

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 Packová

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 ZB06183).

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 vrbů 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.“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 nevypovídá 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, ekonomických 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	– odpadové hospodářství v zemích OECD – emise CFC v zemích OECD	– produkce komunálního odpadu – emise CFC v rozvojových zemích	– nakládání s nebezpečným odpadem a jeho doprava – odpadové hospodářství v rozvojových zemích – chemikálie v životním prostředí a v produktech
---	--	---	--

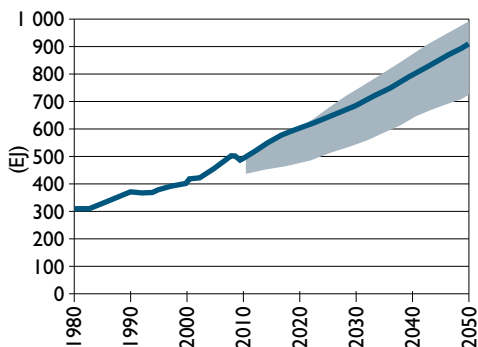
Poznámka: Zelené světlo signalizuje otázky životního prostředí, které jsou dobře řízeny a zvládnány nebo v jejich řízení došlo v posledních letech k významným zlepšením, u nichž by však země OECD měly nadále zachovávat obezřetnost. Žluté světlo signalizuje otázky životního prostředí, které i nadále zůstávají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

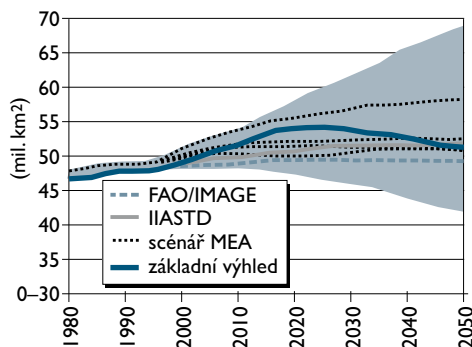
3 Rozsah jednotlivých biomů před výraznými dopady činnosti člověka nelze přesně odhadnout, ale lze určit „potenciální“ rozlohu biomů na základě půdních a klimatických podmínek.

A) Globální primární energetická spotřeba, 1980–2050

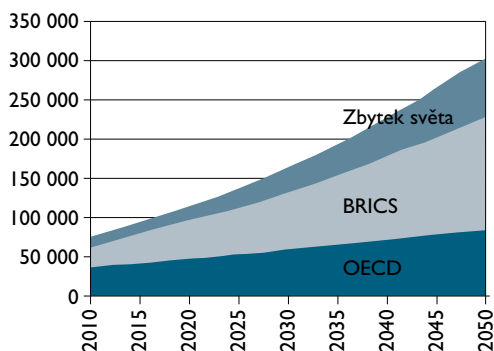


Výchozí referenční úroveň a rozpětí hodnot, které lze nalézt v literatuře

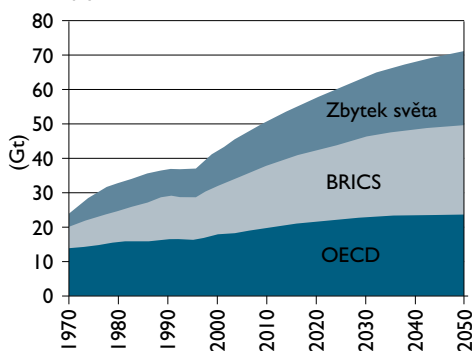
B) Globální rozloha zemědělské půdy, 1980–2050 (různé odhady)



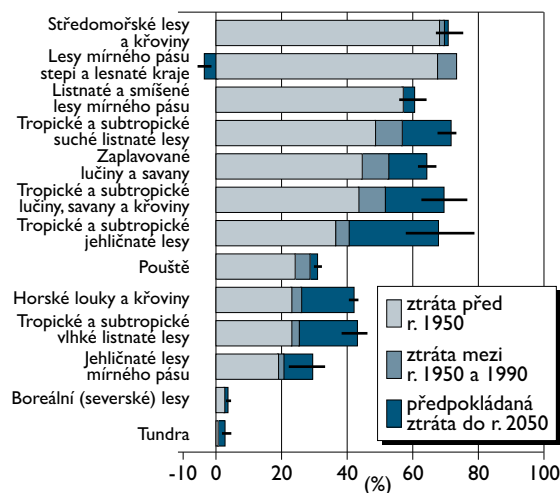
C) Predikce reálného hrubého domácího produktu (2010 PPP USD), 2010–2050



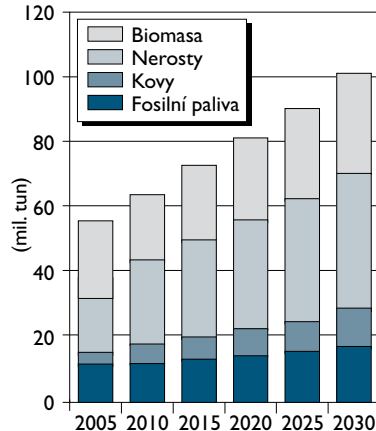
D) Predikce růstu globálních emisí skleníkových plynů CO₂ekv., 1970–2050



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 antropocenu 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.