

# PŘÍLEŽITOSTI A VÝZVY ENVIRONMENTÁLNÍHO VÝZKUMU

JAN FROUZ — BEDŘICH MOLDAN (EDITOŘI)

KAROLINUM



## Příležitosti a výzvy environmentálního výzkumu

Jan Frouz - Bedřich Moldan (editoři)

---

Autoři:

Martin Braniš, Tomáš Cajthaml, Alexander Martin Čelko, Milena Černá, Milan Damohorský, Jana Dáňová, Jan Frouz, Tomáš Hák, Tomáš Halenka, Jakub Horecký, Zuzana Hořická, Jan Hovorka, Evžen Hrnčíř, Petra Humlíčková, Iva Hůnová, Kateřina Jančaříková, Svatava Janoušková, Pavel Kindlmann, Monika Kneidlová, Tereza Kopřivová-Herotová, Jan Kovanda, František Kožíšek, Zdena Křesinová, Vojtěch Máca, Václav Matoušek, Jan Melichar, Bedřich Moldan, Nataša Mazáčová, Jan Pergl, Irena Perglová, Hana Provazníková, Kamil Provazník, Petr Pyšek, Jiří Reif, Sylva Rödlová, Dagmar Schneiderová, Vojtěch Stejska, Evžen Stuchlík, Milan Ščasný, David Vačkář

Recenzovali:

doc. RNDr. Josef Matěna, CSc.

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vydala Univerzita Karlova v Praze

Nakladatelství Karolinum

Grafická úprava Jan Šerých

Sazba DTP Nakladatelství Karolinum

Vydání první

© Univerzita Karlova v Praze, 2015

© Jan Frouz, Bedřich Moldan (editoři), 2015

ISBN 978-80-246-2667-3

ISBN 978-80-246-2752-6 (online : pdf)



Charles University in Prague  
Karolinum Press 2015

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



# OBSAH

Slovo úvodem. ....	7
<b>1. Co je to environmentální výzkum, z čeho vychází a kam směřuje?</b> ( <i>J. Frouz, B. Moldan</i> ) .....	9
<b>2. Globální změna klimatu</b> ( <i>T. Halenka</i> ) .....	13
<b>3. Vliv klimatických změn na biodiverzitu</b> ( <i>J. Reif</i> ) .....	23
<b>4. Nepůvodní druhy rostlin, možné příčiny a důsledky invazí</b> ( <i>J. Pergl, P. Pyšek, I. Perglová</i> ) .....	33
<b>5. Antropogenní disturbance v krajině a ochrana životního prostředí</b> ( <i>J. Frouz</i> ) .....	49
<b>6. Příklad disturbance: gradace lýkožrouta na Šumavě</b> ( <i>P. Kindlmann</i> ) .....	63
<b>7. Antropogenní acidifikace povrchových vod</b> ( <i>E. Stuchlík, Z. Hořícká, J. Horecký</i> ) .....	75
<b>8. Nové typy polutantů – endokrinní disruptory v životním prostředí a jejich biodegradace</b> ( <i>Z. Křesinová, T. Cajthaml</i> ) .....	85
<b>9. Nové poznatky a výzvy v ochraně ovzduší</b> ( <i>M. Braniš, I. Hůnová, J. Hovorka</i> ) .....	107
<b>10. Vliv životního a pracovního prostředí a životního stylu na lidské zdraví</b> ( <i>A. M. Čelko, M. Černá, J. Dáňová, T. Kopřivová-Herotová, E. Hrnčíř, M. Kneidlová, F. Kožíšek, H. Provazníková, K. Provazník</i> ) .....	129
<b>11. Člověk a příroda v minulosti Českých zemí. Od pravěku ke globální společnosti</b> ( <i>V. Matoušek</i> ) .....	161
<b>12. Indikátory společenského metabolismu</b> ( <i>T. Hák, J. Kovanda</i> ) .....	179
<b>13. Globální změny a environmentální bezpečnost lidské společnosti</b> ( <i>D. Vačkář, S. Janoušková</i> ) .....	197
<b>14. Hodnocení environmentálních efektů jako součást „evidence-based policy“: Případová studie – Skryté náklady těžby uhlí za limity</b> ( <i>J. Melichar, V. Máca, M. Ščasný</i> ) .....	213

<b>15. Environmentální vzdělávání a výchova</b> ( <i>K. Jančaříková, N. Mazáčová</i> ) . . . . .	231
<b>16. Účinnost a působení českého práva životního prostředí</b> ( <i>M. Damohorský, P. Humlíčková, V. Stejska</i> ) . . . . .	251
Bibliografie . . . . .	267
Summary . . . . .	309

# Slovo úvodem

Myšlenka napsat tuto knihu vznikla po skončení úspěšného semináře, který představil hlavní výzkumné směry zastoupené v Programu rozvoje vědních oblastí Univerzity Karlovy (PRVOUK). Seminář uspořádal Ústav pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty 9. listopadu 2012. Kniha přináší shrnutí hlavních směrů environmentálního výzkumu na Univerzitě Karlově, avšak zároveň naznačuje zaměření environmentálního výzkumu v ČR.

Environmentální výzkum se mimo témata zabývající se živou přírodou snaží o pochopení komplexity fungování energetického a látkového metabolismu naší planety, porozumění abiotickým složkám životního prostředí a pochopení jejich interakcí s lidskou společností, včetně hledání cest, jak tyto interakce ovlivňovat, usměrňovat a regulovat. Jedním z důvodů, proč napsat tuto knihu, bylo ukázat, že environmentální problémy mají nejen svou stránku čistě přírodovědnou, ale obsahují zpravidla i pohled technický, ekonomický a společenskovední, přinášející otázky sociálně-právní, edukativní, etické atp. Otázky společenskovední jsou přitom poznamenány předchozím kulturně-historickým vývojem, který spoluutváří současný pohled společnosti na ten či onen problém. Navíc každá ze zúčastněných disciplín má vlastní východiska,

metodické přístupy a problémy. Právě propojování těchto různých pohledů představuje největší výzvu a zároveň největší příležitost environmentálního výzkumu.

Současný výzkum, a nejen výzkum environmentální, se během svého vývoje specializoval na řadu dílčích disciplín, které nám přinášejí nepřehledné množství podrobných informací k jednotlivým otázkám fungování přírody či lidské společnosti. Nicméně v běžném životě často potřebujeme relativně jednoduchá pravidla, jak se máme zachovat. Tato pravidla by měla vycházet z našeho komplexního poznání reality a zde před námi stojí klíčový problém, jak syntetizovat stávající poznání a promítnout ho do oněch prakticky uchopitelných pravidel, která by pak vedla ke změně chování lidské společnosti díky vzdělávání a ekonomickým či právním regulačním nástrojům.

Roztříštěnost environmentálního výzkumu se projevuje i v roztříštěnosti financování a logistické i organizační podpory. Nicméně i v této oblasti dochází k určitým posunům, které je možno spatřovat ve vzniku řady fakult životního prostředí u nás i v zahraničí a nakonec i ve formování programu environmentálního výzkumu v rámci UK. Propojení a koordinace výzkumných programů mohou být cenné nejen organizačně a logisticky, ale zejména z pohledu vytváření oné výše zmíněné jednotící koncepce přístupu k environmentálním problémům.

*V Praze 28. 10. 2013*

*Jan Frouz a Bedřich Moldan*



/1/

# Co je to environmentální výzkum, z čeho vychází a kam směřuje?

Environmentální výzkum proniká do široké škály lidských činností, ale není přitom veřejností vnímán jako ucelený, jasně definovaný obor. Naproti tomu se setkáváme s označením „ekologický“ ve zcela nepatřičných souvislostech. Co to tedy je environmentální výzkum? Jde o výzkum, jehož předmětem je životní prostředí převážně vnímané jako životní prostředí člověka, které zahrnuje abiotické i biotické složky zemského ekosystému a jejich interakce s lidskou společností. Environmentální výzkum je tedy dán spíše výběrem témat než metodologií, která je často převzatá z jednotlivých vědních oborů. Významným aspektem je spolupráce přírodních a společenských věd zajišťující provázanost sledovaného prostředí s činností a chováním člověka a lidské společnosti. Z tohoto pohledu je zjevné, že environmentální výzkum je rozčleněn do celé řady podoborů. Tyto obory pokrývají spektrum od disciplín výrazně přírodovědných, zabývajících se chováním abiotických či biotických složek ekosystému, jakými jsou například studie chování atmosféry, pohybu polutantů v různých prostředích, jejich příjmu živými organismy (kapitoly 2–8), přes studie zabývajících se dopadem kvality různých složek životního prostředí na život člověka (kapitoly 8 a 9) až po společenskovední otázky zabývajících

se například spotřebou různých statků a služeb a jejími environmentálními dopady (kapitoly 10–16).

Podívejme se na příklad podrobně znázorněný na obrázcích 1 a 2 v kapitole 2. Ze sluneční energie, která dopadá na povrch planety, je fotosyntézou využito méně než jedno procento. Toto jedno procento je však velmi důležité, je energetickým základem téměř všech živých organismů na planetě a s trochou nadsázky bychom mohli říci, že je předmětem studia všech biologických oborů včetně ekologie. Ale ani role zbývajících 99 % není nezajímavá; tato energie je podstatným faktorem utvářejícím zemské klima, spolu s dalšími silami uvádí do pohybu koloběh vody, mořské proudy, masy vzduchu, které určují počasí, vítr, který unáší mračna prachu z velkých pouští do světových oceánů či na další světadily, tato mračna prachu zajišťují produkci světových oceánů a tak dále a tak dále. Celé toto fungování metabolismu planety komplexním způsobem ovlivňuje živé organismy včetně člověka. Environmentální výzkum je jedním z podkladů rozhodovacích a regulačních procesů lidské společnosti. V prvním kroku sleduje zátěž a její hnací síly, ve druhém vliv této zátěže na stav systému a jeho změnu, a dopady působení této zátěže; v posledním kroku pak zkoumá, navrhuje a monitoruje postupy, jak tuto zátěž regulovat a snížit její nežádoucí dopady. Člověk pak významným způsobem ovlivňuje životní prostředí jak své, tak ostatních organismů. Jedním z významných momentů energetické bilance planety je působení tzv. skleníkového efektu (obr. 2). Zjednodušeně můžeme říci, že důsledkem působení skleníkových plynů, zejména vodní páry, CO<sub>2</sub>, metanu a dalších činitelů, je teplota povrchu Země zvýšena. Bez skleníkového efektu by průměrná teplota na povrchu Země byla asi -19 °C místo současných +14 °C, což by zásadním způsobem ovlivňovalo možnost existence života na Zemi. Člověk ale intenzitou skleníkového efektu významným způsobem mění produkci skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého, ovlivňuje ale i další faktory, například odrazivost povrchu se mění se způsobem užívání krajiny. Tyto aktivity mohou vést ke globálním změnám klimatu, které pak ovlivňují fungování ekosystémů i lidské společnosti (podrobněji kapitoly 2, 3, 12 a 13). To vede ke snaze tyto naše aktivity nějakým způsobem regulovat a usměrňovat. Komplikovaný vývoj kolem tzv. Kjótského protokolu názorně ukazuje, že tyto související společenskovědní otázky, právní, ekonomické, sociální atp., představují velmi komplexní problém.

Diverzifikace environmentálního výzkumu ve společnosti a jeho sepětí se specifickým problémem, jakým jsou např. environmentální problémy automobilismu, však vede k ne zcela jasnému a dostatečně komplexnímu pohledu, k ucelené hierarchizaci problémů a pochopení jejich příčinných souvislostí. To je přitom zcela zásadní pro správné řešení problémů alokací zdrojů a pro předcházení dalším problémům vzniklým dílčími řešeními. Důležitým krokem v tomto procesu je kvantifikace jednotlivých procesů a jejich dopadů, stejně jako hledání metod porovnávání dopadů velmi odlišných zátěží.

Environmentální výzkum je výrazně mezioborovou záležitostí, překračuje hranice jak přírodních, tak společenských věd, nemluvě o lékařských oborech, a právě tato interakce různých oborů přináší často nové otázky a stimuluje nový výzkum.

Představíme-li si člověka sběrače a lovce, není jistě těžké dojít k závěru, že tento člověk byl na přírodě zcela závislý; všechny zdroje, které užíval, pocházely z přírody. S rozvojem ekonomiky nemusí být tato závislost na první pohled patrná. Současná globální civilizace vede k odcizení člověka a přírody, a přesto i navzdory vyspělosti našich technologií pochází všechny zdroje lidské společnosti tak či onak z přírody. Tyto takzvané ekosystémové služby a zdroje několikanásobně převyšují hodnotu HDP všech ekonomik světa (podrobně o ekosystémových službách v kapitole 12) a řadu z nich využíváme způsobem, který není trvale udržitelný. Důvodem této neudržitelnosti je mimo jiné skutečnost, že lidská společnost doposud vnímá tyto ekosystémové služby jako něco, co je prostě volně k dispozici a nemá žádnou hodnotu. Přitom hodnota ekosystémových služeb je v zásadě nevyčíslitelná. Ekosystémové služby, kromě poskytování energetických a materiálových zdrojů, zajišťují podporu života jako takového. Cenu těchto služeb naše současné ekonomické kalkulace nezohledňují, přitom je mimo naše ekonomické a technické možnosti je zajistit. Jen pro ilustraci, neúspěšný pokus zajistit podporu života několika lidí v uzavřeném systému v Arizonské poušti (Biosfera 2) stál okolo 200 mil. USD, fungování několika lidí na mezinárodní vesmírné stanici ISS stojí okolo 1,3 miliardy dolarů ročně, přičemž samotná podpora života představuje velký podíl této částky.

Problém při správném pochopení hierarchizace a prioritizace environmentálních problémů je proto mimo jiné i v rozdílné časoprostorové škále, na které pracují přírodní ekosystémy a lidská společnost. Podíváme-li se na výše uvedený příklad globální radiační bilance a skleníkového efektu, pak nejvýznamnějším skleníkovým plynem je vodní pára. Přesto mračna vodní páry, unikající například z chladicích věží elektráren, nepředstavují zásadní problém, protože vodní pára, jako součást vodního cyklu, má relativně krátkou dobu života v atmosféře. Naproti tomu zdržení jiných skleníkových plynů, jako např. CO<sub>2</sub>, je mnohem delší, a tak náš současný přírůstek může ovlivňovat klima dalších sto let a sčítat se s minulými a budoucími přírůstky. Právě toto kumulativní působení malých změn, časté i v jiných environmentálních problémech, představuje velký problém. Problém spočívá mimo jiné v tom, že ekonomická a někdy i politická rozhodnutí často uvažují o daleko kratší časové škále. Proto jsou nezdědky preferována rozhodnutí, která mohou být dlouhodobě neudržitelná, ale krátkodobě se jeví ekonomicky výhodnější.

Environmentální výzkum může být chápán jako určitý přívěsek ekonomického a technologického rozvoje společnosti, který přináší řešení problémů, jež tímto rozvojem vznikají, jakési „*end of pipe solution*“. Z historického pohledu tomu tak bezesporu je. Avšak právě výše zmíněné hledání kauzalit

a hierarchizace problémů nám umožní nejenom koncepčně předcházet vzniku problémů nových, ale i vidět nové příležitosti v situacích obecně pokládaných za obtížný environmentální problém. Názorným příkladem takové příležitosti může být potenciál některých území postižených těžbou nerostů k obnově vysoce hodnotných ekosystémů; podobnou příležitost mohou nabízet urbánní ekosystémy. Tato příležitost však musí být včas rozpoznána a dobře uchopena, aby mohla být využita.

# Globální změna klimatu

## **CO JE TO GLOBÁLNÍ ZMĚNA?**

Globální změny probíhaly po celou historii planety Země již od jejích raných stádií existence až po současnost, ovšem v různých dobách s rozdílnou rychlostí a intenzitou. V zásadě se jedná o změny fyzikálních a chemických parametrů v jednotlivých součástech Země, resp. o změny biogeofyzikálních a biogeochemických procesů probíhajících v těchto složkách nebo mezi nimi. S vývojem lidské civilizace je třeba do systému zahrnout i společenské a ekonomické procesy, které jsou přírodními faktory ovlivňovány a které navíc v poslední době dosáhly úrovně, kdy samy mohou na tyto faktory působit. Podle Crutzena a Stoermera (2000) se tak nabízí označení nové geologické epochy jako antropocén.

V současnosti se často pojmem globální změna označuje právě ta část zahrnující aspekt vlivu vývoje lidské společnosti na přírodní změny – tedy změna v životním prostředí způsobená lidskou činností, která zpětně hraje významnou roli v podmínkách života na planetě Zemi. Podle dokumentů International Geosphere-Biosphere Program (IGBP, 2013; Steffen a kol., 2004) tato změna



miliónů let hrály důležitou roli např. změny složení původní atmosféry či měnící se rozložení kontinentů. Po stabilizaci v podmínkách víceméně současných - v horizontu statisíců let - se uplatňovaly jemnější vlivy, především pak změny parametrů oběžné dráhy Země kolem Slunce a změny sklonu osy rotace Země, resp. její precese. Tyto zdánlivě nepříliš velké změny přinášely prostřednictvím zpětných vazeb významné důsledky pro klima na Zemi - především střídání dob ledových a meziledových s posledním významným zaledněním před asi 20 tisíci lety. Toto kolísání klimatu mělo prostřednictvím procesů v biosféře i hydrosféře samozřejmě zpětně vliv i na samotnou atmosféru, vedle cirkulace i na její vlastnosti, především pak na obsah některých příměsí (např. CO<sub>2</sub>, jehož průběh je tak ve významném protikladu proti průběhu zalednění). Je nutno říci, že tento vztah by měl za předpokladu, že nedojde k dramatickému nevratnému zásahu do přirozeného chodu, pokračovat i v nejbližších statisících let (Berger a kol., 2003).

Na škále mnohem kratší, řekněme století až desetiletí, se může uplatňovat a skutečně se také uplatňuje vliv samotné sluneční aktivity (tedy jejího kolísání) a víceméně náhodný vliv významnějších sopečných erupcí. Tyto jevy bývají při studiu současného klimatu považovány za zdroje přirozené variability klimatického systému (především pak v časovém měřítku desetiletí). Vedle nich se ovšem na přirozené variabilitě podílí i vlastní chování klimatického systému a jeho vnitřní interakce, které jsou nelineární. Nutno říci, že tato variabilita se může promítnout i zpětně do některých vlastností, např. opět do obsahu CO<sub>2</sub> v atmosféře, a to především v důsledku nerovnoměrnosti aktivity biosféry ve vazbě na meziroční variabilitu teploty a srážek, resp. ve vazbě na roční chod (s přihlédnutím k různému pokrytí oceánu a pevniny na severní či jižní polokouli).

## **SOUČASNÁ GLOBÁLNÍ ZMĚNA**

Spolu s přítomností lidské civilizace a především v souvislosti s jejím prudkým rozvojem v posledních 150 letech se v původních přirozených globálních změnách začínají uplatňovat i jiné, umělé faktory důsledku lidské činnosti. Nejedná se zdaleka pouze o spalování fosilních paliv, a tedy o antropogenní nárůst CO<sub>2</sub>, ale svoji roli hraje i vypalování lesních porostů při extenzifikaci zemědělských aktivit, především při získávání nové půdy, jejím obdělávání či přípravě pastvin, čímž se mění parametry pokrytí povrchu Země (jako např. albedo, emisivita, výpar apod.). Se zemědělskou produkcí souvisí i nárůst koncentrací dalších skleníkových plynů (např. CH<sub>4</sub> či N<sub>2</sub>O). Řada dalších plynných příměsí (oxidy dusíku, freony či další těkavé organické látky, související s průmyslovými aktivitami) mohou ovlivnit produkci ozonu, a tak se podílet na skleníkovém efektu, ať už prostřednictvím ozonové vrstvy v stratosféře (úbytek znamená pozitivní efekt na radiační působení zvýšením propustnosti pro

sluneční záření), nebo produkcí přízemního ozonu v tzv. fotochemickém smogu (více troposférického ozonu má za následek zvýšení radiačního působení na principu skleníkového efektu). Vedle toho jsou součástí emisí jak spalovacích, tak i technologických procesů emise nejrůznějších aerosolů s možností různého působení v rámci radiační bilance v závislosti především na výšce zdroje (přízemní vs. výškové zdroje – např. z leteckého provozu), složení (saze, organické aerosoly, prach, sulfáty apod.) či na vlastnostech aerosolů (velikost částic, smáčivost atd.). Některé aerosoly – zvl. sulfátové v 70–80. letech v Evropě a později v rozvojovém světě (což trvá do současnosti) v souvislosti s použitím méně kvalitního uhlí jako hlavního zdroje energie – významným způsobem maskovaly a mohou stále maskovat klimatickou změnu odstíněním části sluneční radiace. Na podobném principu dnes stojí některé tzv. geoinženýrské teorie zmírnění zesílení skleníkového jevu, jejichž důsledky pro celkový stav životního prostředí však často nejsou domyšleny do všech konečných podrobností. Ve znalostech působení aerosolů je ještě velká nejistota, hlavně pak v jejich nepřímém vlivu na chování klimatického systému prostřednictvím jejich účasti na tvorbě a změnách vlastností oblačnosti různých druhů.

Na rozdíl od přirozených změn se značnou přirozenou variabilitou se globální změna projevuje víceméně trvalým, stálým či mírně proměnlivým, eventuálně zrychlujícím se trendem, který ve skutečnosti může být mnohem menší než běžná meziroční či víceletá přirozená variabilita systému. Z toho je zřejmé, že solidní závěry o globální změně nelze činit na základě krátkodobých pozorování či modelových analýz, ale je třeba dlouhodobých systematických a jednotných pozorování i modelových experimentů, které jediné mohou o změně něco vypovědět. Kromě toho samozřejmě nelze na globální změnu poukázat z výskytu jakéhokoliv, byť třeba i významně extrémního, ale jednotlivého dílčího jevu.

## **GLOBÁLNÍ KLIMATICKÁ ZMĚNA – PODSTATNÁ SOUČÁST GLOBÁLNÍCH ZMĚN**

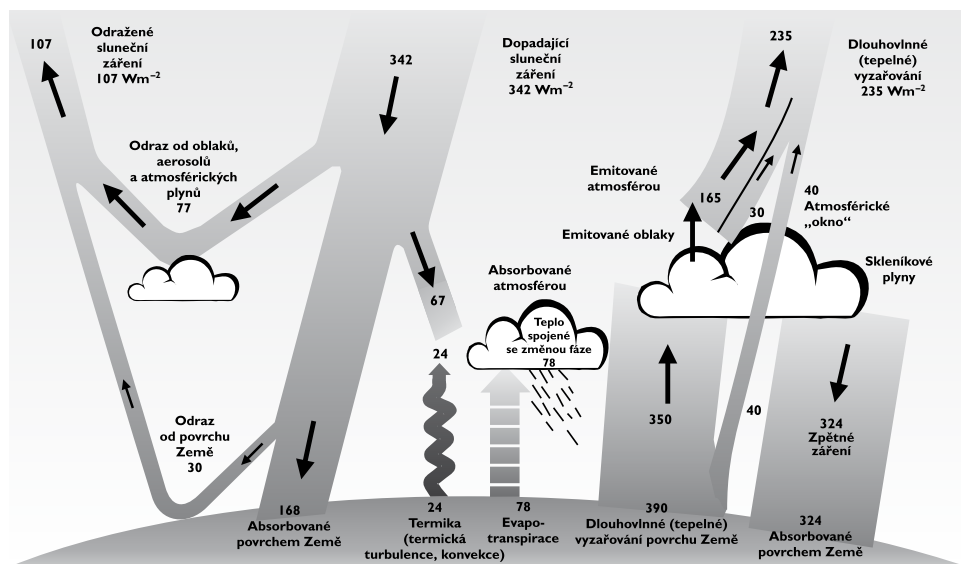
Podstatnou, pokud ne nejdůležitější součástí globální změny je globální klimatická změna reagující na některé příčiny uvedené výše (v současnosti především pak na zvýšený skleníkový efekt v důsledku nárůstu množství skleníkových plynů), která má pak přímý dopad na další biogeochemické procesy, jejichž modifikace v rámci globální změny potom pozorujeme s konečnými důsledky, jak byly vyjmenovány výše. Tato globální změna může mít samozřejmě i důsledky pro další vývoj socio-ekonomických podmínek vývoje existence lidské společnosti.



## FYZIKÁLNÍ PODSTATA SKLENÍKOVÉHO EFEKTU

Skleníkový jev jako takový není nic nepřirozeného, na Zemi již dlouhou dobu působí a zajišťuje rozložení teplot přijatelných pro život. Bez jeho existence by průměrná teplota na povrchu Země byla asi  $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$  místo současných  $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Základním principem je fakt, že některé plyny se složitější víceatomovou strukturou molekuly mohou dobře absorbovat a rovněž také vyzařovat (i zpět) tepelné (dlouhovlnné) záření. Země – podobně jako jakékoli jiné těleso (v ideálním případě dokonale černé těleso) – vyzařuje energii podle Stefan-Boltzmannova zákona a výsledkem radiální rovnováhy příkonu slunečního záření (tedy samozřejmě pouze té části, která se dostane k zemskému povrchu a neodrazí se od něj), příkonu zpětného tepelného záření atmosféry a vyzářeného dlouhovlnného (tepelného) záření je (při zahrnutí i některých dalších procesů s příspěvkem k celkové energetické bilanci podle obrázku 2) právě výše uvedená reálná hodnota průměrné teploty povrchu Země.

Přítomnost skleníkového jevu je tedy pro současné podmínky nezbytná. Nejdůležitějším skleníkovým plynem v atmosféře je vodní pára. Množství této chemické látky ( $\text{H}_2\text{O}$ ) je ale v atmosféře (resp. v planetárním systému Země) víceméně neměnné (tedy alespoň lidská činnost – vzhledem k celkovému množství – příliš velkou roli nehraje, i když častější výskyt extrémních srážkových jevů někdy bývá spojován s větší kapacitou atmosféry udržet více vodní páry, a tak poskytnout více energie ve formě fázového tepla při jejich přeměnách).



Obr. 2: Procesy spojené s energetickou rovnováhou systému Země (převzato ze Solomon a kol., 2007, IPCC AR4, WG1, Chap. 1, FAQ Fig. 1.1)

Nejdůležitější plyn z hlediska zvýšení skleníkového efektu je bezesporu CO<sub>2</sub>, který se po dlouhá období akumuloval procesy vedoucími k tvorbě zdrojů fosilních paliv, tedy na uhlík bohatých látek. Současné velmi rychlé spalování fosilních paliv zpět na CO<sub>2</sub> má za následek zvýšení skleníkového efektu, tedy zvýšené atmosférické absorpce dlouhovlnného tepelného vyzařování Země a jeho zpětného vyzařování směrem k zemskému povrchu, což vede ke zvýšení teploty povrchu. To má samozřejmě prostřednictvím řady zpětných vazeb důsledky na podmínky ve většině součástí zemského systému.

Podobně (i když většinou méně významně) v atmosféře působí další skleníkové plyny, např. metan (CH<sub>4</sub>), oxid dusný (N<sub>2</sub>O), některé freony apod. Pokud jde o absorpci dlouhovlnného záření v atmosféře, mají tyto plyny mnohem větší účinnost, ale na další místa v důležitosti je za CO<sub>2</sub> řadí jejich menší množství v atmosféře. Působení těchto plynů se často zahrnovalo přepočítáním na ekvivalentní množství CO<sub>2</sub> a jejich přidáním k CO<sub>2</sub>. Pokud ale současné modely pracují s uhlíkovým či dusíkovým cyklem, je třeba jednotlivé vlivy rozlišovat.

Výše uvedené skleníkové plyny mají dlouhou dobu života v atmosféře, a to v řádu desítek až stovek let (*long-lived*), tudíž se u nich obvykle předpokládá, že jsou v atmosféře víceméně rovnoměrně promíchány. To však není úplně pravda, protože kromě antropogenních zdrojů většinou existují i přírodní zdroje, lokalizované v prostoru přízemní vrstvy (pevnina, biosféra, oceán, některé typy půd apod.) i v čase (roční chod teploty, srážek a z toho plynoucí aktivity biosférických procesů, lesní požáry apod.) – ale k rovnoměrnému rozptýlení těchto přírodních zdrojů skleníkových plynů stačí řádově měsíce.

Vedle skleníkových plynů s dlouhou dobou života existují v atmosféře ještě skleníkové plyny s krátkou dobou života (*short-lived*) – např. troposférický ozon a jeho prekurzory, jejichž množství se mění velmi značně jak v prostoru, tak v čase. Mohou se vyskytovat ve vysokých koncentracích, a tak působit (zvláště lokálně) relativně velký příspěvek k celkovému skleníkovému efektu. Typickým zdrojem jsou emise z dopravy. Některé studie (např. Fuglestvedt a kol., 2008) uvádějí, že v některých případech může být dokonce v současné fázi úsilí o zmírnění zvýšeného skleníkového jevu efektivnější redukovat tento jev právě u těchto plynů; většina z nich je totiž navíc toxická a vede i k dalšímu zhoršení životního prostředí s důsledky pro zdraví obyvatelstva, eventuálně i na jeho úmrtí, zemědělské výnosy apod.

## **MEZINÁRODNÍ RÁMEC HODNOCENÍ PROBÍHAJÍCÍCH KLIMATICKÝCH ZMĚN – IPCC, AR4, AR5**

Aktivity směřující k redukci zvýšeného skleníkového jevu jsou a musí být z povahy problému globálně koordinovány a problematiku je třeba vedle lokálních důsledků analyzovat také v globálním měřítku. Proto roku 1988 Environmentální program OSN (UNEP) spolu se Světovou meteorologickou organizací

(WMO) ustanovily Mezivládní panel pro klimatickou změnu (IPCC), který se ve víceméně pravidelných intervalech zabývá hodnocením stavu klimatu na Zemi a jeho změnami, příčinami těchto změn, důsledky a možnými způsoby jejich zmírnění či možnostmi adaptace na jejich projevy v různých oblastech aktivit lidské společnosti. Předkládané zprávy o stavu klimatu a o jeho vývoji patří k vysoce autoritativním stanoviskům, na jejichž tvorbě se na základě dostupných zdrojů – většinou publikací v renomovaných recenzovaných časopisech – podílí velká řada významných odborníků příslušných oborů.

Vedle hodnocení současného stavu klimatu připravuje IPCC v rámci odhadu budoucího vývoje také odhady možného vývoje obsahu skleníkových plynů, které vycházejí ze scénářů možných proměn společnosti a obvykle mají různé varianty (od tzv. *business as usual*, tedy rozvoj bez žádných opatření, přes různé intenzivní ohledy na stav životního prostředí zohledňující různé aspekty vývoje společnosti, jako např. právě globalizaci apod.). Na základě těchto podkladů byly potom vytvořeny scénáře vývoje obsahu skleníkových plynů v atmosféře, které posloužily jako řídicí vstupy pro globální modely klimatu. Na historických datech u všech modelů byla ověřena jejich spolehlivost při simulaci reálného klimatu Země a experimenty pro budoucí období (většinou do konce století) pak posloužily k formulaci scénářů klimatické změny samotné.

## KLIMATICKÉ SCÉNÁŘE

Vedle integrovaných scénářů CO<sub>2</sub> ekvivalentních množství skleníkových plynů (IS92 a-f dle intenzity emisí) zavedených v první zprávě IPCC FAR (*First Assessment Report*) a použitých rovněž ve druhé zprávě IPCC SAR (*Second Assessment Report*), byly ve třetí zprávě nově použity tzv. SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*) scénáře, které emise jednotlivých skleníkových plynů charakterizovaly v závislosti na míře zahrnutí environmentálních opatření do rozvoje ekonomiky a společnosti, s ohledem rovněž na míru globalizace či lokální řešení; z toho pak vycházely i předepsané koncentrace. Tato zavedení tzv. emisních scénářů měla důležitou roli při studiu klimatické změny, neboť sloužila jako vstupní data či parametry používané pro numerické experimenty s klimatickými modely, které nám vlastně jako jediné nástroje (s různým stupněm přiblížení se realitě) mohou poskytnout adekvátní odpověď na otázky dalšího vývoje klimatu v závislosti na rostoucích emisích skleníkových plynů a eventuálně i dalších změn. Tak získáváme vlastní scénáře změny klimatu. Tento způsob přetrvál i pro rozsáhlý soubor simulací mnoha modelů v rámci projektu srovnávacího jejich simulace CMIP3 (*Coupled Model Intercomparison Project*), který se stal základem pro IPCC AR4, tedy v pořadí čtvrtou hodnotící zprávu. Nedávno zveřejněná zpráva IPCC AR5 však vychází z trochu jiného konceptu, a to předepsání přímo příslušného radiačního působení skleníkových plynů. V zásadě jde o to předepsat, na základě globálních simulací několika

modelů s plným zahrnutím chemických procesů a cyklů, především uhlíku a dusíku, možné varianty radiačního působení, tedy přímo změn radiačních příkonů, formou tzv. reprezentativních vývoje koncentrací (RCP – *Representative Concentration Pathway*), s hodnotami jejich průběhu do r. 2100. Od těch se mohou odvíjet další simulace s modely, které kompletní chemické cykly neobsahují, navíc mohou být paralelně další socioekonomické scénáře s návaznými emisními scénáři a scénáři koncentrací skleníkových plynů konfrontovány s těmito základními projekcemi radiačního působení, aniž by bylo nezbytné počítat všechny simulace znovu. Srovnání emisních scénářů z různých metodik je ukázáno na obrázku 3 (viz obrazová příloha). V rámečku 1 je pak představen jeden z možných způsobů analýzy výsledků klimatických modelů.

### **RÁMEČEK 1: PROJEKCE ZMĚNY KLIMATU**

Analyzovat výsledky klimatických modelů lze různým způsobem, nejčastěji od průměrných hodnot za jistá období, přes trendy, vývoj extrémních hodnot či vybraných kvantilů, až po nejružnější indexy. Jeden z možných způsobů, který kombinuje základní klimatické charakteristiky, tedy teplotu a srážky, s uvažováním i jejich ročního chodu, je analýza tzv. klimatických typů. Klasifikace klimatických typů je obvykle odvozena tak, aby do jisté míry odpovídala např. vegetačním typům či ekoregionům, čímž ji lze použít jako nástroj nejen pro validaci klimatických modelů, ale i jako prostředek pro zhodnocení vývoje klimatu v budoucnosti, tedy klimatické změny.

Modifikovaná Köppenova klasifikace podle Trewarthy a Horna (1980) byla použita na výsledky nejnovějších simulací souboru modelů CMIP5 pro RCP4.5. Pro některé typy nejsou výsledky jednoznačné, na obrázku 4 (viz obrazová příloha) podle Beldy a kol. (2014) je však zachycena projekce vývoje pro boreální klima, klima tundry, u kterých je zřetelný pokles relativní plochy vzhledem k průměrné ploše v období 1961–1990, a naopak pro savany a pouštní oblasti je předpokládán výrazný nárůst.

## **DŮSLEDKY KLIMATICKÉ ZMĚNY**

Globální změny klimatu způsobené zvyšováním koncentrací skleníkových plynů a jím působeného zesílení skleníkového jevu přitahují stále větší pozornost. Zkoumány jsou nejen změny v klimatickém systému, ale důraz je kladen i na jejich důsledky v různých oblastech (jako je např. zemědělství, vodní hospodářství, lidské zdraví, lesnictví, přirozené ekosystémy, turistika a mnohé další). Z hlediska zhodnocení rozličných vlivů je velmi důležitá znalost možných rizik klimatické změny, které z velké míry souvisejí s výskytem extrémních jevů počasí. Zkoumání neurčitosti výskytu těchto extrémních jevů v průběhu klimatického vývoje v reálných datech a modelových výstupech je pak základem pro posouzení schopnosti modelů vypovídat o těchto jevech v dlouhodobějších výhledech scénářů klimatické změny.