem. Toto napsal Eric Blair (George Orwell, 1903–1950) v roce 1937 v druhé kapitole *Cesty k Wigan Pier* po své návštěvě hlubinného uhelného dolu:

Naše civilizace – nic proti Chestertonovi – je závislá na uhlí, a to mnohem významněji, než si člověk uvědomuje, dokud se na to skutečně nesoustředí. Stroje, které nás udržují při životě, a stroje, které vyrábějí další stroje, jsou všechny přímo nebo nepřímo závislé na uhlí. V metabolismu západního světa je horník hned na druhém místě za člověkem, který orá pole. Je to jakýsi atlant, na jehož bedrech spočívá téměř vše, co není ukoptěné. Z tohoto důvodu stojí za to sledovat skutečný proces, kterým se uhlí těží, pokud máte příležitost a jste ochotni si s tím dát tu práci. (Orwell, 1937, s. 18)

Opakované zdůrazňování tohoto základního spojení (jako to dělá Orwell) a tvrzení, že ke kulturnímu zdokonalení došlo s každým zdokonalením energetického toku (Fox), jsou však dvě různé věci. Orwellův závěr je nesporný. Foxovo vyjádření je zjevně přeformulováním deterministického pohledu, který o dvě generace dříve vyslovil antropolog Leslie White (1900–1975), jenž jej nazval prvním důležitým zákonem kulturního rozvoje: „Za stejných okolností se stupeň kulturního rozvoje mění přímo podle množství energie využitě k práci na hlavu a rok“ (White, 1943, s. 346). I když nemůže být sporu ani o Ostwaldově fundamentální formulaci, ani o všezahrnujícím vlivu energie na strukturu a dynamiku vyvíjejících se společností (nic proti Orwellovi), deterministické spojování úrovně využití energie s *kulturními* úspěchy je velice diskutabilní. Tuto kauzalitu (nebo její spornost) probírám v závěrečné kapitole této knihy.

O základní povaze konceptu není pochyb. Jak řekl Robert Lindsay (1975, s. 2):

Pokud dokážeme najít jediné slovo, které vyjadřuje myšlenku, jež se vztahuje na každý prvek naší existence způsobem, který v nás vyvolává dojem skutečného vystižení, dosáhli jsme čehosi úsporného a mocného. Tak se stalo s ideou vyjádřenou slovem energie. Žádný jiný koncept tak nesjednotil naše chápání prožitku.

Co to však je energie? Je překvapivé, že i nositelé Nobelovy ceny mají velké potíže s uspokojivou odpovědí na tuto zdánlivě jednoduchou otázku. Richard Feynman (1918–1988) v slavné knize *Feynmanovy přednášky z fyziky* zdůraznil, že „je důležité si uvědomit, že ve fyzice dnes nemáme žádnou povědomost o tom, co to je energie. Nemáme jasně danou představu energie přicházející v hrudkách po určitém množství“ (Feynman, 1988, 4–2).

Co víme, je, že veškerá hmota je klidová energie, že se energie projevuje mnoha způsoby a že tyto odlišné formy energie jsou spojeny četnými přeměnami, z nichž mnohé jsou univerzální, všudypřítomné

Na \ Z		Elektro- magnetické	Chemické	Jaderné	Tepelné	Kinetické	Elektrické
Elektro- magne- tickou			chemilu- miniscence	jaderné bomby	tepelná radiace	akcelerující náboje	elektro- magnetická radiace
Chemickou	fotosyntéza		chemické úpravy		vaření	disociace radiolýzou	elektrolýza
Jadernou	gamma- neutrono- vé reakce						
Tepelnou	solární absorpce		spalování	štěpení / fúze	výměna tepla	tření	odporové topení
Kinetickou	radiometry		meta- bolismus	radio- aktivita / jaderné bomby	tepelná expanze / vnitřní spalování	převody	elektro- motory
Elektrickou	solární články		palivové články / akumulá- tory	jaderné baterie	termoelek- trika	elektrické generátory	

Obrázek 1.1 Matice energetických přeměn. Tam, kde existuje více možností, nejsou identifikovány více než dvě hlavní transformace.

a nepřetržité, jiné velmi lokalizované, vzácné a pomíjivé (obr. 1.1). Pochopení těchto zásob, potenciálů a přeměn se rychle rozšířilo a systematizovalo, a to převážně v průběhu 19. století, a tyto znalosti byly zdokonaleny během 20. století, kdy jsme – jak výmluvné, pokud jde o složitosti přeměn energie – pochopili, jak uvolnit jadernou energii, a to dříve (teoreticky do konce třicátých let, prakticky do roku 1943, kdy začal fungovat první reaktor), než jsme poznali, jak funguje fotosyntéza (její sekvence byly rozklíčovány až v průběhu padesátých let).

1.1 Toky, zásoby a ovládání

Všechny známé formy energie jsou kriticky významné pro lidskou existenci, což je realita, která vylučuje jakékoli pořadí jejich důležitosti. V průběhu dějin toho bylo mnoho, co bylo určeno a ohraničeno jak univerzálními, tak planetárními toky energie a jejich regionálními nebo místními projevy. Základní charakteristiky vesmíru jsou určovány gravitační energií, která řídí nespočet galaxií a hvězdných systémů. Gravitace také udržuje naši planetu na oběžné dráze ve správné vzdálenosti od Slunce a uchovává dostatečně silnou vrstvu atmosféry, díky níž je Země obyvatelná (rámeček 1.1).

Jako u všech aktivních hvězd i Slunce pohání termojaderná fúze a produkt těchto termonukleárních reakcí se dostává na Zemi jako elektromagnetická (sluneční, zářivá) energie. Její tok se pohybuje v širokém spektru vlnových délek, včetně viditelného světla. Asi 30 % tohoto obrovského proudění odráží mraky a povrchy, asi 20 % je absorbováno atmosférou a mraky a zbytek, zhruba polovina celkového přítoku, je absorbován oceány a kontinenty, přeměňován na tepelnou energii a zpětně vyzařován do vesmíru (Smil, 2008a). Geotermální energie Země se sčítá s mnohem menším tepelným tokem: je výsledkem původního gravitačního narůstání planetární hmoty a rozpadu radioaktivní hmoty a pohání velké tektonické procesy, které neustále mění uspořádání oceánů a kontinentů a způsobují sopečné erupce a zemětřesení.