

# 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](http://www.karolinum.cz)  
[ebooks@karolinum.cz](mailto:ebooks@karolinum.cz)



# OBSAH

Předmluva (Bedřich Moldan) .....	7
Proč vznikla tato kniha (Tomáš Háek).....	9
<b>1. Úvod do metabolismu antropogenních systémů</b> (Tomáš Háek) .....	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
<b>2. Přírodní zdroje a analýza materiálových toků</b> (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
<b>3. Energetický metabolismus v přírodě a lidské společnosti</b> (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
<b>4. Analýza území a ekosystémů</b> (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

<b>5. Posuzování životního cyklu a input-output analýza (Jan Weinzettel).....</b>	<b>223</b>
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 přiléhavě platí staré přísloví: „Co nelze měřit, nelze ani řídit.“<sup>1</sup>

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“<sup>2</sup> 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

	<b>(zelené světlo)</b>	<b>(žluté světlo)</b>	<b>(červené světlo)</b>
<b>Změny klimatu</b>		– klesající emise skleníkových plynů na jednotku HDP	– celosvětové emise skleníkových plynů – rostoucí důkazy o již probíhajících změnách klimatu
<b>Biodiverzita a obnovitelné přírodní zdroje</b>	– zalesněná plocha v zemích OECD	– lesní hospodářství – chráněné oblasti	– kvalita ekosystémů – úbytek druhů – invazní cizí druhy – tropické lesy – ilegální těžba dřeva – fragmentace ekosystémů
<b>Voda</b>	– 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
<b>Kvalita ovzduší</b>	– emise SO <sub>2</sub> a NO <sub>x</sub> v zemích OECD	– prachové částice a přízemní ozon – emise ze silniční dopravy	– kvalita městského ovzduší

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

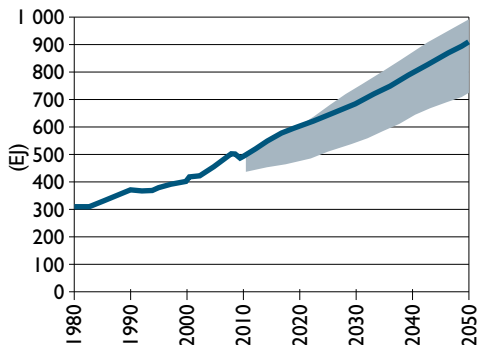
Poznámka: Zelené světlo signalizuje otázky životního prostředí, které jsou dobře řízeny a zvládnány nebo v jejich řízení došlo v posledních letech k významným zlepšením, u nichž by však země OECD měly nadále zachovávat obezřetnost. Žluté světlo signalizuje otázky životního prostředí, které i nadále zůstávají 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 rozlohy<sup>3</sup> 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.

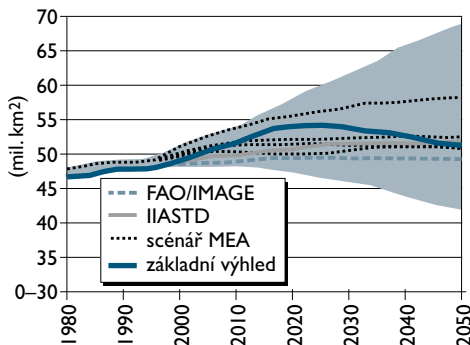
3 Rozsah jednotlivých biomů před výraznými dopady činnosti člověka nelze přesně odhadnout, ale lze určit „potenciální“ rozlohu biomů na základě půdních a klimatických podmínek.

A) Globální primární energetická spotřeba, 1980–2050

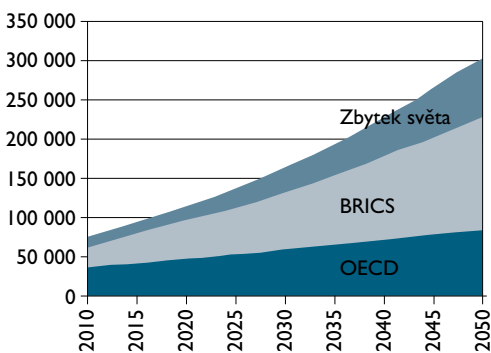


Výchozí referenční úroveň a rozpětí hodnot, které lze nalézt v literatuře

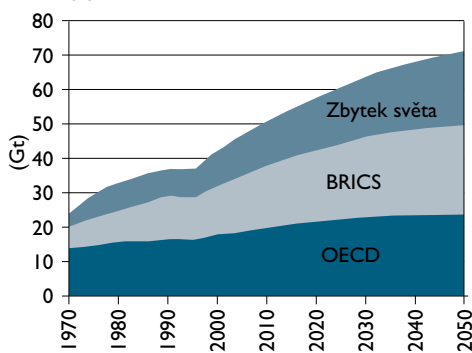
B) Globální rozloha zemědělské půdy, 1980–2050 (různé odhady)



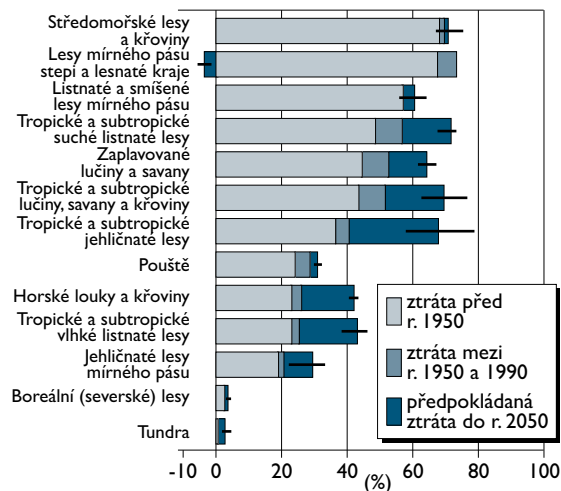
C) Predikce reálného hrubého domácího produktu (2010 PPP USD), 2010–2050



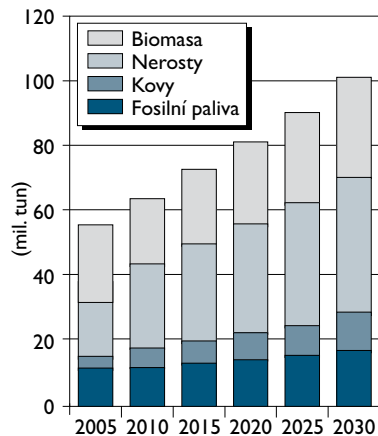
D) Predikce růstu globálních emisí skleníkových plynů CO<sub>2</sub>ekv., 1970–2050



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 užítky, 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.

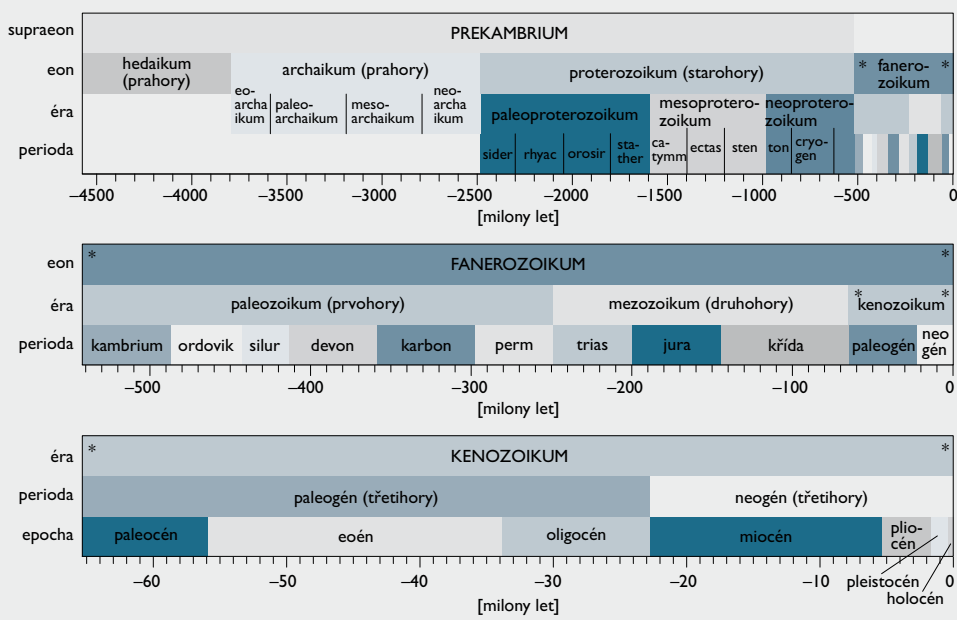
Crutzen svou myšlenku popsal v prestižním časopisu Nature v r. 2002. Dnes tento výraz lze kromě odborné literatury najít třeba v New York Times nebo na internetu (vyhledávač Google v červnu 2014 našel na termín *anthropocene* 770 tisíc odkazů, velké množství jich existuje i v českém jazyce). I přes to, 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.<sup>4</sup> 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](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 sekundu<sup>5</sup>.



## 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 ( $13 \times 10^{18}$  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).