

METABOLISMUS SPOLEČNOSTI

MATERIÁLY, ENERGIE A EKOSYSTÉMY

TOMÁŠ HÁK A KOL.

KAROLINUM



Metabolismus společnosti

Materiály, energie a ekosystémy

Tomáš Háek a kol.

Kolektiv autorů: Tomáš Háek, Jan Kovanda, Lubomír Nondek,
David Vačkář, Jan Weinzettel
Recenzovali: Jiří Beranovský, Vladislav Bízek, Jan Plesník

Kniha je věnována památce Luboše Nondeka – dlouholetého přítele
a vynikajícího odborníka.
Spoluautoři

Vydala Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum
Redakce Dana Pačková
Grafická úprava Jan Šerých
Sazba DTP Nakladatelství Karolinum
Vydání první

© Univerzita Karlova v Praze, 2015
Text © Tomáš Háek et al., 2015
Preface © Bedřich Moldan, 2015

Vznik této knihy byl umožněn díky podpoře MŠMT v rámci projektu
„Socioekonomický metabolismus urbánních systémů a jeho dopad na ekosystémy“
(Národní program výzkumu II, program 2B – Zdravý a kvalitní život, projekt 2B06183).

ISBN 978-80-246-2799-1
ISBN 978-80-246-4621-3 (pdf)



Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum 2020

www.karolinum.cz
ebooks@karolinum.cz

OBSAH

Předmluva (Bedřich Moldan)	7
Proč vznikla tato kniha (Tomáš Hák).....	9
1. Úvod do metabolismu antropogenních systémů (Tomáš Hák)	17
1.1 Antropocén	17
1.2 Změněná planeta.....	19
1.3 Přírodní služby	21
1.4 Metabolismus přírodních systémů (planeta bez lidí).....	23
1.5 Společenský metabolismus (metabolismus antropogenních systémů)	25
1.6. Zkoumání společenského metabolismu	33
1.7 Indikátory společenského metabolismu	47
2. Přírodní zdroje a analýza materiálových toků (Jan Kovanda)	59
2.1 Úvod	59
2.2 Základní principy analýzy materiálových toků.....	60
2.3 Metody analýzy materiálových toků	62
2.4 Historie analýzy materiálových toků.....	66
2.5 Využití analýzy materiálových toků v rozhodovacích procesech.....	70
2.6 Analýza materiálových toků na makroekonomické úrovni.....	72
3. Energetický metabolismus v přírodě a lidské společnosti (Lubomír Nondek)	111
3.1 Úvod	111
3.2 Termodynamika živých systémů	114
3.3 Energetické procesy a zdroje na Zemi	117
3.4 Energetické toky v ekosystémech.....	130
3.5 Energie a lidská společnost	133
3.6 Energie potravy a zemědělství	144
3.7 Exergie a energetická účinnost.....	147
3.8 Energetické toky a jejich bilance	150
3.9 Závěr.....	158
4. Analýza území a ekosystémů (David Vačkář).....	167
4.1 Území a ekosystémy.....	167
4.2 Globální rozměr využívání území a ekosystémů	168
4.3 Základní východiska pro analýzu území a ekosystémů	171
4.4 Účetnictví změn území a ekosystémů.....	187
4.5 Souhrnné indikátory nároků lidské společnosti na území a ekosystémy	199

5. Posuzování životního cyklu a input-output analýza (Jan Weinzettel)	223
5.1 Posuzování životního cyklu – LCA.....	225
5.2 Input-output analýza.....	252
5.3 Hybridní LCA.....	261
5.4 Výhody maticového popisu LCA a input-output analýzy	263
5.5 Aplikace metod	264
5.6 Shrnutí kapitoly LCA a IOA	269
Seznam zkratk.....	275
Summary.....	281
Rejstřík	283
O autorech	287

Předmluva

Bedřich Moldan

Mohutná síla techniky se postupně vyrovnala svou velikostí silám přírodním a mnohdy je i předčila. Člověk uvádí do pohybu tak obrovské množství hmoty, že je to v úhrnu víc, než působí všechna zemětřesení, výbuchy sopek nebo pohyby mořského dna dohromady. Každý průměrný obyvatel vyspělé části světa ročně potřebuje až třicet tun nejrůznějších materiálů. Každému z nás každoročně poslouží šest velkých nákladních automobilů s nejrůznějším zbožím: stavebními surovinami, pohonnými hmotami, potravinami a mnoha dalšími předměty. Všechn tento pohyb je poháněn obrovským množstvím energie, které současný člověk spotřebovává mnohonásobně víc než v minulosti, kdy musel vystačit se silou svých svalů, kterou čerpal z potravy, a jen poměrně malý příspěvek představovala síla zvířecích svalů, větru, vody nebo energie ze dřeva, jímž topil. Stavitelé pyramid měli na povel několik tisíc pracovníků (podle novějších názorů nešlo o otroky, ale o placené síly, hlavně svobodné rolníky), avšak dnešní buldozerista vládne motoru silnějšímu než celá tato armáda dohromady. Člověk se prostě stal „velkým hybatelem“, nejmocnější silou, která mění a utváří celý povrch naší planety.

Přenosy hmot, transport a využívání energie, všechny materiálové a energetické procesy spojené s lidským hospodářstvím můžeme nazvat látkovou

výměnou, metabolismem lidské společnosti. Celé světové hospodářství, všechny továrny, obchodní lodě, automobily i domácnosti s jejich spotřebou si můžeme představit jako součásti obrovského „superorganismu“ globální společnosti se všemi jejími technickými zařízeními, který podobně jako živé organismy okolo nás – rostliny, živočichové a další organismy jako houby nebo řasy – vyměňuje látky a energie mezi sebou a svým okolím i mezi svými jednotlivými vlastními částmi. Jejich život je plně závislý na podmínkách, jež jim poskytuje okolí.

Detailní podobu látkové výměny lidské společnosti vysvětluje text, který máte před sebou. Poskytuje neobvyklý, ale důležitý pohled na každodenní procesy, jež okolo nás probíhají a jejichž jsme součástí. Představení toků materiálů a energie, využívání nerostných surovin i produktů živé přírody, využití území a celého životního cyklu výrobků zůstává významnou součástí poznání životního prostředí a procesů, které v něm probíhají.

Proč vznikla tato kniha

Tomáš Hák

Člověk – tedy člověk moderního typu – se objevil před jedním až dvěma sty tisíci lety (v Evropě asi před 45 000 lety). Odjakživa využíval přírodní zdroje, přetvářel krajinu, využíval okolní prostředí pro zneškodňování nejrůznějších odpadů. V posledním období známém jako antropocén se z něj stala síla, která má zásadní vliv na fungování planety: svou činností je schopen zasáhnout do složitých, zdánlivě neovlivnitelných procesů, jako jsou cykly uhlíku, síry, dusíku a dalších prvků, klimatické a hydrologické systémy nebo specifické systémy, jako je např. ozonová vrstva. Dobrých i špatných příkladů z minulosti i současnosti je celá řada: biosférické rezervace, multifunkční lidská sídla s efektivními systémy komunikace, průmyslové zóny s vysoce zacyklenými toky vstupů a výstupů, ale také Aralské jezero, hubení vrbců v Číně nebo ničení deštných pralesů.

Člověk by měl být vždy schopen dohlédnout dopady své činnosti. To je někdy složité, protože někdy nejsou snadno viditelné – ani v místě, ani v čase. Kniha nabízí vybrané přístupy a metody, jak některé antropogenní zátěže (využívání surovin, energie a území) hodnotit. Jsou převážně kvantitativního

typu, protože zde velmi přílehavě platí staré přísloví: „Co nelze měřit, nelze ani řídit.“¹

Představované metody jsou zastřešeny konceptem **společenského metabolismu**. Jak se uvádí dále v textu, tento název není zatím usazený – máme na mysli metabolismus antropogenních systémů, které zahrnují systémy uměle vytvořené člověkem (např. město) i systémy hybridní, zčásti přírodní (např. pole). Pojem „metabolismus“ je použit jako metafora – nejedná se o pohled na tyto systémy ve smyslu hypotézy Gaia (tedy jako na – ve fyziologickém smyslu – živé organismy schopné si regulovat svůj metabolismus, tj. udržovat homeostázi i se adaptovat na změny podmínek a vyvíjet se). Metabolismus antropogenních systémů je definován jako souhrn procesů souvisejících s využíváním přírody (ekosystémů a ekosystémových služeb) lidmi za účelem uspokojování široké škály jejich potřeb. Nezkoumá tedy přírodní metabolické procesy na úrovni buňky, organismu ani ekosystému – metabolismus přírodních systémů však tvoří nutný kontext (bilance zahrnující nejen antroposféru jsou důležité pro posouzení udržitelnosti civilizačního rozvoje a rozsahu antropogenních tlaků na ekosystémy, které vyvolává zvýšená spotřeba zdrojů; v řadě případů mohou antropogenní procesy s přírodními negativně interferovat apod.).

Zkoumání antropogenního metabolismu, tedy jenom určité části toho, co se na planetě děje, s sebou přirozeně nese jistá omezení: Někomu se při čtení proto nebude líbit kupříkladu redukce produktivity ekosystému jen na tuny uhlíku, protože pouhé „uhlíkové účetnictví“ nic nevyovídá o vnitřní bohatosti a struktuře ekosystémů z hlediska druhů atd. To ale zkoumají jiné vědní obory svými přístupy a metodami (viz dále v textu), které nejsou s tímto konceptem v žádném rozporu. Naopak, složitost interakcí mezi lidskou společností a přírodou je možno postihnout pouze s využitím interdisciplinárního přístupu. Přínosem předkládaného „fyzického konceptu“² je právě možnost zahrnout „přírodu“ do integrovaného ekologického a ekonomického účetnictví, ekonometrických modelů a dalších již přijatých postupů.

Východiskem pro psaní této knihy byly dvě okolnosti:

1. Je nepochybné, že z mnoha hledisek žije současná generace lidstva v bezprecedentním blahobytu. Není to však důvod k optimistické úvaze, že tento stav může trvat všude a nekonečně dlouho – to by vyžadovalo racionální chování lidí, vědecký pokrok, efektivní globální distribuci potravin, všem přístupné znalosti a vzdělání a především společně přijatou, byť diferencovanou odpovědnost za stav světa. Tyto a mnohé další předpoklady nejsou však v žádné současné společnosti splněny v potřebné míře.

-
- 1 Srov. celý výrok H. Jamese Harringtona: „Measurement is the first step that leads to control and eventually to improvement. If you can't measure something, you can't understand it. If you can't understand it, you can't control it. If you can't control it, you can't improve it.“ (citováno podle CIO, Sep. 1999)
 - 2 Výsledky analýz a indikátory se uvádějí ve fyzických, nikoliv monetárních jednotkách.

Zároveň platí, že **současný blahobyt je zcela závislý na fungování ekosystémů** (či obecně přírody) (MA, 2005). I přes řadu pozitivních jevů se však zdá, že současný stav ani očekávaný vývoj nejsou z hlediska uspokojování potřeb – současných a pravděpodobně ani budoucích generací – příznivé.

Předpokládá se, že do roku 2050 se počet obyvatel na Zemi zvýší ze 7 miliard na více než 9 miliard a světová ekonomika se téměř zčtyřnásobí (obr. 1c), přičemž bude narůstat poptávka po energii a přírodních zdrojích (světová ekonomika bude využívat o 80 % více energie). Pokud nebudou zavedeny efektivnější strategie, podíl energie z fosilních paliv na světovém energetickém mixu bude i nadále činit přibližně 85 %. Do roku 2050 bude pokračovat degradace a úbytek přírodního kapitálu, což s sebou nese riziko nevratných změn, jež by mohly ohrozit po dvě století se zvyšující životní úroveň (OECD, 2012). Již předcházející studie ukázala klíčové environmentální výzvy pro budoucnost (OECD, 2008): Environmentální výhled OECD do roku 2030 je založen na projekcích a odhadech ekonomických a environmentálních trendů. Tématům signalizovaným „červeným světlem“, je třeba se naléhavě zabývat (tab. 1). Zpráva naznačuje, že postupy a technologie, kterých je zapotřebí k reagování na výzvy, jsou dostupné a nákladově přijatelné.

Tab. 1: Environmentální výhled do r. 2030

	(zelené světlo)	(žluté světlo)	(červené světlo)
Změny klimatu		– klesající emise skleníkových plynů na jednotku HDP	– celosvětové emise skleníkových plynů – rostoucí důkazy o již probíhajících změnách klimatu
Biodiverzita a obnovitelné přírodní zdroje	– zalesněná plocha v zemích OECD	– lesní hospodářství – chráněné oblasti	– kvalita ekosystémů – úbytek druhů – invazní cizí druhy – tropické lesy – ilegální těžba dřeva – fragmentace ekosystémů
Voda	– znečišťování vody z bodových zdrojů v zemích OECD (průmysl, obce)	– kvalita povrchových vod a čištění odpadních vod	– nedostatek vody – kvalita podzemních vod – využití vody v zemědělství a její znečištění
Kvalita ovzduší	– emise SO ₂ a NO _x v zemích OECD	– prachové částice a přízemní ozon – emise ze silniční dopravy	– kvalita městského ovzduší

Odpady a nebezpečné chemikálie	<ul style="list-style-type: none"> – odpadové hospodářství v zemích OECD – emise CFC v zemích OECD 	<ul style="list-style-type: none"> – produkce komunálního odpadu – emise CFC v rozvojových zemích 	<ul style="list-style-type: none"> – nakládání s nebezpečným odpadem a jeho doprava – odpadové hospodářství v rozvojových zemích – chemikálie v životním prostředí a v produktech
---	--	---	--

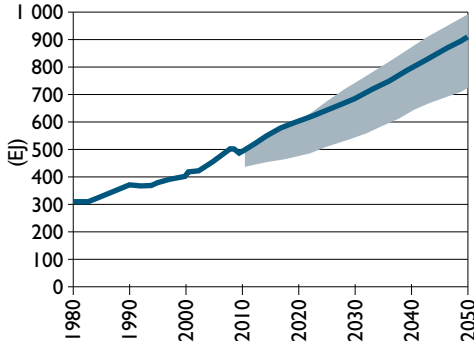
Poznámka: Zelené světlo signalizuje otázky životního prostředí, které jsou dobře řízeny a zvládnány nebo v jejich řízení došlo v posledních letech k významným zlepšením, u nichž by však země OECD měly nadále zachovávat obezřetnost. Žluté světlo signalizuje otázky životního prostředí, které i nadále zůstávají výzvou, ale jejich řízení a zvládání se zlepšuje, nebo u kterých přetrvává stav nejistoty či které byly dobře řízeny a zvládnány v minulosti, ale v současné době tomu tak zcela není. Červené světlo signalizuje otázky životního prostředí, které nejsou dobře řízeny a zvládnány, jsou ve špatném nebo zhoršujícím se stavu a vyžadují náležitou pozornost. Všechny trendy jsou celosvětové.

Zdroj: OECD, 2008.

Rostoucí zátěž předvídají i projekce týkající se konkrétních témat společenského metabolismu: spotřeby surovin, energie, využití území a emisí (obr. 1). Stále rostoucí globální ekonomika (obr. 1c) je hnací silou světové spotřeby primárních energetických zdrojů (obr. 1a). Pro projekci je použita metoda IEA, která předpokládá 33% účinnost u jaderné energie a 100% účinnost u obnovitelných zdrojů. Rozloha světové zemědělské půdy poroste až do roku 2030, po fázi stabilizace se bude do roku 2050 zmenšovat na přibližně dnešní velikost (obr. 1b). Ve všech zemích porostou emise skleníkových plynů – ty kopírují ekonomický růst, což je zásadní zejména ve velkých ekonomikách BRICS (společné hospodářské uskupení Brazílie, Ruska, Indie, Číny a Jižní Afriky) (obr. 1c-d). Obrázek 1e ukazuje velikost přeměny biomů, tedy kolik z potenciální rozlohy³ bylo odhadem přeměněno do roku 1950 (střední jistota), kolik bylo přeměněno v letech 1950–1990 (střední jistota) a kolik by bylo přeměněno podle čtvera scénářů Miléniového hodnocení ekosystémů v letech 1990–2050 (nízká jistota). Zatímco lesů mírného pásma mírně přibude, plocha tropických a subtropických jehličnatých i listnatých lesů se výrazně zmenší. Většina změn v těchto biomech spočívá v přeměně na obhospodařované systémy. Obrázek 1f ukazuje globální scénář těžby surovin. Jedná se o *business-as-usual* scénář, tedy normální průběh, který nepředpokládá ani zvýšení účinnosti využití, ani žádná dodatečná opatření. Těžba by se mohla oproti roku 2005 téměř zdvojnásobit a v roce 2030 dosáhnout 100 mld. tun.

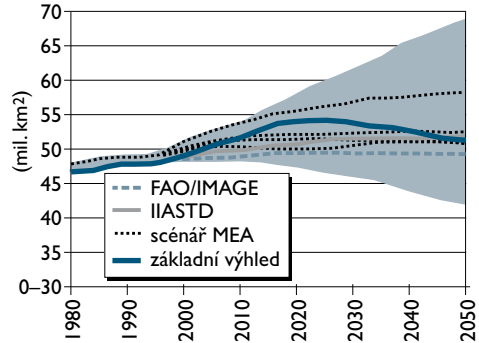
3 Rozsah jednotlivých biomů před výraznými dopady činnosti člověka nelze přesně odhadnout, ale lze určit „potenciální“ rozlohu biomů na základě půdních a klimatických podmínek.

A) Globální primární energetická spotřeba, 1980–2050

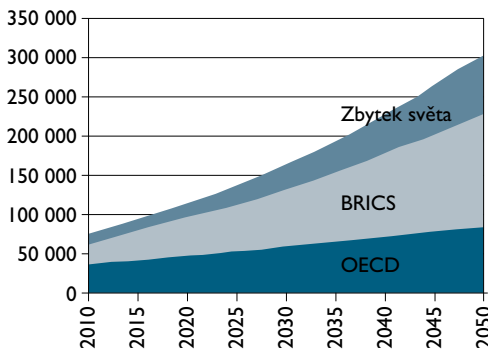


Výchozí referenční úroveň a rozpětí hodnot, které lze nalézt v literatuře

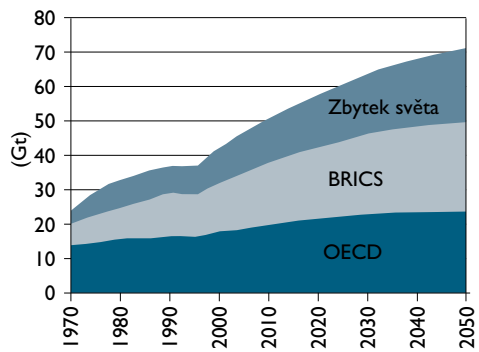
B) Globální rozloha zemědělské půdy, 1980–2050 (různé odhady)



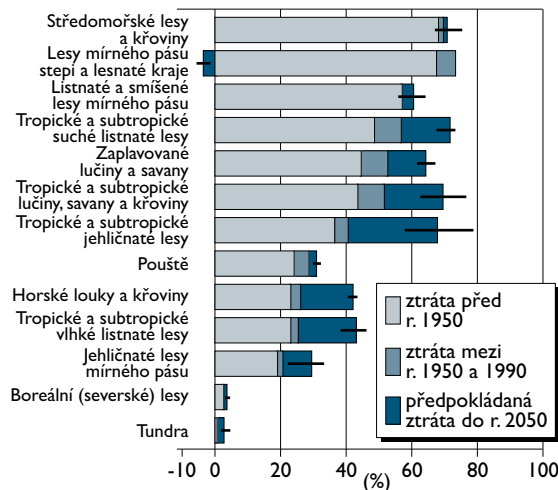
C) Predikce reálného hrubého domácího produktu (2010 PPP USD), 2010–2050



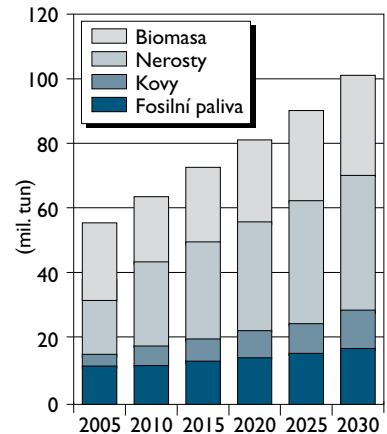
D) Predikce růstu globálních emisí skleníkových plynů CO₂ekv., 1970–2050



E) Potenciálně změněné území na povrchu Země (% z celkové rozlohy souše)



F) Scénář globální těžby ekonomicky využitelných surovin do r. 2030



Scénář nulové varianty (neuvažuje žádná dodatečná opatření, tzv. business-as-usual), výsledky spočítané modelem GINFORS

Obr. 1: Globální projekce spotřeby přírodních zdrojů, využití území a hospodářského výkonu do r. 2050
Zdroj: OECD, 2012; MA, 2005; Dittrich et al., 2012.

2. Kniha zabývající se společenským metabolismem – a zejména jeho „měřením“, hodnocením, indikátory apod. – u nás zatím chybí.

Existuje velké množství odborné i populární literatury zabývající se jednotlivými složkami životního prostředí nebo jednotlivými ekosystémovými službami, tyto publikace však nebývají primárně zaměřeny na hodnotící metody ani komplexně nepokrývají všechna klíčová témata metabolického konceptu.

Za užitečné považujeme číst tento text společně s dalšími dvěma knihami vydanými Nakladatelstvím Karolinum: jedna podává velmi široký a obsáhlý přehled relevantní problematiky, druhá je zaměřena úžeji a klíčové jevy zkoumá podrobněji. První je *Podmaněná planeta* profesora Bedřicha Moldana z Centra pro otázky životního prostředí UK, jež získala Cenu rektora Univerzity Karlovy v Praze za nejlepší vědeckou publikaci v oborech přírodovědných a matematicko-fyzikálních (Moldan, 2009). Autor v ní popisuje stav planetární geobiosféry, příčiny jejího poškozování, stávající i možné negativní dopady a opatření nutná pro její zachování. Kniha nestraší, nevaruje před neodvratitelnou environmentální krizí, ale věcně konstatuje, že úspěch antropocénu nebyl zadarmo: zaplatila ho příroda naší planety, která nám poskytovala a poskytuje své služby, a kterou lidé proto zásadně změnili a mění. Profesor Lubomír Nátr z Přírodovědecké fakulty UK publikoval o něco později knihu o službách ekosystémů *Příroda, nebo člověk? Služby ekosystémů* (Nátr, 2011). Publikace také získala Cenu rektora UK v oboru přírodovědném a matematicko-fyzikálním a kromě toho Nadace Český literární fond udělila autorovi Cenu Josefa Hlávky za nejlepší vědeckou práci v kategorii živých věd za rok 2011. Autor přesvědčivě argumentuje, že s nárůstem počtu lidí, jejich spotřeby a rozvojem jejich schopností došlo k situaci, kdy člověk může radikálně měnit a ničit nejen lokální ekosystémy, ale doslova všechny zásadní podmínky pro současné formy života na Zemi, čímž ohrožuje udržitelnost svého vlastního bytí. Morální a rozumové výzvy k omezení dosavadního čerpání přírodních zdrojů nepřinášejí potřebné korekce našeho chování. Autor klade důraz na přírodovědné aspekty, ale naléhavost a aktuálnost opatření vedoucích ke snížení spotřeby neobnovitelných zdrojů a fungování ekosystémů jej přinutily k formulaci vlastních názorů o širších společenských a etických stránkách jednoznačné závislosti člověka na přírodě.

Kniha *Metabolismus společnosti: materiály, energie a ekosystémy* se pokusí (i) poprvé představit koncept společenského metabolismu, který využívá různé vědní obory a jejich metody ke sledování a analyzování metabolických procesů v člověkem vytvořených systémech a jejich vztah k přírodním procesům; (ii) zasadit koncept společenského metabolismu do širšího rámce pro zkoumání i aplikaci společenských souvislostí ochrany životního prostředí, jímž je environmentální udržitelnost; a konečně (iii) přinést řadu nových poznatků (včetně výsledků specifických pro Českou republiku), které jsou založeny na dlouhodobých výzkumech autorů. Kniha není pojata široce – nezabývá se ani ochranou životního prostředí, ani všemi aspekty environmentální

udržitelnosti. Naopak se úzce zaměřuje na koncept metabolismu antropogenních systémů: uvádí jeho teoretická východiska a poté se tři tematické kapitoly (materiály, energie a území) zabývají předmětnými jevy a metodami jejich zkoumání. Poslední kapitola se již netýká jedné konkrétní oblasti společenského metabolismu, ale zaměřuje se na spojení environmentálních problémů (a jejich indikátorů) s využitím produktů a na analýzu přesunů environmentální zátěže. Doplnuje tak tematické kapitoly o možnost propojení s výrobky, jež lidé ke svému životu používají, a o další možnosti analýzy socioekonomického systému a hnacích sil změn prostředí.

Pro úplnost je třeba dodat, že **koncept společenského metabolismu je mnohem širší** – patří do něj také využívání vodních zdrojů a vše, co souvisí s chemizací prostředí. Člověk intenzivním využíváním zdrojů vody také významně ovlivnil celý hydrologický cyklus na pevninách, působí na klima především produkcí skleníkových plynů, výrazně se v důsledku jeho činnosti zeslabila stratosférická ozonová vrstva a bylo ovlivněno chemické složení celé troposféry. Jsou změněny biogeochemické cykly hlavních živin: antropogenní toky reaktivních sloučenin dusíku, síry a fosforu převyšují velikost toků přirozených; do prostředí se ve velkém měřítku dostávají těžké kovy, jejichž přirozené toky jsou tak zvýšeny až o několik řádů. Schopnost ekosystémů poskytovat člověku různé užtky, včetně těch nezbytných pro život, se zmenšuje.

Tato kniha ale nemá ambici zabývat se vším, co by do konceptu společenského metabolismu mohlo patřit: vychází z omezené odbornosti autorů a respektuje rozsah, ve kterém se nejdůležitější poznatky dají sdělit. **Věnuje se tedy jen určitým jevům spojeným s užitím materiálů (surovin), energie a území, jež se pokouší popsat a zhodnotit prostřednictvím indikátorů.** Smyslem tohoto úsilí je přispět k hledání či eventuálně k nalezení limitů antropogenní zátěže neohrožující udržitelný rozvoj.

Autoři jsou velmi vděční recenzentům, kteří pečlivým přečtením textu a podrobnými poznámkami značně přispěli k jeho zkvalitnění. Díky jim patří i za shovívavost, s níž připomínkovali nedostatky nebo různá opomenutí; o tuto shovívavost prosíme i čtenáře – celé téma je nové, navíc se velmi rychle vyvíjí, takže nevynechat něco důležitého je téměř nemožné. Kniha najde uplatnění u vysokoškolských studentů nejrůznějšího zaměření, kteří studují metody zkoumání a socioekonomické souvislosti interakcí mezi lidskou společností a přírodou nebo si v této oblasti chtějí prohloubit své znalosti. Odborná veřejnost pak může poznatky využít v rámci svých profesí či aktivit na různých úrovních – jako podklady pro tvorbu environmentálních politik a strategií, rozvojových plánů, legislativních norem apod. Text je v každém případě nutno považovat pouze za první seznámení s konceptem metabolismu antropogenních systémů; věříme, že další informace čtenáři budou hledat v citované literatuře a jiných zdrojích.

/1/

Úvod do metabolismu antropogenních systémů

Tomáš Hák

1.1 ANTROPOCÉN

Přibližně dvě stě let lidé žijí – přinejmenším z environmentálního hlediska – v naprosto unikátní době. Laureát Nobelovy ceny P. Crutzen spolu s E. Stoermerem (2000) nazvali současné období **antropocénem**, čímž chtěli naznačit jeho zásadní odlišnost nejen od dosavadní lidské historie, ale i od minulých geologických dob. Počátek nové epochy je symbolicky položen do roku 1784, kdy James Watt oznámil vynález svého parního stroje. Procesy a změny na tváři Země v globálním měřítku jsou na rozdíl od minulosti v rozhodující míře ovlivňovány lidmi, jejich technickou civilizací. Antropocén (rámeček 1.1) je definován jako **doba charakterizovaná všestrannou lidskou expanzí planetárního rozsahu**. Období antropocénu přineslo výraznější změny ve vztazích lidí a přírody než kterékoli jiné v lidské historii. Rychlost změn se výrazně zvyšuje, změny za posledních 50 let jsou v mnoha směrech větší než za celé předchozí dějiny.

1.1 ANTROPOCÉN – NOVÁ EPOCHA V HISTORII ZEMĚ?

Výzkum v klíčové oblasti životního prostředí byl poprvé v historii oceněn Nobelovou cenou v roce 1995. O Nobelovu cenu za chemii se tehdy podělili Američané Mario Molina a Sherwood Rowland a Nizozemec Paul Crutzen za výzkumy chemických reakcí v atmosféře spojených se stratosférickým ozonem a jeho úbytkem v důsledku lidské činnosti.

Právě Crutzen poprvé použil termín antropocén. Navrhl ho jako název nejmladšího geologického období charakterizovaného obrovským vlivem člověka na celou Zemi. Došel k závěru, že dopad lidské činnosti na vývoj Země se již přinejmenším vyrovnal vlivům přírodním. Když se asi před deseti lety na vědecké konferenci mluvilo o holocénu, tedy o období, které začalo na konci poslední doby ledové (před zhruba 11,5 tis. let) a které trvá dodnes, Crutzen oponoval, že již nežijeme v holocénu, ale v antropocénu.

Snah odlišit současnou dobu od období minulých najdeme v nedávné minulosti více. Již kolem r. 1870 navrhl italský geolog A. Stoppani, aby se doba existence člověka nazývala antropozoikum. Novou éru začal odlišovat asi před 80 lety i geochemik V. I. Vernadskij. Poukázal na vzrůstající vliv člověka na přírodu a zejména na to, že se člověk stává významnou geologickou silou nejen v lokálním, ale hlavně v globálním měřítku. Spolu s dalšími geology navrhl pro tehdejší svět termín noosféra. Noosféra je v této teorii po geosféře a biosféře v pořadí třetí fázi vývoje Země. Podobný termín jako Crutzen použil i A. Revkin v r. 1992 – antropocén (*anthrocene*). Termín se však neujal, protože ho kolegové z různých oborů považovali za nevědecký. Crutzenovi však okolnosti přály – vliv člověka na přírodu byl již mnohem patrnější než v minulosti; kdosi mu dokonce navrhl, aby si dal výraz antropocén patentovat.

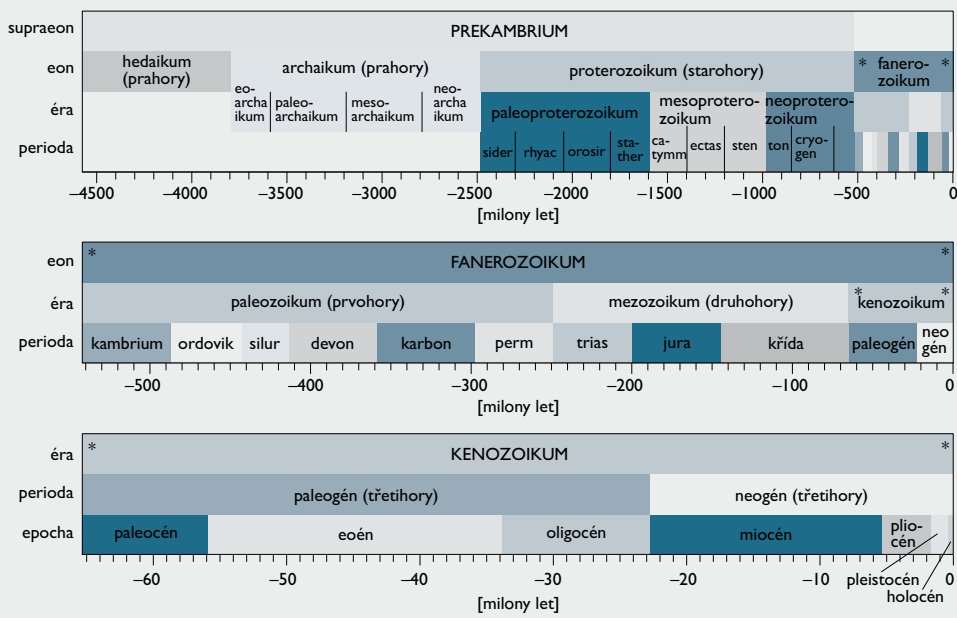
Crutzen svou myšlenku popsal v prestižním časopisu Nature v r. 2002. Dnes tento výraz lze kromě odborné literatury najít třeba v New York Times nebo na internetu (vyhledávač Google v červnu 2014 našel na termín *anthropocene* 770 tisíc odkazů, velké množství jich existuje i v českém jazyce). I přes to, že se od té doby pojem antropocén často objevuje v odborných příspěvcích, knihách a přednáškách, oficiálně může novou epochu pojmenovat pouze Mezinárodní komise pro stratigrafii (ICS). V roce 2008 proto skupina převážně britských geologů vyzvala odbornou veřejnost, aby společně vyhlásila nové geologické období Země – antropocén čili dobu lidí.⁴ Podle nich je už načase ukončit dosud platný holocén, protože za posledních 200 let se lidská činnost stala hlavní hnací silou topografických i klimatických změn.

Současný holocén začal asi před jedenácti tisíci lety, tedy po skončení poslední doby ledové. Skupina dvaadvaceti geologů se vyslovuje pro to, aby zahájení nového období – antropocénu – bylo stanoveno k roku 1800 našeho letopočtu, kdy v podstatě začala průmyslová revoluce, a tím i významné ovlivňování světa člověkem. Každá dosavadní epocha vždy odrážela určující podmínky vývoje Země, například karbon vděčí za svůj název celosvětově vznikajícím slojím uhlí, jež se tehdy vytvářely z odumřelých rostlin. Nyní jsou to už 200 let lidé, kteří rozhodujícím způsobem formují tvář planety, upozorňují vědci.

4 „Vyhlásme dobu lidí,“ vyzývají britští geologové. (http://zpravy.idnes.cz/vyhlasmе-dobu-lidi-vyzyvaji-britsti-geologove-flt-/zahranicni.asp?c=A080125_184421_vedatech_mr)

V uvedeném období podle nich překročil počet lidí miliardovou hranici, začalo stále masovější používání fosilních paliv, vyrostla gigantická města, byla vyhubena řada zvířecích i rostlinných druhů. Sám Crutzen (2002), který celou diskusi vyvolal, se domnívá, že nejde jen o akademickou debatu nebo zavedení dalšího geologického termínu. Podle něj je nutné obrátit pozornost na důsledky činností celé lidské společnosti.

Jak by se tedy antropocén začlenil do geologické časové škály? V 50. letech 20. století bylo stáří Země stanoveno na 4550 milionů let. Celá geologická minulost Země byla rozčleněna na několik období podle událostí, které se v daném období staly. Tato období se dělí na eony, ty se dále člení na éry, éry na periody a periody na epochy. Lepší představu je možné získat ze zjednodušené geologické časové škály na obrázku. Ještě snazší je si představit celou historii Země (tedy přibližně 4,5 mld. let) jako dlouhý televizní seriál trvající 6,5 tisíce hodin (tj. přibližně čtvrt roku). Celý náš současný lidský poddruh *Homo sapiens sapiens* (objevil se před 200–150 tisíci lety) by potom hrál v takovém seriálu jen závěrečnou epizodu trvající 0,5 hodiny a antropocén, tedy éra dominance člověka na planetě v posledních 200 letech, by se jevila jen jako záblesk na konci filmu trvající 1 sekundu⁵.



1.2 ZMĚNĚNÁ PLANETA

Hlavními hnacími silami změn na Zemi je **ekonomický růst umocněný růstem populace** (Kraussmann et al., 2009; UNFPA, 2009), které spolu souvisejí a jejichž celkový efekt je větší, než kdyby působily samostatně. Od počátku

5 Ostatní zdroje: Steffen, 2005. Dále srov. článek Žijeme v antropocénu. Věk člověka. *National Geographic* 3, 2011.

antropocénu vzrostl hospodářský výkon (měřený hrubým domácím produktem) na obyvatele asi 15násobně, v absolutních hodnotách dokonce více než 120násobně. Projekce ukazují, že tyto hnací síly budou v tomto století ještě sílit (obr. 1e).

Tento obrovský ekonomický rozvoj byl umožněn především využitím nových zdrojů energie. Do začátku industriální éry byla téměř výhradním zdrojem energie biomasa – jako potrava, palivové dříví a v menší míře jako krmivo pro tažná zvířata. Celkové množství energie využívané lidmi okolo r. 1800 bylo přibližně 13 EJ (13×10^{18} J), dnes je to přibližně 514 EJ (Smil, 2008). Antropogenní využití fosilních paliv tuto situaci změnilo naprosto zásadně. Využití energie uhlí, ropy a zemního plynu přineslo snad vůbec nejradikálnější změnu ve vztahu lidí a přírody, protože řádově znásobilo možnosti lidské společnosti přetvářet přírodní prostředí. Podobně velkou změnu zaznamenalo i využívání ostatních surovin, zejména průmyslových a stavebních. Odhaduje se, že **současný tzv. metabolický profil (spotřeba surovin a energie) průměrného obyvatele Evropy je asi čtyřicetkrát vyšší, než byl u lovců a sběračů** (Kowalski, Haberl, 1998).

Na začátku antropocénu, tj. na přelomu 18. a 19. století, byla na planetě přibližně 1 miliarda lidí. V roce 2011 žilo na světě 7 miliard lidí, což znamená sedminásobný nárůst za pouhých zhruba 200 let. (Celkový počet obyvatel se zvyšuje každý den přibližně o 210 tisíc.) Dramatickou změnou prošlo také lidské osídlení. V preindustriálním období žilo ve městech méně než 10 % populace, v současnosti je to v globálním měřítku již více než polovina. Podle předpovědi OSN tak může současná světová městská populace s počtem 3,3 miliardy vzrůst v r. 2030 až k pěti miliardám, kdy tři z pěti lidí budou žít ve městech (UNFPA, 2007).

Největší změny nastaly v období antropocénu na souši. I když odlesňování provázelo lidskou civilizaci od samého nástupu paleolitické revoluce, tempo tohoto procesu se prudce zvýšilo především v důsledku potřeby nových ploch pro zemědělství. V době počátku neolitické revoluce (tedy někdy mezi 10. a 8. tisíciletím př. n. l.) bylo zalesněno 51 % souší a tento podíl až do nástupu průmyslového věku poklesl jen málo, přibližně na 45 %. V té době zaujímaly pastviny a pole okolo 12 % plochy souší. V současné době je 50 % území nějakým způsobem přeměněno; významné je, že plocha lesů se v celosvětovém měřítku zmenšila, zatímco pastviny a pole se zvětšily, takže dnes každá tato kategorie zaujímá přibližně stejnou plochu (36–37 % plochy všech souší). Globální změna ve využití území v neprospěch lesa je negativní a dlouhodobá: okolo 3 mil. ha lesa ročně se v dekadě 1990–2000 přeměnilo na jiné využití, toto tempo se ještě zrychlilo na 6 mil. ha za rok v období 2000–2005, ale do roku 2010 se výrazně zpomalilo (FAO, JRC 2012). Lidé přímo využívají značnou část čisté primární produkce suchozemských zelených rostlin: globálně se jedná přibližně o 20 %, ovšem s velkými regionálními rozdíly pohybujícími se od 6 % (Jižní Amerika) až po 70 % (Evropa) (Imhoff et al., 2004).

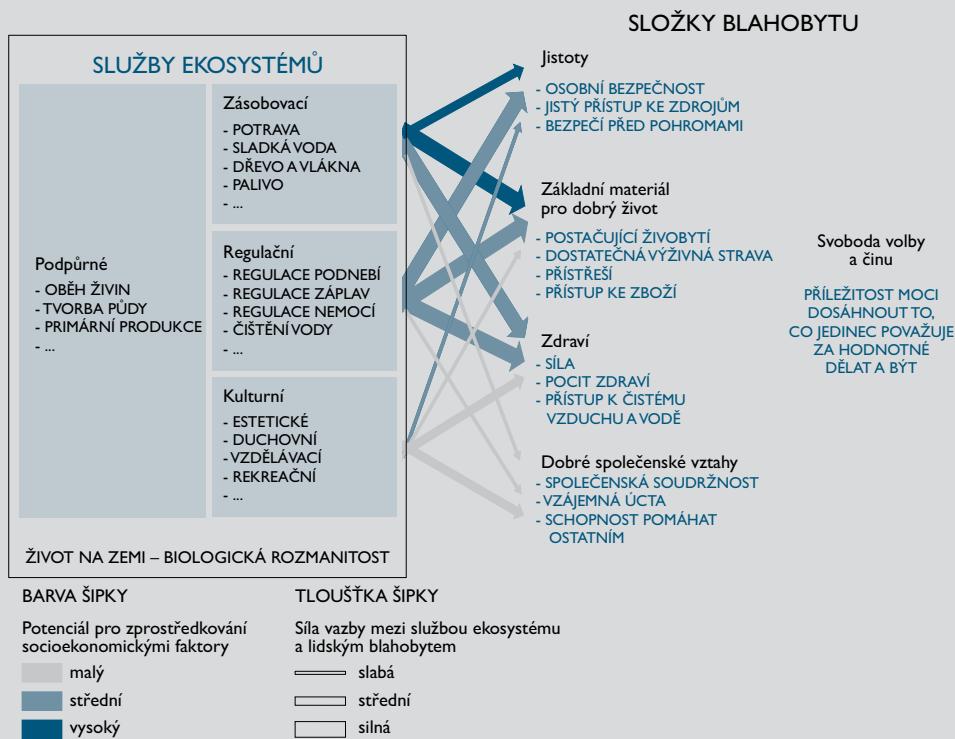
1.3 PŘÍRODNÍ SLUŽBY

Příroda má jistě smysl sama o sobě (O'Neill, 1992). Lidská společnost – její ekonomická činnost, blahobyt každého člověka – se však nemůže obejít bez služeb, které poskytují přírodní i umělé ekosystémy a další složky přírody, tj. bez služeb přírody (více v kap. 4). Přírodní služby můžeme považovat za **ekonomické statky, které v důsledku svých vlastností přinášejí užitek**. Vyznačují se podstatnými znaky statků, jako jsou vzácnost (zdroje, jež máme k dispozici, jsou vždy vzácné v tom smyslu, že jich máme omezené množství) či náklad obětované příležitosti (pokud se chováme racionálně, využijeme své vzácné zdroje nakonec na tu alternativu, která nám přinese nejvyšší uspokojení – užitek v poměru k nákladům, přičemž do nákladů je nutno zahrnout nerealizovaný užitek, jež jsme mohli mít z druhé nejlepší alternativy, kterou jsme nakonec oželeli). Obecně platí, že většina statků má soukromý charakter, jsou předmětem obchodu. O přírodních službách to ale platí spíše výjimečně, obvykle zůstávají mimo trh. Zachování uspokojivé úrovně přírodních služeb je nezbytnou podmínkou pro kulturní a civilizační rozvoj. Některé služby jsou přitom nezbytnou podmínkou pro život sám (Daly, Farley, 2004).

Lidé svůj celkový (společenský) metabolismus udržují s cílem dosáhnout žádoucí, tedy většinou nejvyšší možné kvality života. Pojem „blahobyt“ (či „kvalita života“) má široký význam. Znamená **souhrn materiálních i nemateriálních podmínek dobrého lidského života**. Společenský metabolismus je zase podmíněn službami, které lidstvu poskytuje příroda. Je zřejmé, že mezi veličinami „kvalita života“ a „metabolismus“ bude existovat mnohorozměrný vztah, jehož poznání by umožnilo udržet takovou úroveň společenského metabolismu, jež zajistí dostatečnou kvalitu života při současném zachování či zlepšování přírodních služeb. Ucelená koncepce vztahů mezi přírodním prostředím a kvalitou lidského života byla vypracována v rozsáhlém projektu Hodnocení ekosystémů k miléniu (Millennium Ecosystem Assessment, MA). Základními kameny celé koncepce jsou vztahy mezi ekosystémovými službami (*ecosystem services*), lidským blahobytem (*human wellbeing*) a přímými a nepřímými příčinami změn (rámeček 1.2).

Poskytovateli přírodních služeb jsou však nejen ekosystémy, ale přírodní systémy v širokém slova smyslu. Přírodní a životní prostředí, planetární životodárné systémy (jako je stratosférická ozonová vrstva), obnovitelné i neobnovitelné přírodní zdroje, ekosystémy a biologickou rozmanitost je tedy třeba chránit a pečovat o ně především proto, aby byly zachovány přírodní služby, jež jsou nutnou podmínkou pro lidský blahobyt, sociální a ekonomický rozvoj i celé základní fungování lidské společnosti.

1.2 VAZBY MEZI EKOSYSTÉMOVÝMI SLUŽBAMI A KVALITOU ŽIVOTA (LIDSKÝM BLAHOBÝTEM)



Zdroj: MA, 2005.

Základními kameny celé koncepce jsou vztahy mezi ekosystémovými službami, lidským blahobytem a přímými a nepřímými hnacími silami změn. Klíčovým přínosem rozsáhlého projektu zůstává především specifikace ekosystémových služeb a lidského blahobytu uznávaného jako nutná podmínka udržitelnosti rozvoje.

Termín „kvalita života“ nebo „blahobyt“ má široký význam, znamená souhrn „materiálních“ i „nemateriálních“ podmínek dobrého lidského života. Podle miléniového hodnocení má kvalita života pět základních složek:

- materiální předpoklady pro dobrý život,
- zdraví,
- dobré mezilidské vztahy,
- svoboda volby,
- jistoty a bezpečnost.

V rámci hodnocení k miléniu byly podrobně zkoumány jednotlivé kategorie služeb a zhodnoceny jejich současné trendy. Obrázek znázorňuje rozsah vazeb mezi kategoriemi služeb ekosystémů a složkami lidského blahobytu, s nimiž se běžně setkáváme. Barva šipek

udává, do jaké míry mohou být vazby zprostředkovány socioekonomickými faktory. Je-li například možné koupit náhradu za zaniklou službu ekosystému, je potenciál zprostředkování vysoký. Rozsah vazeb – znázorněné tloušťkou šipky – a potenciál zprostředkování se liší v jednotlivých ekosystémech a regionech. Kromě zde uvedeného vlivu služeb ekosystémů ovlivňují lidský blahobyt také další faktory – včetně dalších činitelů životního prostředí, ale i faktorů ekonomických, společenských, technických a kulturních –, a ekosystémy jsou naopak rovněž ovlivňovány změnami lidského blahobytu.

Mimo služby, jejichž základem je dobré fungování živé přírody, lze koncept ekosystémových služeb rozšířit a doplnit o několik dalších důležitých kategorií relevantních pro zkoumání společenského metabolismu (Moldan, 2007). Především jde o **poskytování prostoru**, který je zásadní podmínkou fungování a rozvoje společnosti. Pro lidský život mají nezastupitelné místo plochy, na kterých může probíhat biologická asimilace, nicméně velká část lidského života probíhá i na plochách s nevelkou přírodní hodnotou. Pro správné pochopení těchto souvislostí je třeba vyvinout indikátory nejen změn využití území, ale zejména změn v ekosystémových službách vázaných na změny území. Další důležitou skupinou přírodních služeb je **poskytování materiálů, které nemají svůj původ v procesech současných ekosystémů – nerostných surovin**. (Tento typ služeb můžeme považovat za rozšíření kategorie zásobovacích služeb.)

Důležitou otázkou spojenou s funkcí přírodních služeb je jejich vzájemná konkurence a nahraditelnost. V některých případech poskytování určité služby vylučuje poskytování služby jiné a střety mezi jednotlivými přírodními službami mohou být úplné, částečné nebo vůbec žádné. Vícenásobné využití stejného fenoménu pro službu různého druhu, ať už ve stejném čase, nebo naopak v různém čase (řeky pro pitnou vodu, koupání nebo ryby) je běžnou záležitostí. Je ovšem zřejmé, že pokud poskytování určité služby vylučuje poskytování služby jiné, je věcí společenského rozhodnutí, které dát přednost.

1.4 METABOLISMUS PŘÍRODNÍCH SYSTÉMŮ (PLANETA BEZ LIDÍ)

Život představuje vysoce uspořádanou formu hmoty, která roste a rozmnožuje se na úkor svého chaotičtějšího okolí. Způsob, jakým živé organismy hospodáří s energií, budil vždy zájem a údiv termodynamiků. Podle klasických zákonů termodynamiky zaujme systém ponechaný sám sobě stav o nejmenším obsahu volné energie. To ale platí v uzavřených systémech – aby život mohl udržovat svoji komplexní povahu a pokračovat v jemně vyvážených procesech navzdory těmto zákonům, potřebuje nepřetržitou dodávku energie zvenčí. Živé organismy mají zajímavé vlastnosti: hromadí v sobě volnou energii

na úkor ostatních složek systému a stejně tak zvětšují uspořádanost svého těla. Zdroji energie, která se v organismech hromadí, jsou chemické reakce a světlo. Všechny formy života na Zemi získávají energii pro svoji okamžitou spotřebu z chemických látek. Tyto chemické látky mohou být anorganického původu, mohou pocházet z jiného organismu anebo mohly vzniknout vlastní syntézou. V dnešní biosféře hradí světlo takřka všechny energetické výdaje veškerého života na Zemi (více kap. 3.2). V počátcích evoluce to bylo naopak – jediným zdrojem energie pro prebiotické a první živé systémy byly chemické reakce. Pro získávání energie světla se totiž muselo vytvořit složité molekulární a strukturální uspořádání organismů (Buchar et al., 1987).

Naše kniha se ale nezabývá metabolismem buněk ani jednotlivých organismů, ani přírody jako celku. To je jiné téma, k jehož poznání vedou jiné metody. Nás zajímá metabolismus lidské společnosti, který vzniká v interakci s přírodou (ekosférou), pro jehož studium však planetární metabolismus poskytuje nutný rámec – bez kontextu a znalosti toho, co se děje na planetě bez vlivu člověka, by nebylo možné jeho vliv poznat, hodnotit apod. (proto jsou v dalších kapitolách v nezbytném rozsahu zmíněny procesy, jako je fotosyntéza, primární produkce atd.). Tyto děje probíhají nezávisle na člověku: příroda – byť ne v dnešní podobě – a její funkce existují již od prvohor déle než 500 milionů let, zatímco člověk do ní zasahuje až od čtvrtohor (a to ještě změny, které zásadně změnily fungování planetárního metabolismu, lze datovat až od doby průmyslové revoluce, tj. přibližně posledních 200 let – viz výše).

Procesy **látkové výměny** planetárního (biosférického) metabolismu mají povahu spíše cyklickou. Bez vlivů člověka je lze považovat za látkovou výměnu, která je v zásadě v rovnováze. Jde o rovnováhu dynamickou, setrvalý, víceméně stabilní stav, který je výsledkem komplexu probíhajících procesů, jež jsou vzájemně sladěny. Toky látek jsou spolu propojeny, tvoří uzavřené biogeochemické cykly. V globálním měřítku můžeme rozlišit tři hlavní typy: horninový cyklus, hydrologický cyklus a biologický cyklus. V jejich rámci sledujeme pohyby a transformace jednotlivých chemických prvků a sloučenin, atmosférický, vodní a biologický transport a mnohé další procesy.

Podobně jako studujeme v přírodě přenos a výměnu látek, zkoumáme také procesy přenosu energie – **energetický metabolismus**. Nejvýznamnějším zdrojem energie pro téměř všechny procesy na povrchu naší planety je energie sluneční (viz kap. 3). Výkon slunečního záření je asi o tři řády vyšší než výkon všech ostatních přirozených zdrojů energie na Zemi dohromady. Energie slunečního záření je hybnou silou pro hydrologický cyklus, vypařování a vodní srážky, přeměňuje se na energii větru, vln na moři, energii řek i mořských proudů. Je životodárnou silou biologického cyklu, pro který je klíčovým procesem fotosyntéza zelených rostlin. Ta, přestože celkově spotřebuje jen asi 0,1 % energie ze Slunce, je prakticky jediným zdrojem energie pro téměř všechno živé na Zemi a má naprosto základní význam pro celou podobu biosféry.

Biosférický metabolismus probíhá ve všech zemských sférách: litosféře, pedosféře, hydrosféře, atmosféře i biosféře. Relevantní pro koncept socioekonomického metabolismu jsou zejména změny suchozemského pokryvu (viz kap. 4). Povrch pevnin má různou povahu podle zeměpisné šířky, nadmořské výšky, průměrné teploty, úhrnu srážek a dalších vlivů. Protože je charakter velkých geografických jednotek s přibližně stejnými typy ekosystémů (biomů) závislý především na podnebí, mění se s měnícím se podnebím jejich rozsah i podoba. Celková podoba zemského pokryvu se tak naposledy zásadně změnila při přechodu od poslední doby ledové (glaciálu), jehož maximum bylo přibližně před 20 000 lety, k současné době meziledové (interglaciálu).

Do všech přírodních cyklů významně zasahují antropogenní aktivity. V éře antropocénu svou mohutností mnohé přírodní procesy již překonávají (Rockström, 2009). Horninové procesy jsou urychlovány zvýšenou erozí zejména zemědělských půd, vodní koloběh je ovlivněn výstavbou přehrad a spotřebou vody např. pro zavlažování, ale také změnou využívání území a následně také změnou vegetačního krytu rozsáhlých částí pevnin. Nejvýrazněji zasahuje lidská činnost do biologického cyklu, zvláště významným procesem je spalování fosilních paliv, které mění biogeochemický cyklus uhlíku, avšak týká se i dalších prvků, zejména dusíku a síry. Zásadním způsobem ovlivňuje lidská činnost biogeochemické procesy těžkých kovů a syntetických organických látek, jež se v přírodě přirozeně nevyskytují (nebo jenom ve velmi nízkých koncentracích). Ačkoli je toto zřejmé pro syntetické látky výhradně vyrobené člověkem, jako je např. polyvinylchlorid (PVC), u kovů jako např. kadmium (Cd) zůstává tato skutečnost méně nápadná. U tohoto kovu je člověkem indukovaný tok z litosféry do antroposféry asi třikrát větší než geogenní toky v důsledku eroze, zvětrávání, vymývání a sopečné činnosti. Jako následek vzrostou koncentrace kadmia v některých složkách prostředí, např. v půdě, a zásoba kadmia v antroposféře bude představovat nechtěné dědictví pro budoucí generace.

1.5 SPOLEČENSKÝ METABOLISMUS (METABOLISMUS ANTROPOGENNÍCH SYSTÉMŮ)

1.5.1 ECCE HOMO!

V užším a původním významu metabolismus (z řec. *meta* – přes, *balló* – házím) značí **látkovou přeměnu**, tj. soubor všech enzymových reakcí, při nichž dochází k přeměně látek a energií v buňkách a v živých organismech. Podle jiné definice je metabolismus látková a energetická výměna, příjem a zpracování živin. Každý přírodní proces, každá činnost živých organismů jsou spojeny s přenosem látek a energie. S tím, jak lidské aktivity – a zásahy do biosférického metabolismu – nabývaly na intenzitě, rostl i zájem o zkoumání těchto

vlivů s cílem poznat je a případně je regulovat. Vedle přírodního metabolismu byl pojmenován i **metabolismus antropogenní**, nazývaný také společenský nebo socioekonomický metabolismus (*anthropogenic, social, socio-economic metabolism*) (viz kap. 1.6).

Přítomnost lidí na této planetě se po dlouhou dobu nijak výrazně neprojevila. Člověk zůstával jedním z mnoha živočišných druhů. Až objev užívání ohně zásadně změnil jeho vztah k přírodním systémům. To byla první událost významná pro celou biosféru, posledních sto až dvě stě tisíc let lidé oheň široce využívají. Cílevědomou modifikací přírodních podmínek, zejména obděláváním zemědělské půdy, vytvořil pak člověk zcela nový prvek v dějinách biosféry: agroekosystém. Zemědělstvím se člověk zásadním způsobem odlišil od přírody a začal žít svým specifickým životem. Agroekosystém je tvořen komplexem zemědělských pozemků (včetně půdy dočasně ponechané ladem), kulturními i přirozenými rostlinami, dobyt看em a dalšími hospodářskými zvířaty a lidským sídlištěm se všemi zařízeními. Agroekosystém má některé podobné vlastnosti jako ekosystém přirozený. Jak u přírodních ekosystémů, tak u agroekosystémů ještě nedávné doby lze mluvit o kruhovém typu výměny látek, o cyklickém metabolismu.

Na začátku 16. století nastal v Evropě vývoj, jenž měl z hlediska dějin biosféry neobyčejný význam: dřevo se postupně přestalo používat jako palivo a nahradilo ho kamenné uhlí. Za krátké období sto padesáti až dvou set let se uhelná technologie zdokonalila a používání uhlí jako levného zdroje energie i výhodné suroviny pro některá odvětví se masově rozšířilo. Až do té doby se ekonomika, založená na agroekosystémech, úplně obešla bez masivního přísunu energie. Kulturní a civilizační úroveň nebyla až dosud v žádné korelaci s výrobou a spotřebou energie. Srovnáme-li spotřebu energie se silou lidských svalů, můžeme odhadnout, že od počátku neolitu až do této doby každý člověk v průměru „zaměstnával“ nejvýše dva tři „energetické otroky“⁶ (ekvivalenty své vlastní síly a výkonnosti). Byl to například tažný dobytek, vítr a voda pohánějící lodě nebo mlýn, a dřevo, jímž se topilo. Dostatek levné energie, jejímž zdrojem bylo uhlí, znamenal zásadní převrat v dosavadním technickém a ekonomickém rozvoji a právě tato skutečnost umožnila obrovský rozmach techniky. Tento proces, který označujeme jako průmyslovou revoluci, dospěl k vrcholu v Anglii okolo roku 1750. Na jeho začátku jsou páteří ekonomického systému agroekosystémy, na vrcholu pak průmysl. Na rozdíl od metabolismu cyklického se zde poprvé setkáváme s metabolismem jednosměrného proudu, lineárním metabolismem.

6 Energetický otrok je termín navržený americkým architektem a filozofem B. Fullerem okolo r. 1944 (viz např. *Utopia or Oblivion: The Prospects for Humanity*, 1969). Jeho velikost je stanovena jako výkon 250 W. V roce 1500 byla primárním hybatelem zvířata (cca 750 W) a lidské svaly (250 W; průměrný člověk je schopen svoji silou podávat trvalý výkon asi 70 W a za 7 hodin tak vygenerovat asi půl kilowatthodiny). V současné době má běžný člověk k dispozici výkon o tři až čtyři řády vyšší, např. malý osobní automobil s 50kW motorem.

Metabolismus jednosměrného proudu je charakterizován tím, že potřebuje suroviny, materiály a energii, které plně nebo zpravidla jen zčásti využije a přemění je na finální výrobky určené k užití. Poté co výrobky ztratí užitnou funkci, přemění se na odpad. Odpady přitom vznikají v každé fázi celého postupu ve formě nepotřebných látek, odpadních vod, exhalací. Surovinou jsou látky i zdroje energie; výrobkem mohou být nejrůznější předměty nebo jiná forma energie; užití je rovněž mnohostranné. Stejně tak termín odpad je pojat velmi široce: jde o odpady tuhé, tekuté, plynné rozmanitého chemického složení i o odpadní druhy energie v nejrůznější formě. V reálných případech je energomateriálový tok zpravidla složitý a komplikovaný – jsou přítomny i úseky cyklické povahy, které jsou však zpravidla kvantitativně nevýznamné. Vzniká dvojitý problém: na jedné straně je zapotřebí zabezpečit dostatek surovin, na druhé straně je nutno naložit s odpady.

Průmyslová výroba se datuje od vzniku prvních manufaktur ve Flandrech ve 14. století. Průmysl závislý na intenzivním využívání fosilní energie existuje přes tři sta let. Ještě před několika málo desetiletími však vedle sektoru průmyslového existoval sektor zemědělský, ve kterém nerušeně fungoval původní typ agroekosystému. Zemědělství se ovšem vyvíjelo nejen technicky, ale i z hlediska metabolického: velikost vstupů a výstupů se vzhledem k vnitřnímu cyklu neustále zvětšovala. Zemědělství produkovalo stále více přebytků a stávalo se závislejší na dodávaných „surovinách“ v různých formách: hnojivech, pesticidech, šlechtěných osivech a sadbách, mechanizačních prostředcích, pohonných hmotách. Podstata starého agroekosystému s cyklickým charakterem metabolismu však zůstala zachována. Zlom nastal až v polovině 20. století, kdy postupně převládl nový způsob – zemědělská velkovýroba průmyslového typu. Velikost energomateriálových vstupů a výstupů převýšila velikost vnitřního, cyklického metabolismu a v posledních fázích byl navíc tento vnitřní metabolismus do značné míry odbourán. Zemědělství moderního typu nemá už nic společného s využíváním agroekosystému, jak fungoval deset tisíc let. Vyvážený a téměř uzavřený oběh látek mezi polem, stodolou, statkem a hnojištěm byl zaměněn za metabolismus průmyslového typu, charakterizovaný jednosměrným proudem: do systému vstupují umělá hnojiva, těžké polní stroje a další, komplikované stroje, jež pracují stále více mimo pole (sušičky, výrobní krmných směsí apod.), pesticidy a jiné chemické látky, krmiva z nejrůznějších, často vzdálených zdrojů. Industrializace zemědělství vedla k tomu, že dnes potřebuje též nemalé množství energie na pohon strojů. Půda slouží pouze jako substrát a živiny se dodávají formou hnojiv, jejichž výroba je energeticky náročná.

Materiálovými výstupy ze systému jsou nejen žádané zemědělské produkty, ale i zbytky umělých hnojiv, rezidua pesticidů, odpady z velkochovů a spousta dalších nepříjemných látek, někdy i nepoužitá část vyprodukovaných plodin. Protože naprostá většina produktů se nekonzumuje přímo na místě, tj. v rámci místního ekosystému, stává se úroda surovinou pro jiný druh

průmyslu, pro průmysl potravinářský, který opět produkuje odpady jen zčásti využívané. A obtížný odpad je konečně výsledkem i finálního zpracování a vlastní spotřeby.

Nový způsob je po všech stránkách výkonnější, především pokud jde o produktivitu lidské práce. Těsně před nástupem průmyslového typu zemědělství byly přebytky - výstupy cyklu - tak malé, že mimo agroekosystém se mohlo uživit jen asi stejné množství lidí jako v jeho rámci. To znamená, že každý zemědělec uživil v průměru jednoho městského člověka, který se přímo ani nepřímo nezaměstnával výrobou potravin, většinou ale daleko méně. V nejvyspělejších státech užívá dnes jeden zemědělský pracovník až sto osob, které se mohou zabývat něčím jiným. Například v Německu připadá na jednoho zemědělského pracovníka 89 obyvatel; ještě v roce 1950 byl jeden zemědělec schopen vyrobit potraviny jen pro 10 obyvatel, což znamená, že za půl století se produktivita zemědělské práce v Německu zvýšila zhruba na devítinásobek (EC, 1998).

1.5.2 UDRŽITELNÁ SPOTŘEBA A VÝROBA

Koncept společenského metabolismu pohlíží na vliv určitého socioekonomického systému na životní prostředí ze dvou pohledů: 1. jak jsou vyrobeny různé produkty; 2. jak jsou tyto produkty či služby spotřebovávány konečnými uživateli. V dosažení cílů udržitelného rozvoje tedy hraje důležitou roli udržitelná spotřeba (a výroba), která v sobě zahrnuje vzájemnou vazbu všech tří dimenzí udržitelnosti: sociální, ekonomické a environmentální. Udržitelná spotřeba se poprvé zařadila mezi hlavní výzvy k udržitelnosti na Summitu Země v Riu v červnu 1992. Ve zprávě Agenda 21 se čtvrtá kapitola nazývá **Změna vzorců spotřeby**. Zahrnuje celkový životní styl, naši volbu zboží a služeb, které kupujeme a užíváme, a způsob jejich výroby a zneškodnění z hlediska zátěže životního prostředí. Jde tedy o to, abychom si zvykali při výběru zboží a v celkovém stylu života brát v úvahu nejen ekonomické náklady, ale současně také náklady ekologické či environmentální. Mezinárodní organizace (např. Program OSN pro životní prostředí, Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj, Evropská agentura životního prostředí) i vlády jednotlivých států v poslední době přijaly řadu opatření k podpoře udržitelné spotřeby. Obsahují principy, cíle a indikátory, jež z pojetí společenského metabolismu vycházejí a přibližují tak teoretický koncept praktické politiky (rámeček 1.3).