

ENERGIE A SPOLEČNOST

Tomáš Milěř

Studijní opora pro Praktikum k výuce o přírodě a společnosti 3

Cílem tohoto textu je seznámit studenty s rolí energie v přírodě a ve společnosti. Základem textu je kapitola „Zdroje energie“ ze skript „Vybrané kapitoly z ekologie a environmentální vědy“ (Ač et al. 2013) dostupných online na adrese <<http://amper.ped.muni.cz/miler/.ekoskripta>>.

Země poskytuje dostatek všeho k uspokojení potřeb každého člověka, ale ne k uspokojení naší nenasytnosti.

Mahatma Gandhi

Úvod

Zákonitosti platné v malých ekosystémech jsou přenositelné na fungování celé společnosti. Každý organismus v ekosystému i naše civilizace musí odněkud získávat energii. V potravním řetězci dochází k energetickým ztrátám podobně jako na cestě od primárního zdroje ke konečnému spotřebiteli. Na získávání energie je vždy nutné energii vynaložit. Pro fungování každého systému existuje určitá minimální energetická návratnost. Pokles energetické návratnosti je obvykle spojen s vývojem civilizací a jejich kolapsem.

Energie – fyzikální veličina

Energie je jednou z nejvýznamnějších fyzikálních veličin. Často bývá definována jako schopnost hmoty nebo pole konat práci. Hlavní jednotku energie je Joule, přičemž 1 J je definován jako práce, kterou vykoná síla 1 N působící po dráze 1 m.

Veličiny energie E , práce W a teplo Q mají stejné jednotky, ale je mezi nimi kvalitativní rozdíl. Zatímco energie popisuje stav systému (stavová veličina), práce a teplo jsou veličiny dějové. Práce (mechanická) je číselně rovna velikosti energie dodané na posouvání nebo deformaci tělesa. Teplo je část vnitřní energie, kterou si těleso vymění s jiným tělesem bez konání práce. Příklad: při řezání dřeva se vykoná práce a zahřeje se list pily.

Termodynamické zákony:

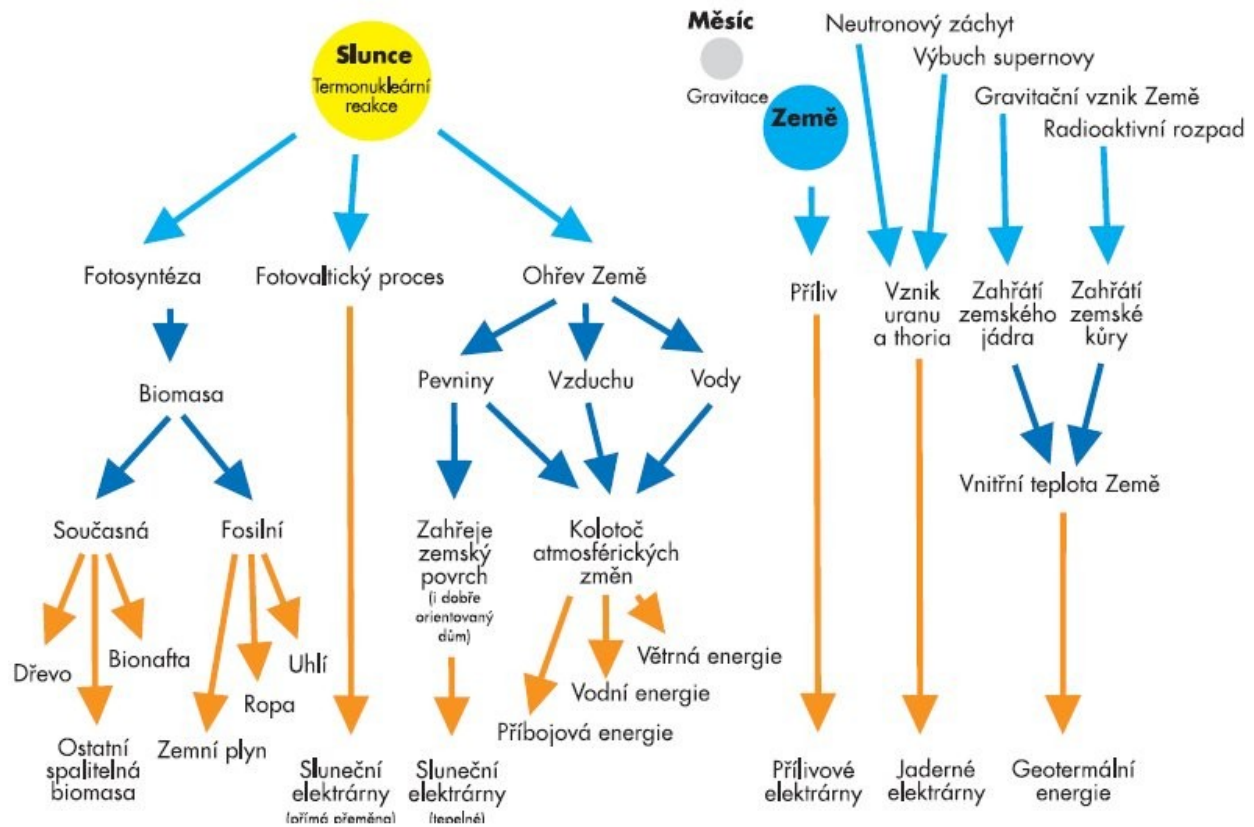
1. Energie nevzniká ani nemizí, pouze mění své formy (zákon zachování energie).
2. Samovolné děje v přírodě směřují k méně uspořádaným stavům. (Jiná formulace: Při tepelné výměně energie samovolně přechází z tělesa teplejšího na chladnější.)
3. Při absolutní nule je entropie nulová. (resp.: Teplota $T = 0$ K je nedosažitelná.)

Způsoby přenosu energie:

- *vedením*,
- *zářením* (elektromagnetickým, v případě IR záření mluvíme o *sálání*),
- *prouděním* (konvekci).

Vybrané převody jednotek:

- $1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$
- $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$
- $1 \text{ kCal} = 4,187 \text{ kJ}$
- $1 \text{ Btu} = 1,055 \text{ kJ}$
- $1 \text{ TOE} = 41,868 \text{ GJ}$



Obrázek 1: Schéma znázorňující druhy energií dostupných na Zemi pro potřeby lidstva a jejich původ. Převzato z (Křepel 2003).

Z hlediska energetiky rozlišujeme:

- *Primární energie* – je k dispozici v přírodních zdrojích (např. uhlí, ropa, sluneční záření, vítr...).
- *Koncová energie* – je k dispozici odběrateli po odečtení ztrát zpracováním a dopravou (např. benzín, topný olej, pelety, elektřina, teplo...).
- *Užitná energie* – je k dispozici uživateli pro pokrytí jeho potřeb (např. teplo pro topení, osvětlení).

Při přeměně primární energie na jiné formy a při transportu vznikají ztráty, takže k uživateli se obvykle dostane jen zlomek, přičemž další ztráty energie jsou spojeny s provozem spotřebičů.

Energie v přírodě

Aby druh přežil, musí být schopen z prostředí brát dostatek energie na aktivity spojené se získáváním potravy, zajištěním vlastní bezpečí, pářením a péčí o potomstvo atd. Různé druhy si v daných podmínkách vyvinuly různé strategie, jak energii získávat, a jak s ní hospodařit. Například strategie lenochoda a geparda jsou hodně odlišné, přesto lze oba považovat za evolučně velice úspěšné druhy.

Teplokrevní živočichové¹ udržují svou vnitřní teplotu na stálé hodnotě (především řízením svého metabolismu²), díky čemuž jsou schopni získávat potravu i v chladném prostředí. Za tuto výhodu však platí velkými energetickými ztrátami, musí proto konzumovat mnoho potravy. Plaz vystačí s daleko menším množstvím potravy než savec podobné velikosti. Energie vázaná v potravě má svůj původ ve slunečním záření, ovšem studenokrevní plazi velkou část potřebné energie berou ze slunečního záření přímo. Svou tělesnou teplotu regulují tak, že se vyhřívají na slunci nebo vyhledají stín. Metabolické rychlosti savců (na jednotku hmotnosti) se s rostoucí velikostí snižují (Peusner 1984). Malí savci musí jíst velmi rychle velké množství potravy. Piskoř malý má dokonce tak vysokou rychlost metabolismu, že denně musí sníst skoro ekvivalent hmotnosti svého těla.

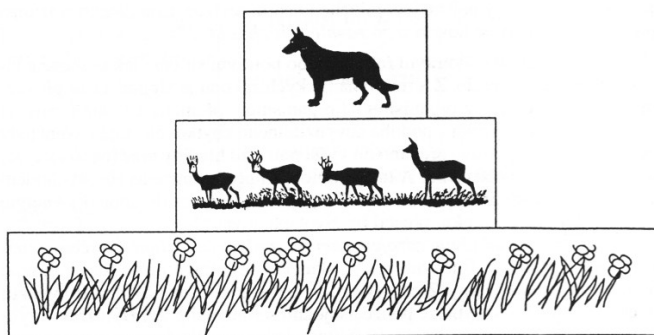
Vzájemné vztahy druhů v ekosystémech jsou jemně vyvážené, a důležité je správné načasování všech dějů. Náhlá změna podmínek může omezit schopnost určitého druhu získávat potravu (resp. energii). Bylo pozorováno, jak změna klimatu ovlivňuje načasování sezónního hnízdění ptáků a lokální dostupnosti potravy. Ptáci, kteří do svého hnízdiště přiletí v obvyklém čase, zmeškají vrchol výskytu housenek i o několik týdnů. Strádají, což se projeví negativně na jejich fyzické kondici, schopnosti rozmnožovat se a vyvést mladé (Thomas et al. 2001).

Energetická pyramida

V ekologii se ke znázornění konkrétních potravních řetězců používá uspořádání jednotlivých článků řetězce – tzv. trofických úrovní – do obrazce ve tvaru pyramidy. Pro sestavení takové *ekologické pyramidy* lze použít tři různých kritérií. Šířka sloupců, z nichž je pyramida sestavena, může představovat *počet jedinců či druhů*, *hmotnost biomasy* nebo *množství energie* příslušící danému článku řetězce. Na obrázku 2 je příklad energetické pyramidy, kde rozdíl mezi šířkou jednotlivých stupňů představuje energetické ztráty, ke kterým v potravním řetězci nutně dochází (ztráty spojené s dýcháním, vylučováním, vyzářováním apod.).

1 Rozdělení na teplokrevné a studenokrevné není zcela korektní, proto se v odborné literatuře spíše nepoužívá.

2 *Metabolismus* je přeměna látek v buňkách a organismech. Metabolismus rozdělujeme na *anabolismus* (výstavbový proces) a *katabolismus* (rozkladový proces).



Obrázek 2: Příklad energetické pyramidy. Převzato z (Braniš 2003).

Ekologické pyramidy znázorňující počty se často pyramidě nepodobají. Např. je-li v základně pyramidy jako producent určitý druh stromu, živí se na něm mnoho druhů hmyzu, takže sousedící vyšší stupeň bude širší. Hmotnost stromu je však mnohem větší než celková hmotnost hmyzu, proto v pyramidě biomasy bude spodní stupeň nejširší. Ani schéma znázorňující biomasu však není vždy ve tvaru pyramidy, např. je-li producentem fytoplankton a konzumentem 1. řádu zooplankton. Fytoplanktonu je méně než zooplanktonu, ale rychle se obnovuje. Znázornění množství energie má vždy podobu pyramidy pro všechny potravní řetězce. K energetickým ztrátám totiž dochází ve shodě s termodynamickými zákony na každé trofické úrovni.

Problematiku toků energie trofickými úrovněmi v přírodních ekosystémech rozpracoval koncem 60. let Howard T. Odum, a později analyzoval také ekosystémy umělé (např. města).

Energie a společnost

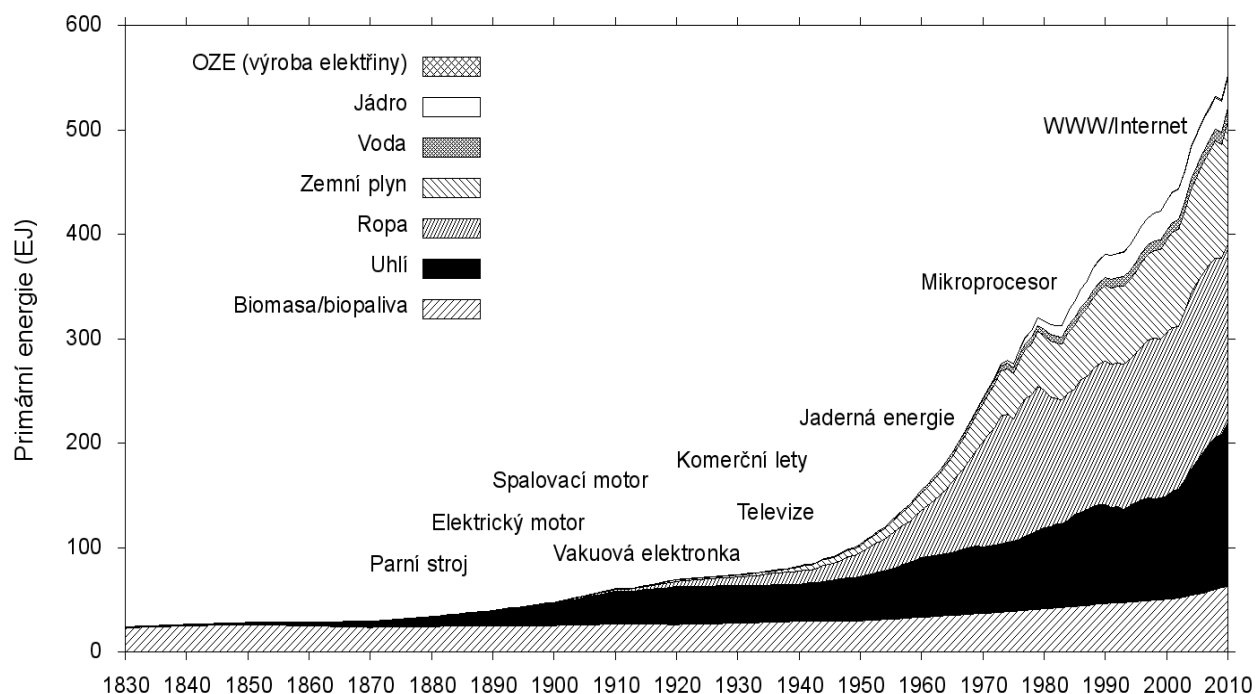
Historická perspektiva

Člověk moudrý (*Homo sapiens*) chodí po Zemi přibližně 2 miliony let a po 98 % své existence získával energii výhradně lovem a sběrem. Tento způsob obživy si dodnes uchovali Křováci žijící v poušti Kalahari v jižní Africe a ze současných přírodních národů jsou tak zřejmě nejpodobnější našim dávným předkům (Hall et al. 2009). Jakmile lidé ovládli oheň a naučili se na něm upravovat pokrmy, snížily se tím energetické výdaje těla potřebné na stravení potravy.

Na obrázku 3 je v grafu znázorněna denní spotřeba³ energie člověka v šesti historických etapách vývoje lidstva. Rozlišeny jsou 4 hlavní oblasti využití energie: 1. produkce potravin, 2. domácnost a obchod, 3. průmysl a zemědělství, 4. transport. V současnosti spotřebováváme tolik energie, jako nikdy předtím, přičemž lidé v rozvinutých zemích spotřebovávají daleko více energie než lidé v zemích rozvojových.

³ Spotřebou energie není myšleno, že by se energie někam ztrácela, ale přeměňuje se na jiné formy, vykonanou práci a teplo. Zákon zachování energie platí vždy bez výjimky!

Primární zdroje energie ve světě (1830-2010)



Obrázek 4: Graf znázorňující historická data světové spotřeby primární energie. Plocha v grafu znázorňující obnovitelné zdroje pro výrobu elektřiny (geotermální, větrné a solární elektrárny), jejichž komerční využití se rozvíjí především v posledním desetiletí, je zcela nahoře. Vzhledem k velice malému podílu OZE v celkovém energetickém mixu však jejich znázornění v grafu není patrné. Na základě historických dat podle V. Smila a dat od roku 1965 podle (BP 2013).

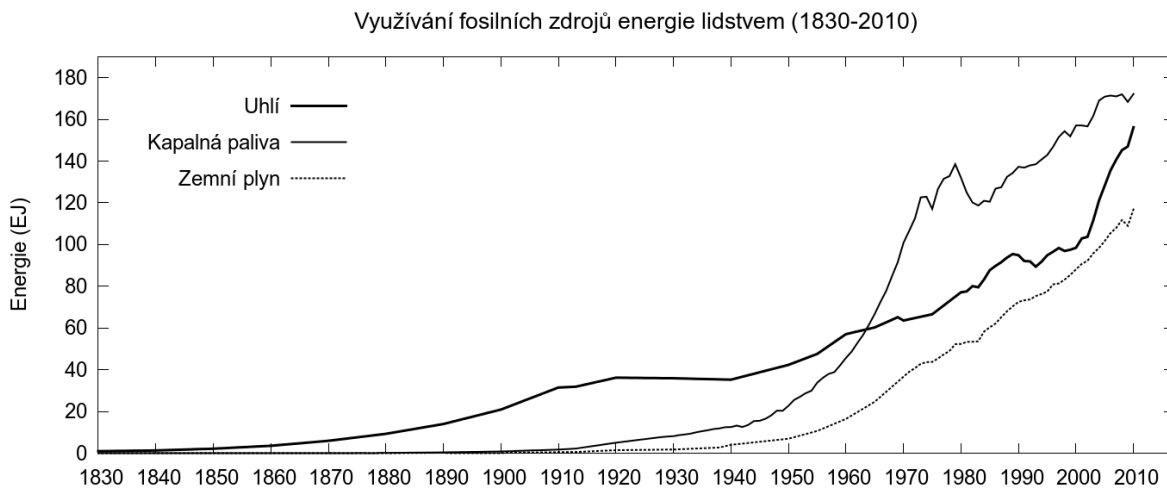
Biomasa

Po celé období holocénu v oblastech Evropy, severní Afriky, severní a latinské Ameriky, Číny, Indie atd. docházelo vlivem lidské činnosti k odlesňování (Kaplan et al. 2009). V našich zeměpisných šířkách rostou dřeviny mnohem pomaleji než v tropických a subtropických oblastech, a kapacita lesů pro těžbu dřeva je velmi omezená. Dřevo není těženo jen jako palivo, ale i pro konstrukční účely (stavebnictví, nábytek apod.). Jakmile dřevěné výrobky doslouží, často jsou ještě využity jako palivo. V rozvojových zemích na venkově je stále ještě hlavním zdrojem energie pro domácnosti dřevo, a ve velkých městech je využíváno spíše dřevní uhlí, protože se snadněji transportuje a skladuje. V zemích rozvinutých je energetické využití biomasy menšinové; dominují paliva fosilní, která jsou obvykle výrazně levnější. Nabízí se otázka, co se stane, až fosilní paliva nebudou tak levná a snadno dostupná jako nyní. Pravděpodobnou odpověď nám dá nejspíš příklad Řecka, které v roce 2012 přišlo o status rozvinuté země (Stoukas 2013). Životní úroveň Řeků se v posledních letech výrazně propadla. Stále více lidí nemá na placení účtů za energie, proto rabují palivové dřevo v lesích a městských parcích, rozvíjí se černý trh s kradeným dřevem; výsledkem je rychlé odlesňování (Papapostolou 2011; Stamouli a Bouras 2013).

Fosilní paliva

Uhlí

Uhlí bylo lidstvem energeticky využíváno jako první z fosilních paliv. V 19. století sloužilo uhlí jako palivo pro parní stroje, v současnosti je spalováno především v uhelných elektrárnách. V České republice zajišťují uhelné elektrárny 2/3 vyrobené elektřiny. Na počátku 21. století došlo ke zrychlení světové spotřeby uhlí hlavně z důvodu rostoucí poptávky v Číně, která potřebuje stále více energie pro svůj ekonomický růst (viz Obrázek Chyba: zdroj odkazu nenalezen). Odhady světových zásob uhlí byly v minulosti pravděpodobně nadhodnocovány a s každou další aktualizací bývají sníženy (Kerr 2012). Podle studie Energy Watch Group dojde k vyvrcholení těžby uhlí již kolem roku 2025 (Zittel et al. 2013). V současnosti 79 % rezerv uhlí vlastní USA, Rusko, Indie, Čína, Austrálie a Jižní Afrika.



Obrázek 5: Roční množství světové spotřeby energie z fosilních zdrojů, tj. uhlí, zemního plynu a kapalných paliv (převážně ropy) v období 1830 až 2010. Energie je zde uvedena v Exa Joulech (tj. 10^{18} J) Na základě historických dat podle V. Smila a dat od roku 1965 podle (BP 2013).

Rozlišujeme uhlí černé, které je kvalitnější, a hnědé, obsahující méně uhlíku a více nečistot. Hlavní složkou uhlí je uhlík, který při hoření oxiduje, a vzniká plynný CO_2 . Méně kvalitní uhlí obsahuje také síru, jejímž spalováním vznikají sirnaté aerosoly znečišťující ovzduší. Sirnaté aerosoly rozptylují sluneční záření, takže ho méně pronikne atmosférou k zemskému povrchu, který se pak méně zahřívá. Aerosolové znečištění maskuje skleníkový efekt a výrazně tlumí globální oteplování – jev zvaný *globální stmívání* (Kerr 2007). V Číně způsobuje spalování uhlí (s přispěním automobilové dopravy) znečištění ovzduší takového rozsahu, že zemědělské plodiny nemají dostatek slunečního záření pro fotosyntézu, a výnosy jsou proto sníženy (Chameides et al. 1999) (viz Liebigův zákon minima v kapitole Chyba: zdroj odkazu nenalezen).

Zemní plyn

Zemní plyn, jehož hlavní složkou je metan, se nachází v ložiscích pod nepropustnou geologickou vrstvou (tzv. past) buď samostatně, společně s ropou nebo černým uhlím. Při těžbě ropy je zemní

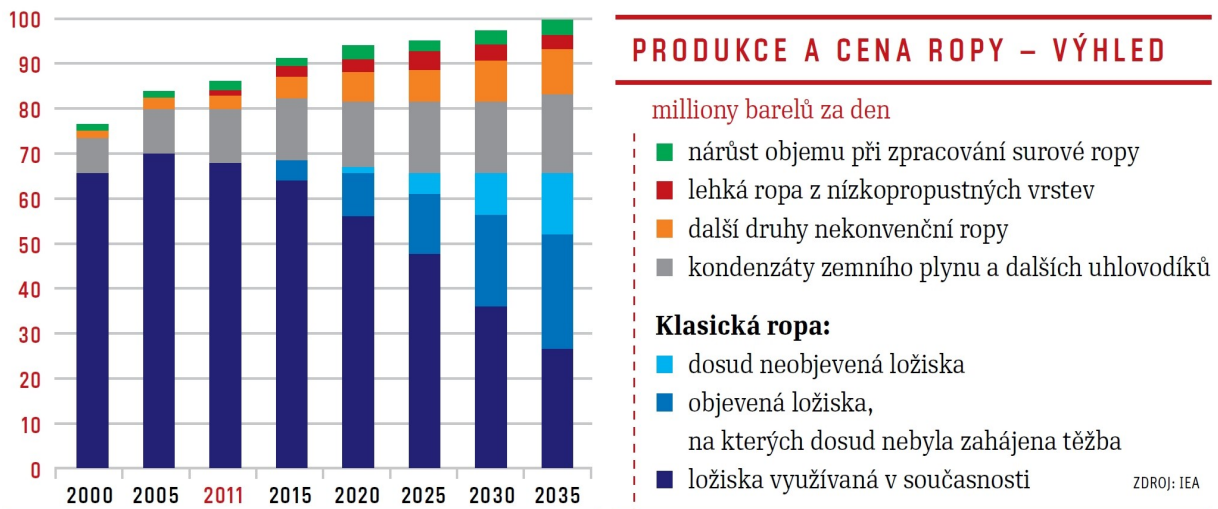
plyn nechtěným vedlejším produktem, a ropné společnosti jej bez užitku spalují přímo v místě vrtu. Tyto ohně (gas flairs) viditelné z vesmíru (Croft 1978) planoucí v Nigérii nepřetržitě od 60. let, jsou významným zdrojem skleníkových plynů, způsobují vážné znečištění životního prostředí a poškozují zdraví lidí žijících v této oblasti (Yenagoa 2010).

V posledních letech se hodně mluví o nekonvenční těžbě zemního plynu z břidlic hluboko pod povrchem země metodou hydraulického štěpení (tzv. fracking). Tento způsob těžby se rozvinul v USA a těžební společnosti usilují o svolení k těžbě v Evropě. Proti těžbě se staví odpor místních lidí majících obavy z kontaminace podzemních vod chemikáliemi a zemním plynem. V České republice počátkem roku 2012 vzniklo sdružení Stop HF <<http://stophf.cz>> usilující o celoplošný zákaz tohoto způsobu těžby i průzkumu břidlicových ložisek.

Metan v atmosféře je 25-krát účinnější skleníkový plyn než CO₂ (počítáno pro působení po dobu 100 let), proto je lepší jej spalovat (vzniká CO₂ a vodní pára), než jej přímo vypouštět do ovzduší. Je také lepší spalovat zemní plyn než uhlí, protože emise CO₂ na jednotku dodané energie jsou menší. Při těžbě zemního plynu hydraulickým štěpením však velké množství metanu do ovzduší uniká, a z hlediska antropogenní změny klimatu mohou nevýhody převážit nad výhodami (Tollefson 2012).

Ropa

V současnosti jsme již vytěžili asi polovinu světových zásob ropy. Objevy ropných ložisek vyvrcholily v 60. letech 20. století. I nyní jsou hlášena stále nová ropná ložiska, ale ropu asi šestkrát rychleji spotřebováváme, než nacházíme, přičemž náklady na geologické průzkumy a těžbu rostou. V blízké i daleké budoucnosti bude jistě lidstvo mít nějakou ropu k dispozici, ale je otázka: Za jakou cenu? Těžba ropy z ložisek využívaných v roce 2004 dosáhla svého vrcholu, nyní stagnuje, a v příštích letech nutně začne klesat (Murray a King 2012). Nacházíme se tedy v období tzv. **ropného vrcholu** (z angl. *peak oil*).



Obrázek 6: Odhad produkce kapalných paliv podle Mezinárodní energetické agentury (IEA). Na základě (Kerr 2012).

Snad všechny významné organizace analyzující globální energetické zdroje se shodují na tom, že produkce konvenční ropy v příštích změní trend a začne klesat. Rozcházejí se však v tom, zda a jak je možné deficit konvenční ropy kompenzovat. Prognózy Mezinárodní energetické agentury – IEA dlouhodobě patří k těm optimističtějším. Na obrázku 6 je odhad světové produkce kapalných paliv podle IEA. Prognóza IEA se zakládá na předpokladech, které není snadné splnit (Kerr 2012). Hlavním nedostatkem tohoto scénáře je předpoklad pozvolného růstu ceny ropy do roku 2035. Rostoucí cena ropy by měla umožnit rozvoj nových špatně dostupných ložisek ropy, a taky těžbu nekonvenčních zdrojů (např. ropné písky a břidlice). Pokud však cena ropy dostatečně neporoste z důvodu ekonomické krize (a proto slabé poptávce po ropě), tyto zdroje nebudou konkurenceschopné a nebudou se těžit. Dalším vážným nedostatkem je ignorování klesající energetické návratnosti zdrojů. **Skutečnou hodnotu pro společnost má totiž čistá energie⁴, která zbude po odečtení energetických výdajů na získání energie a její koncentrování.** Výpočty rezerv energetických zdrojů (podle IEA i jiných analýz) jsou založeny na *hrubé energii* spíše než čisté energii, a proto tyto zdroje mohou mít kratšího trvání, než je očekáváno.

Můj dědeček jezdil na velbloudu, můj otec jezdil na velbloudu, já jezdím v Mercedesu, můj syn řídí Land Rover, jeho syn bude řídit Land Rover, ale jeho syn bude jezdit na velbloudu.

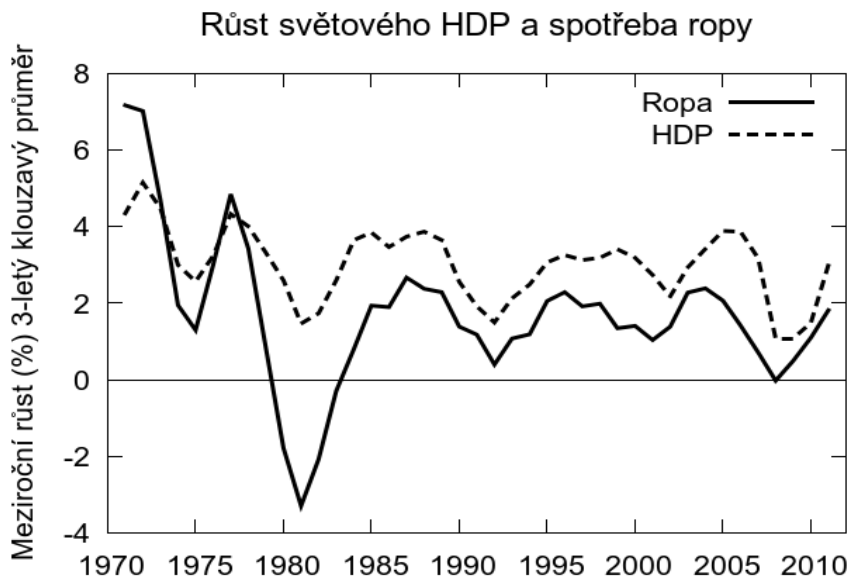
Sheikh Rashid bin Saeed Al Maktoum (1912–1990)
viceprezident a předseda vlády Arabských emirátů

Vztah produkce ropy a výkonu ekonomiky

Ropa je klíčovým zdrojem energie pro dopravu, a tedy i pro mezinárodní obchod. Ropa je také cennou surovinou, ze které se vyrábí plasty, hnojiva, pesticidy, léčiva a mnoho jiného. Mezi růstem světového HDP a produkcí ropy je velmi dobrá korelace (viz Obrázek 7).

Pro chod světové ekonomiky je důležité, aby cena ropy nebyla příliš vysoká, protože vysoká cena negativně postihuje výrobce, dopravce i spotřebitele. Pokud se ekonomice daří, poptávka po ropě roste (více se vyrábí, převáží a spotřebovává); tím stoupne její cena a ropné společnosti jsou motivovány více těžit, protože mohou prodat ropu na trhu za dobrou cenu. To vede k opětovnému poklesu ceny ropy a její stabilizaci. Takto to fungovalo až do roku 2004, kdy produkce konvenční ropy dosáhla vrcholu, a od té doby stagnuje na hodnotách 72 až 75 milionů barelů denně. Přestože cena ropy během deseti let vzrostla 4krát, od roku 2005 vysoké ceny ropy nestimulují zvýšení její produkce (Murray a King 2012). (viz Obrázek 8). Lze předpokládat, že jakmile začne světová produkce konvenční ropy klesat, přibližně stejnou rychlostí bude klesat i světové HDP (Hirsch et al. 2005). Z hlediska změny klimatu je to pozitivní zpráva, protože zřejmě budou klesat i emise CO₂ z fosilních paliv (Kharecha a Hansen 2008), čehož se nepodařilo dosáhnout ani po 30 letech mezinárodních vyjednávání.

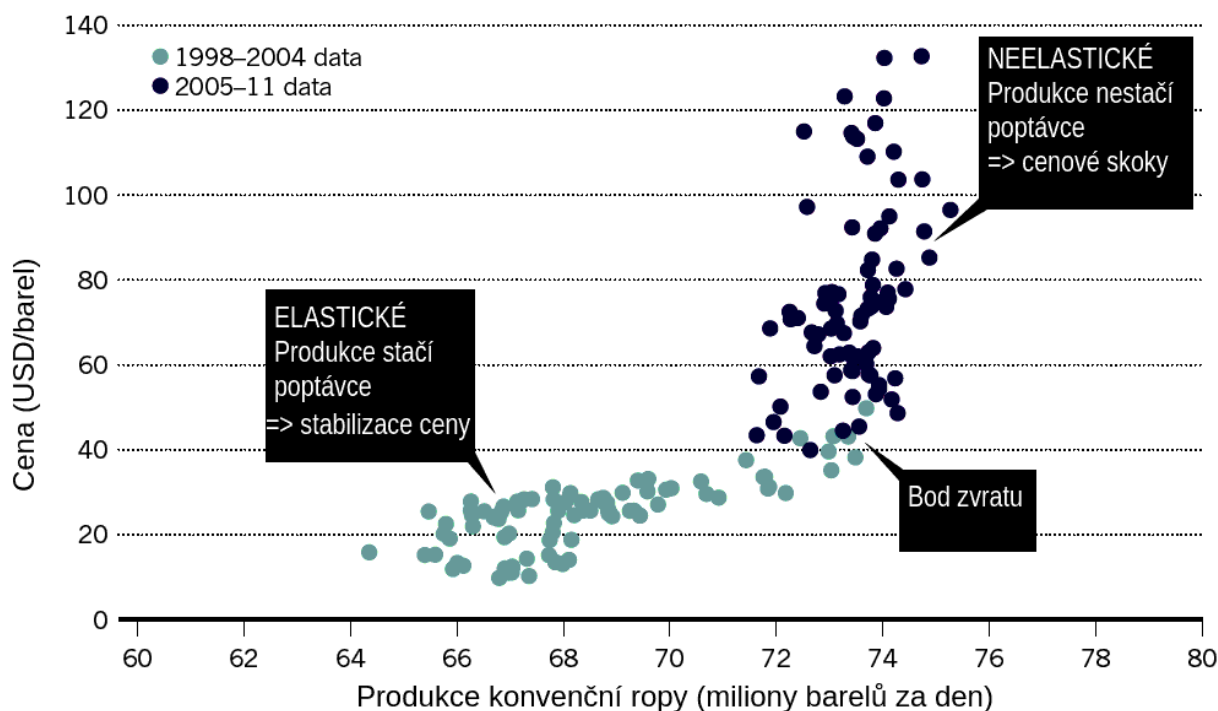
4 Pojem „čistá energie“ zde nijak nesouvisí se znečišťováním životního prostředí. Význam „čisté“ (angl. *net*) a „hrubé“ (angl. *gross*) energie je podobný, jako má čistý a hrubý příjem v ekonomii.



Obrázek 7: Korelace růstu světového HDP a světové spotřeby ropy. Zdroje dat pro roky 1970 až 2012: USDA Economic Research Center, BP Statistical Review of World Energy (BP 2013).

FÁZOVÁ ZMĚNA

Náhlá změna v ekonomice ropy je patrná v grafu produkce vs. ceny



Obrázek 8: Vztah ceny ropy a její produkce ve světě za období 1998 až 2011. Od roku 2005, kdy produkce konvenční ropy dosáhla historického maxima, došlo k zásadní změně v ekonomice ropy. V současnosti ani ceny přes 100 USD za barel nejsou schopny stimulovat zvýšení produkce.

Energetická návratnost

Když honí liška zajíce, nemůže na lov vynaložit více energie, než kolik získá sežráním své kořisti. Stejně pravidlo platilo pro naše předky, kteří se živili lovem a sběrem plodů. V současnosti je produkce potravin běžně dostupných v supermarketech umožněna využíváním energie konzervované ve fosilních palivech. Jen díky vysoce koncentrované energii fosilních zdrojů je možné, abychom na produkci potravin vynaložili průměrně asi 10krát více energie, než kolik naše tělo získá snědením těchto potravin, a to bez započtení energie na přípravu pokrmů. Na produkci mořských ryb (lov, zpracování, chlazení...) vynakládáme dokonce až 25krát více energie, než kolik obsahuje rybí maso.

Podíl energie získané a energie vynaložené představuje **energetickou návratnost**, kterou označujeme zkratkou EROI (z ang. Energy Returned On Invested)⁵:

$$EROI = \frac{\text{energie získaná}}{\text{energie vynaložená}}$$

Ropa v počátcích těžby	100
Ropa v Texasu kolem roku 1930	60
Ropa na Blízkém východě	30
Ostatní ropa	10–35
Zemní plyn	20
Kvalitní uhlí	10–20
Nekvalitní uhlí	4–10
Vodní elektrárny	10–40
Větrná energie	5–10
Solární energie	2-5
Jaderná energetika	4–5
Ropné písky	max. 3
Bituminózní břidlice	max. 1,5
Biopaliva (v Evropě)	0,9–4 (podle plodiny)

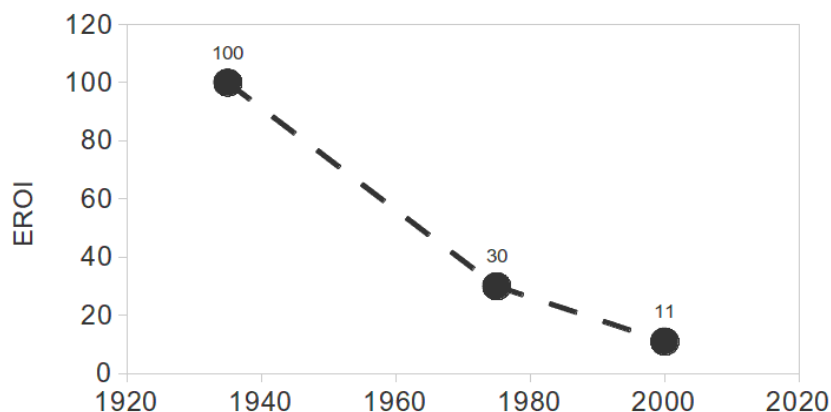
Tabulka 6.1: Typické hodnoty EROI pro vybrané energetické zdroje, podle (Cílek a Kašík 2008).

Koncept energetické návratnosti pochází z ekologie, kde byly zkoumány toky energie v ekosystémech. Energetickou návratnost analyzoval ekolog C. A. S. Hall ve své disertační práci o migraci ryb v roce 1970. Vycházel z prací jiných autorů, především ekologa H. T. Oduma. Poprvé Hall použil index EROI v článku o americké energetice a ekonomice z biofyzikální

⁵ Někdy se označuje jako ERoEI (z ang. Energy Returned on Energy Invested), ale význam je totožný.

perspektivy (Cleveland et al. 1984), a toto označení se celosvětově ujalo. Energetickou návratností se zabývali také fyzik R. Herendeen, ložiskový geolog M. K. Hubbert, ekonom K. Boulding, antropolog L. A. White, archeolog J. A. Tainter a jiní.

Význam energetické návratnosti můžeme přiblížit následujícím příkladem: Při česání ovoce nejdříve sbíráme plody popadané na zemi, trháme z větví snadno dostupných, potom si teprve vezmeme na pomoc žebřík. Část úrody zůstane na stromě, protože se nám nevyplatí riskovat, plýtvat časem a energií kvůli plodům vysoko ve větvích. Při těžbě fosilních paliv, jež lidstvu pokrývají spotřebu primární energie asi z 80 %, postupujeme stejně. Světová produkce konvenční (snadno dostupné a kvalitní) ropy od roku 2004 klesá, a je nahrazována kapalnými palivy, jejichž energetická i ekonomická návratnost taky dlouhodobě klesá. EROI ropy a zemního plynu těžného v USA klesla z hodnoty 100:1 ve 30. letech na 30:1 v 70. letech minulého století a dále na hodnotu asi 11:1 na přelomu tisíciletí (Cleveland 2005). **Průměrná hodnota EROI pro celý svět klesla asi na 18:1 v roce 2006** (Gagnon et al. 2009).



Obrázek 9: Pokles energetické návratnosti těžby ropy v USA. Na základě (Cleveland 2005).

Zákon minimálního EROI

Aby organismus přežil (nebo nějaký systém fyzicky rostl), musí získávat podstatně více energie, než kolik na její získání vydá. To je natolik zřejmý fakt, že jej lze označit za **zákon minimálního EROI**, který platí pro přírodní ekosystémy stejně jako pro lidskou společnost (Hall et al. 2009).

V diskuzích o energetice bývá často EROI uváděn jako argument, zda se určitý energetický zdroj (např. biopaliva) lidem vyplatí využívat či nikoliv. Index EROI se obvykle stanovuje v místě, kde ropa nebo uhlí opouští těžební společnost, solární panel opouští výrobní linku apod. Nejsou tedy zohledněny energetické ztráty spojené s ekonomickými aktivitami a sociálními funkcemi společnosti. Je však nutné započítat energetické náklady na dopravu, spotřebovávání energetického zdroje a jiné. Pro nejdůležitější z energetických zdrojů využívaných lidstvem – ropu – vyčíslil Hall index EROI nezbytný pro zajištění základních funkcí civilizace (tj. těžba, doprava, zemědělství) na 3:1 (Hall et al. 2009). Při poklesu EROI na 3:1 však společnosti nezbývá dostatek energie na umění, medicínu, vzdělávání a další oblasti, jež rovněž považujeme za důležité. Dokud jsou k dispozici fosilní zdroje s poměrně vysokým EROI, je možné

produkovat i biopaliva a nekonvenční fosilní zdroje s EROI menším než 3:1, jejich produkce však musí být levnými, snadno dostupnými palivy dotována.

Z historie víme, že pokles energetické návratnosti zdrojů býval často klíčovým faktorem vedoucím ke kolapsu dávných civilizací (Tainter 2009) Společnosti postupně zvyšují své energetické potřeby z důvodu populačního růstu a zvyšování životního standardu obyvatel. Stále více energie je potřeba na udržení socio-politického systému, jehož složitost postupně narůstá. Proti tomu jde trend energetické návratnosti zdrojů, protože lidé napřed využívají zdroje snadno dostupné. Stále více úsilí a energie musí být vynaloženo na získávání energie potřebné k udržení základních civilizačních funkcí. Současně je ničeno životní prostředí (odlesňování, znečištění aj.), jehož nosná kapacita se zmenšuje. Nakonec vývoj dospěje do stavu kolapsu, což znamená, že složitost společností se výrazně sníží. Jestliže zašla destrukce životního prostředí příliš daleko, civilizace může i zcela zaniknout (případ Velikonočního ostrova).

V tabulce 5.2 jsou uvedeny hodnoty minimálního EROI konvenční ropy nezbytné pro zachování konkrétních funkcí současné globalizované společnosti. Tato tabulka je analogií k hierarchii potřeb člověka podle psychologa A. Maslowa (Maslow 1943).

Aktivity	Minimální EROI
Umění aj.	14:1
Zdravotnictví	12:1
Vzdělávání	9:1 až 10:1
Podpora rodiny a pracujících	7:1 až 8:1
Produkce potravin	5:1
Transport	3:1
Rafinace ropy	1,2:1
Těžba ropy	1,1

Tabulka 5.2: Minimální EROI konvenční ropy potřebné k zajištění funkcí (potřeb) současné civilizace. Podle (Hall 2011).

Energetická transformace společnosti

V současnosti lidstvo získává 4/5 energie z fosilních paliv, je na nich proto zcela závislé. Klíčové pro přežití globalizované civilizace jsou přitom oblasti konvenčního zemědělství a dopravy. Protože zásoby fosilních paliv jsou konečné, je zřejmé, že ropu, uhlí a zemní plyn bude nutné něčím nahradit. Druhým pádným důvodem pro hledání alternativ jsou problémy životního prostředí, které spalování fosilního uhlíku způsobuje, především jde o změnu klimatu a okyselování oceánů. Na jedné straně je lobby těžebních společností, které mají z fosilních paliv velké příjmy, a energetická transformace společnosti není v jejich zájmu. Na straně druhé jsou hlasy environmentalistů, kteří prosazují nízkouhlíkové zdroje, efektivnější technologie a opatření na energetické úspory. Environmentalisty můžeme dále rozdělit na dva nesmiřitelné tábory, z nichž jedni prosazují především jadernou energetiku, která je však pro druhou skupinu nepřijatelná. Většina „zelených organizací“ vidí budoucnost v inteligentní decentralizované elektrické rozvodné síti, jež je napájena větrnými, solárními a jinými obnovitelnými zdroji.

V diskuzích o energetické transformaci a předkládaných energetických koncepcích jsou často pomíjeny aspekty, které popisujeme níže. Neřeší je Státní energetická koncepce ČR (MPO 2010) ani alternativní návrhy nevládních organizací (Hnutí DUHA 2010; Greenpeace 2012).

„Optimisty z řad technologických environmentalistů čeká ještě mnohé rozčarování, neboť limitovanost lidského rozumu je spolehlivou zárukou toho, že technická vylepšení dosavadní techniky budou plodit stále nové nezamýšlené efekty.“

(Keller 1995, s. 117)

Jevonsův paradox

Britský ekonom William Stanley Jevons (1835–1882) žil v době průmyslové revoluce a technologického rozvoje. K nastartování průmyslové revoluce zásadním způsobem přispělo zdokonalení parního stroje Jamesem Watterem (patent 1769). Už dříve se parní stroje používaly k čerpání vody z dolů, ale měly mizernou účinnost a tudíž velkou spotřebu paliva, kterým bylo dřevo a uhlí. Wattův parní stroj se brzy začal komerčně vyrábět, a umožnil přechod od ruční výroby v manufakturách k tovární strojní velkovýrobě, přičemž hlavním palivem pro parní stroje se stalo fosilní uhlí. Jevons si uvědomil, že rostoucí poptávka po parních strojích vedla nakonec k celkové větší spotřebě uhlí (Jevons 1865). Díky Wattovu vynálezu se začalo těžit a prodávat více uhlí, jeho cena šla proto dolů, takže více podniků si mohlo dovolit pořídit a provozovat parní stroje. Paradox spočívá v tom, že bychom spíše očekávali snížení spotřeby energetického zdroje v důsledku zvýšení účinnosti zařízení, které zdroj spotřebovává. Prostřednictvím ekonomických procesů však často dochází k pravému opaku. Ačkoliv Jevons popsal tento mechanismus pro konkrétní případ zdokonalení parního stroje a spotřeby uhlí, Jevonsův paradox můžeme zobecnit následovně: **Zvyšování účinnosti využívání zdroje vede ke zvyšování rychlosti spotřeby daného zdroje.**

Snadno nalezneme příklady Jevonsova paradoxu ze současnosti. V posledních letech lidé vyměnili hodně klasických žárovek (které lze považovat spíše za zdroj tepla než světla) za úsporná zářivková svítidla. Novým trendem jsou svítidla na bázi LED, které jsou ještě účinnější. Technologický pokrok v oblasti osvětlování je ohromující, a dalo by se očekávat, že povede k úsporám elektřiny. Mohlo by tomu tak být, pokud by se nezměnilo chování uživatelů. Ve skutečnosti si dříve uživatelé klasických žárovek dávali pozor, aby nesvítily zbytečně, protože to každý měsíc pocítili na vyúčtování za elektřinu. S úspornými svítidly si lidé mohou dovolit svítit intenzivněji a déle. To vedlo ve světě v posledních desetiletích k problémům se světelným znečištěním (Klinkenberg 2008). Navíc zavádění úsporných svítidel nutně nemusí vést k energetickým úsporám, ale bylo vyčísleno, že v příštích 20 letech by se naopak spotřeba elektřiny na svícení mohla vlivem Jevonsova paradoxu zdvojnásobit (The Economist 2010; Tsao et al. 2010). (Autoři studie však předpokládají vývoj ekonomiky a cen elektřiny bez ohledu na ropný vrchol a související ekonomické efekty.)

U osobních počítačů jsou dnes klasické monitory s velkou spotřebou nahrazovány úspornějšími LCD obrazovkami, je ale běžné, že úředníci v kancelářích mají na stole obrazovky dvě i více (případně s PC mají současně zapnutý notebook), a neobtěžují se je vypínat. Automobily s nízkou spotřebou by mohly šetřit pohonné hmoty, pokud bychom se nenechali zlákat k tomu, abychom

v nich jezdili častěji a na větší vzdálenosti, protože cena paliva na kilometr je menší. S podobnými příklady se setkáme na každém kroku. Přesto spousta lidí stále věří, že zvyšování účinnosti strojů a spotřebičů automaticky energii šetří. Často však celková energetická spotřeba vzroste vlivem změny chování uživatelů, a předčí energetické úspory plynoucí z vyšší účinnosti. Jevonsův paradox se někdy v anglické literatuře označuje jako *rebound effect*, ale v případech, kdy se projeví velice intenzivně, bývá označován jako *backfire effect*. Jevonsův paradox je běžný jev, ale nemusí se nutně projevit ve všech případech. Málokdy se projeví jako backfire effect (Gillingham et al. 2013). Je však potřeba s ním počítat v energetických a environmentálních strategiích, což se obvykle neděje.

Paradox kanceláře bez papíru

Jak se koncem 20. století rozvíjely informační technologie, a jejich cena klesala, stávaly se osobní počítače součástí běžného kancelářského vybavení. Mnozí odborníci očekávali, že elektronické dokumenty nebude nutné tisknout, a spotřeba papíru v kancelářích klesne. Ukázalo se však, že elektronické dokumenty byly přesto dál tištěny jako záloha nebo pro pohodlnější čtení, a také vzrostl počet dokumentů snadno dostupných pro tisk (Frohlich a Perry 1994). **Paradox kanceláře bez papíru je založen na poznatku, že vývoj náhrad pro přírodní zdroje, není vždy spojen s poklesem spotřeby daného zdroje, a ve skutečnosti může někdy vést ke zvýšení spotřeby daného zdroje** (York 2006). Zavádění obnovitelných zdrojů energie tedy nutně nemusí vést k nahrazování fosilních zdrojů, jen společnosti umožňuje spotřebovávat stále více energie. Obnovitelné zdroje energie (např. biopaliva, větrné a sluneční elektrárny) a jaderná energetika jsou dostupné jen díky levné energii z fosilních zdrojů (Odum 1973). Zavádění nových energetických zdrojů, které fosilní paliva nespotebovávají přímo, ale jsou nezbytné pro jejich výrobu (včetně těžby surovin), instalaci, provoz a údržbu (včetně rozvodné sítě), nemusí tedy vést k nahrazování fosilních zdrojů, ale paradoxně může jejich spotřebu podnítit.

Mechanismus volného trhu

Energetické úspory dosažené změnou chování spotřebitelů nebo konkrétním technologickým opatřením (např. zateplováním domů) nemusí vést k úsporám fosilních zdrojů. **Jestliže jedni spotřebitelé fosilní palivo ušetří, na trhu klesne jeho cena a spálí ho někdo jiný.** Příklad: Vyskytly se environmentální argumenty pro těžbu břidlicového zemního plynu, který měl nahrazovat uhlí, protože při jeho spalování vzniká méně CO₂ na jednotku dodané energie. V USA skutečně v posledních letech došlo k boomer těžby břidlicového plynu metodou hydraulického štěpení (fracking) a americké emise CO₂ klesly. To vedlo k poklesu ceny zemního plynu, ale i ceny amerického uhlí, jehož export do Evropy vzrostl (Erlanger 2013). Předpoklad, že spotřeba uhlí klesne, se nepotvrdil, jeho spotřeba klesla jen lokálně v USA. Tento příklad můžeme také označit za „paradox kanceláře bez papíru“ (viz kap. Chyba: zdroj odkazu nenalezen). Aby energetické úspory nebo substituty fosilních paliv mohly fungovat, bylo by nutné volný trh omezit např. moratoriem na výstavbu nových uhelných elektráren a uhlíkovou daní (Svoboda a Svobodová 2008).

Literatura

- AČ, Alexander, Tomáš MILĚŘ a Boris RYCHNOVSKÝ, 2013. *Výbrané kapitoly z ekologie a environmentální vědy*. Brno: Masarykova Univerzita. ISBN 978-80-210-6434-8.
- BP, 2013. *Statistical Review of World Energy 2013 | About BP | BP Global* [online] [vid. 27. říjen 2013]. Dostupné z: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/statistical-review-of-world-energy-2013.html>
- BRANIŠ, Martin, 2003. *Základy ekologie a ochrany životního prostředí*. Praha: INFORMATORIUM. ISBN 978-80-7333-024-8.
- CÍLEK, Václav a Martin KAŠÍK, 2008. *Nejistý plamen*. 2. vyd. Praha: Dokořán. ISBN 978-80-7363-218-2.
- CLEVELAND, Cutler J., 2005. Net energy from the extraction of oil and gas in the United States. *Energy* [online]. 4., roč. 30, č. 5, s. 769–782 [vid. 16. září 2013]. ISSN 0360-5442. Dostupné z: doi:10.1016/j.energy.2004.05.023
- CLEVELAND, Cutler J., Robert COSTANZA, Charles A. S. HALL a Robert KAUFMANN, 1984. Energy and the U.S. Economy: A Biophysical Perspective. *Science* [online]. 31.8., roč. 225, č. 4665, s. 890–897 [vid. 24. březen 2013]. ISSN 0036-8075, 1095-9203. Dostupné z: doi:10.1126/science.225.4665.890
- COOK, E L, 1971. The flow of energy in an industrial society. *Scientific American*. 9., roč. 225, č. 3, s. 135–142 passim. ISSN 0036-8733.
- CROFT, Thomas A., 1978. Nighttime Images of the Earth from Space. *Scientific American*. s. 86–98.
- ERLANGER, Steven, 2013. As Drilling Practice Takes Off in U.S., Europe Proves Hesitant. *The New York Times* [online]. 9.10. [vid. 20. říjen 2013]. ISSN 0362-4331. Dostupné z: <http://www.nytimes.com/2013/10/10/world/europe/as-drilling-practice-takes-off-in-us-europe-proves-hesitant.html>
- FROHLICH, David a Mark PERRY, 1994. *The Paperful Office Paradox*. B.m.: Hewlett-Packard Company.
- GAGNON, Nathan, Charles A.S. HALL a Lysle BRINKER, 2009. A Preliminary Investigation of Energy Return on Energy Investment for Global Oil and Gas Production. *Energies* [online]. 13.7., roč. 2, č. 3, s. 490–503 [vid. 16. září 2013]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en20300490
- GILLINGHAM, Kenneth, Matthew J. KOTCHEN, David S. RAPSON a Gernot WAGNER, 2013. Energy policy: The rebound effect is overplayed. *Nature* [online]. 24.1., roč. 493, č. 7433, s. 475–476 [vid. 18. říjen 2013]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/493475a
- GREENPEACE, 2012. Energetická revoluce. *Greenpeace Česká republika* [online] [vid. 24. říjen 2013]. Dostupné z: http://www.greenpeace.org/czech/cz/Kampan/klima_a_energetika/EnergetickaRevoluce/
- HALL, Charles A.S., 2011. Introduction to Special Issue on New Studies in EROI (Energy Return on Investment). *Sustainability* [online]. 7.10., roč. 3, č. 12, s. 1773–1777 [vid. 16. září 2013]. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su3101773
- HALL, Charles A. S., Stephen BALOGH a David J.R. MURPHY, 2009. What is the Minimum EROI that a Sustainable Society Must Have? *Energies* [online]. 23.1., roč. 2, č. 1, s. 25–47 [vid. 3. září 2013]. ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en20100025
- HIRSCH, Robert L., Roger BEZDEK a Robert WENDLING, 2005. *Peaking Of World Oil Production: Impacts, Mitigation, & Risk Management* [online]. únor 2005. B.m.: Science Applications International Corporation/U.S.Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Dostupné z: http://www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/Oil_Peaking_NETL.pdf
- HNUTÍ DUHA, 2010. Chytrá energie. *Hnutí DUHA* [online] [vid. 24. říjen 2013]. Dostupné z: <http://www.hnutiduha.cz/publikace/chytra-energie>
- CHAMEIDES, W. L., H. YU, S. C. LIU, M. BERGIN, X. ZHOU, L. MEARNES, G. WANG, C. S. KIANG, R. D. SAYLOR, C. LUO, Y. HUANG, A. STEINER a F. GIORGI, 1999. Case study of the effects of atmospheric aerosols and regional haze on agriculture: An opportunity to enhance crop yields in China through emission controls? *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 23.11., roč. 96, č. 24, s. 13626–13633 [vid. 28. říjen 2013]. ISSN 0027-8424, 1091-6490. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.96.24.13626

- JEVONS, 1865. *The Coal Question - An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of Our Coal-Mines* [online]. 2. vyd. London: Macmillan and Co. ISBN 978067800/073. Dostupné z: http://oilcrash.net/media/pdf/The_Coal_Question.pdf
- KAPLAN, Jed O., Kristen M. KRUMHARDT a Niklaus ZIMMERMANN, 2009. The prehistoric and preindustrial deforestation of Europe. *Quaternary Science Reviews* [online]. 12., roč. 28, č. 27–28, s. 3016–3034. ISSN 0277-3791. Dostupné z: doi:10.1016/j.quascirev.2009.09.028
- KELLER, Jan, 1995. *Až na dno blahobytu*. 2. vyd. Brno: Hnutí DUHA. ISBN 80-902056-0-7.
- KERR, Richard A., 2007. Is a Thinning Haze Unveiling the Real Global Warming? *Science* [online]. 16.3., roč. 315, č. 5818, s. 1480–1480 [vid. 28. říjen 2013]. ISSN 0036-8075, 1095-9203. Dostupné z: doi:10.1126/science.315.5818.1480
- KERR, Richard A., 2012. An Oil Gusher in the Offing, but Will It Be Enough? *Science* [online]. 30.11., roč. 338, č. 6111, s. 1139–1139 [vid. 28. říjen 2013]. ISSN 0036-8075, 1095-9203. Dostupné z: doi:10.1126/science.338.6111.1139
- KHARECHA, Pushker A. a James E. HANSEN, 2008. Implications of “peak oil” for atmospheric CO₂ and climate. *Global Biogeochemical Cycles* [online]. 9., roč. 22, č. 3, s. 1–10 [vid. 28. říjen 2013]. ISSN 08866236. Dostupné z: doi:10.1029/2007GB003142
- KLINKENBORG, Verlyn, 2008. Our Vanishing Night. *National Geographic*. 11., roč. 214, č. 5, s. 102–109.
- KŘEPEL, Jiří, 2003. Rodokmen Energie. *3pól* [online]. 11. [vid. 2. listopad 2013]. Dostupné z: <http://3pol.cz/download/listopad2003.pdf>
- MASLOW, Abraham H., 1943. A theory of human motivation. *Psychological Review*. č. 50, s. 370–396.
- MPO, 2010. Státní energetická koncepce ČR. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online] [vid. 24. říjen 2013]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument5903.html>
- MURRAY, James a David KING, 2012. Climate policy: Oil’s tipping point has passed. *Nature* [online]. 26.1., roč. 481, č. 7382, s. 433–435 [vid. 29. leden 2012]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/481433a
- ODUM, Howard T., 1973. Energy, Ecology, and Economics. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. roč. 2, č. 6, s. 220–227.
- PAPAPOSTOLOU, A., 2011. Rise in Use of Firewood to Heat Homes Causing Deforestation. *Greece.GreekReporter.com Latest News from Greece* [online] [vid. 28. říjen 2013]. Dostupné z: <http://greece.greekreporter.com/2011/12/23/rise-in-use-of-firewood-to-heat-homes-causing-deforestation/>
- PEUSNER, Leonardo, 1984. *Základy bio-energetiky*. Přel. Tomáš BLEHA a Igor TVAROŠKA. B.m.: Alfa. ISBN 63-170-84.
- STAMOULI, Nektaria a Stelios BOURAS, 2013. *Greeks Raid Forests in Search of Wood to Heat Homes - WSJ.com* [online] [vid. 15. duben 2013]. Dostupné z: <http://online.wsj.com/article/SB10001424127887324442304578232280995369300.html>
- STOUKAS, Tom, 2013. Greece Downgraded to Emerging Market at MSCI in World First. *BusinessWeek: undefined* [online]. 11.6. [vid. 28. říjen 2013]. Dostupné z: <http://www.businessweek.com/news/2013-06-11/greece-downgraded-to-emerging-market-at-msci-in-world-first>
- SVOBODA, Jiří a Jindřiška SVOBODOVÁ, 2008. Uhlíková daň - Podceňovaný nástroj boje proti globální změně klimatu. 9., roč. 87, s. 616–621.
- TAINTER, Joseph A., 2009. *Kolapsy složitých společností* [online]. Přel. Stanislav PAVLÍČEK. Praha: Dokořán. ISBN 978-80-7363-248-9. Dostupné z: <http://www.dokoran.cz/index.php?p=book.php&id=469>
- THE ECONOMIST, 2010. Energy conservation: Not such a bright idea. *The Economist* [online]. 8. [vid. 18. říjen 2013]. ISSN 0013-0613. Dostupné z: <http://www.economist.com/node/16886228>
- THOMAS, Donald W., Jacques BLONDEL, Philippe PERRET, Marcel M. LAMBRECHTS a John R. SPEAKMAN, 2001. Energetic and Fitness Costs of Mismatching Resource Supply and Demand in Seasonally Breeding Birds. *Science* [online]. 30.3., roč. 291, č. 5513, s. 2598–2600 [vid. 3. září 2013]. ISSN 0036-8075, 1095-9203. Dostupné z: doi:10.1126/science.1057487

TOLLEFSON, Jeff, 2012. Air sampling reveals high emissions from gas field. *Nature* [online]. 7.2., roč. 482, č. 7384, s. 139–140 [vid. 6. březen 2012]. ISSN 0028-0836, 1744-7933. Dostupné z: doi:10.1038/482139a

TSAO, J. Y., H. D. SAUNDERS, J. R. CREIGHTON, M. E. COLTRIN a J. A. SIMMONS, 2010. Solid-state lighting: an energy-economics perspective. *Journal of Physics D: Applied Physics* [online]. 8.9., roč. 43, č. 35, s. 354001 [vid. 18. říjen 2013]. ISSN 0022-3727. Dostupné z: doi:10.1088/0022-3727/43/35/354001

YENAGOA, Daniel Howden in, 2010. Visible from space, deadly on Earth: the gas flares of Nigeria. *The Independent* [online] [vid. 28. říjen 2013]. Dostupné z: <http://www.independent.co.uk/news/world/africa/visible-from-space-deadly-on-earth-the-gas-flares-of-nigeria-1955108.html>

YORK, Richard, 2006. Ecological paradoxes: William Stanley Jevons and the paperless office. *Human Ecology Review*. roč. 13, č. 2, s. 143–147.

ZITTEL, Werner, Jan ZERHUSEN a Martin ZERTA, 2013. *Fossil and Nuclear Fuels – the Supply Outlook* [online]. březen 2013. B.m.: Energy Watch Group, Ludwig-Boelkow-Foundation, /Reiner- Lemoine-Foundation. Dostupné z: <http://www.energywatchgroup.org/Releases.26+M5d637b1e38d.0.html>

Abecední rejstřík

aerosoly.....	7	globální oteplování.....	7	pesticidy.....	9
Afrika.....	4, 7	globální stmívání.....	7	potravní řetězec.....	3
Amerika.....	6	HDP.....	9	průmyslová revoluce.....	14
anabolismus.....	3	hmyz.....	4	rebound effect.....	15
atmosféra.....	7	hnojivo.....	9	ropa.....	5, 7, 8, 9, 11, 12, 13
Austrálie.....	7	holocén.....	6	ropný vrchol.....	8
backfire effect.....	15	IEA.....	9	Řecko.....	6
biomasa.....	3, 4, 5, 6	Jevons William Stanley.....	14	savci.....	3
biopaliva.....	5, 11, 12, 13	Jevonsův paradox.....	14, 15	síra.....	7
břidlicový plyn.....	15	katabolismus.....	3	skleníkové plyny.....	8
civilizace.....	12, 13	kolaps.....	13	skleníkový efekt.....	7
cyklus.....		koně.....	5	sluneční záření.....	7
vody.....	14	kořist.....	11	světelné znečištění.....	14
Česká republika.....	8	les.....	6	trofická úroveň.....	3
Čína.....	5, 6, 7	metabolismus.....	3	uhlí.....	7
dobytek.....	5	metan.....	7, 8	uhlíková daň.....	15
dřeviny.....	6	migrace.....	11	USA.....	7, 8, 12, 15
ekologická pyramida.....	3	Nigérie.....	8	Velikonoční ostrov.....	13
ekologie.....	11	nosná kapacita.....	13	vodní pára.....	8
energetická pyramida.....	3	oceán.....	13	Watt James.....	14
EROI.....	11, 12, 13	odlesňování.....	6, 13	zákon minimálního EROI	
Evropa.....	5, 6, 8, 11, 15	okyselování oceánů.....	13	12
fotosyntéza.....	7	oxid.....		zemědělství.....	5, 7, 12, 13
fracking.....	8, 15	uhličitý.....	7, 8, 9, 15	zemní plyn.....	5, 7, 8, 11, 13
fytoplankton.....	4	paradox kanceláře bez papíru		změna klimatu.....	3, 8, 9
gas flairs.....	8	15		