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
ebooks@karolinum.cz

OBSAH

Slovo úvodem. 7

1. Co je to environmentální výzkum, z čeho vychází a kam směřuje? (*J. Frouz, B. Moldan*) 9

2. Globální změna klimatu (*T. Halenka*) 13

3. Vliv klimatických změn na biodiverzitu (*J. Reif*) 23

4. Nepůvodní druhy rostlin, možné příčiny a důsledky invazí (*J. Pergl, P. Pyšek, I. Perglová*) 33

5. Antropogenní disturbance v krajině a ochrana životního prostředí (*J. Frouz*) 49

6. Příklad disturbance: gradace lýkožrouta na Šumavě (*P. Kindlmann*) 63

7. Antropogenní acidifikace povrchových vod (*E. Stuchlík, Z. Hořická, J. Horecký*) 75

8. Nové typy polutantů – endokrinní disruptory v životním prostředí a jejich biodegradace (*Z. Křesinová, T. Cajthaml*) 85

9. Nové poznatky a výzvy v ochraně ovzduší (*M. Braniš, I. Hůnová, J. Hovorka*) 107

10. Vliv životního a pracovního prostředí a životního stylu na lidské zdraví (*A. M. Čelko, M. Černá, J. Dáňová, T. Kopřivová-Herotová, E. Hrnčíř, M. Kneidlová, F. Kožíšek, H. Provazníková, K. Provazník*) 129

11. Člověk a příroda v minulosti Českých zemí. Od pravěku ke globální společnosti (*V. Matoušek*) 161

12. Indikátory společenského metabolismu (*T. Hák, J. Kovanda*) 179

13. Globální změny a environmentální bezpečnost lidské společnosti (*D. Vačkář, S. Janoušková*) 197

14. Hodnocení environmentálních efektů jako součást „evidence-based policy“: Případová studie – Skryté náklady těžby uhlí za limity (*J. Melichar, V. Máca, M.* Ščasný) 213

15. Environmentální vzdělávání a výchova (*K. Jančaříková, N. Mazáčová*) 231

16. Účinnost a působení českého práva životního prostředí
(*M. Damohorský, P. Humlíčková, V. Stejska*). 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 společenskovědní, přinášející otázky sociálně-právní, edukativní, etické atp. Otázky společenskovědní 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 nepřeberné 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 zajištující 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 zabývající se dopadem kvality různých složek životního prostředí na život člověka (kapitoly 8 a 9) až po společenskovědní otázky zabývající

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 světadíly, 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_2, 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 intenzitu skleníkového efektu významným způsobem mění produkcí 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_2, je mnohem delší, a tak náš současný přídavek může ovlivňovat klima dalších sto let a sčítat se s minulými a budoucími přídavky. 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 nezřídka 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.

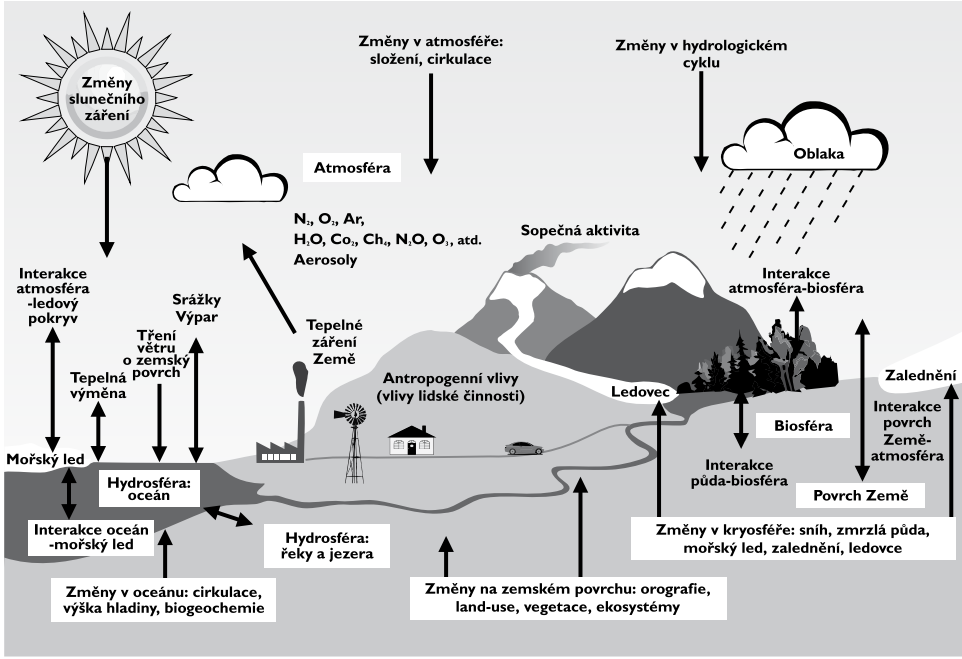
/2/

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



Obr. 1: Složky systému Země (převzato ze Solomon a kol., 2007, IPCC AR4, WG1, Chap. 1, FAQ Fig. 1.4)

v nejširším planetárním měřítku zahrnuje změny podmínek a všeobecné cirkulace atmosféry a oceánů, změny v atmosférické chemii včetně změny koloběhu významných prvků životního prostředí (např. uhlíkového či dusíkového cyklu), změnu kvality ovzduší, změny koloběhu vody v přírodě, změny mořského ledu i rozsahu ledovců, změny výšky mořské hladiny, znečištění prostředí, kyselost oceánů a půd, zdravotní rizika, změny potravinových řetězců, biologické diverzity apod. Vedle toho rozeznáváme také tzv. civilizační faktory, kterými jsou: celkový nárůst populace a její rozložení, vývoj ekonomiky, využívání přírodních zdrojů, energetika, doprava, komunikace, využití krajiny, půdy, rybolov, urbanizace, globalizace atd.

Jednotlivé složky globálního systému Země i s naznačením některých jejich důležitějších interakcí názorně ukazuje obrázek 1. Jsou to především ty složky a procesy, které se podílejí na globální změně, a to jak aktivně, tak i pasivně.

GLOBÁLNÍ ZMĚNY PŘIROZENÉHO PŮVODU

Jak bylo již výše uvedeno, globální změny probíhaly v systému Země v minulosti zcela přirozeně jako reakce na měnící se podmínky v jednotlivých jeho složkách. Ve velmi vzdálené historii a v dlouhých časových obdobích v řádech

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_2, 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_2 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_2, 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_4 či N_2O). 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 jedině 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.

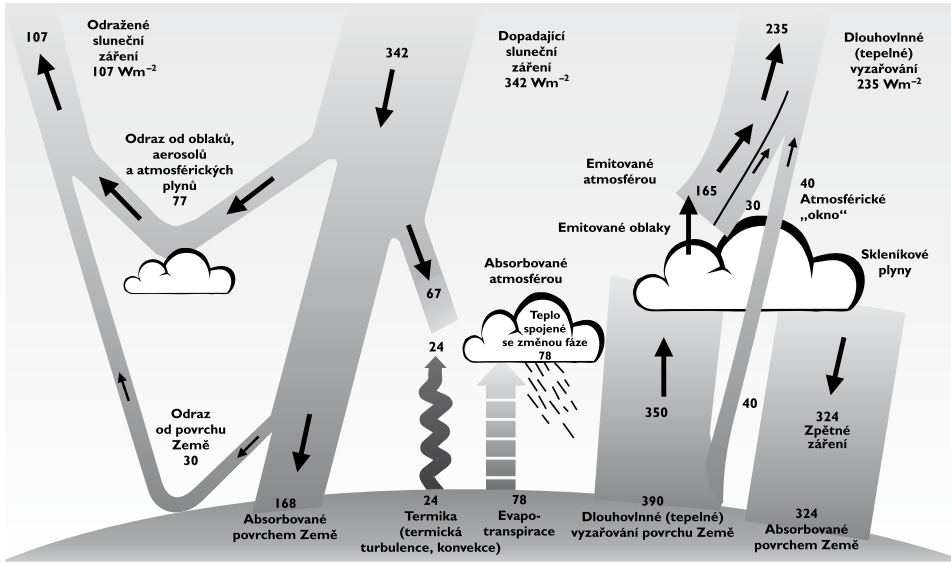
GLOBÁLNÍ KLIMATICKÁ ZMĚNA – PODSTATNÁ SOUČÁST GLOBÁLNÍCH ZMĚN

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 °C místo současných +14 °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 radiační 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 (H_2O) 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 jejích 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_2, 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_2 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_4), oxid dusný (N_2O), 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_2 řadí jejich menší množství v atmosféře. Působení těchto plynů se často zahrnovalo přepočítáním na ekvivalentní množství CO_2 a jejich přidáním k CO_2. 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 úmrtnost, 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 různě 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 řídící 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_2 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 přetrval i pro rozsáhlý soubor simulací mnoha modelů v rámci projektu srovnávajícího 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 vývojů 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 nejrůznější 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.

Jak už bylo dříve ukázáno, základním nástrojem modelování současného i budoucího klimatu jsou globální klimatické modely (GCM), resp. dnes dokonalejší modely systému Země (*Earth System Models* – ESM), které jsou primárně určeny k modelování klimatických jevů velkých měřítek, nikoliv k modelování v měřítcích regionálních či lokálních, ve kterých se zpravidla extrémní jevy vyskytují a ve kterých je také zkoumáme. Úspěšnost globálních modelů a jejich schopnost popsat fyzikální procesy při studiu zejména přízemních proměnných v malých měřítcích, jejichž extrémní hodnoty nás nejčastěji zajímají (teplota, srážky), proto není postačující. Kromě toho modely pro simulování důsledků klimatické změny (dále jen „impaktové modely") vyžadují jako vstupní meteorologické proměnné právě přízemní klimatické prvky v dané lokalitě, popř. geograficky malé oblasti – ty však GCM nejsou schopny s dostatečnou přesností poskytnout. Pro překlenutí rozporu mezi tím, co jsou GCM schopny úspěšně simulovat, a tím, co vyžadují impaktové modely, jsou vedle statistických metod v posledních desetiletích jako užitečný nástroj vyvíjeny regionální klimatické modely (RCM), dnes občas rovněž i v propojení na více složek klimatického systému – tedy regionální ESM.

Vývoj situace v RCM je řízen jevy velkého měřítka (zejména prouděním) pronikajícími z řídícího GCM prostřednictvím bočních krajových podmínek. Regionální model tak poskytuje „dynamickou interpolaci" či „dynamický downscaling", tj. nejen fyzikálně konzistentním způsobem provedenou interpolaci z řídké sítě řídícího globálního modelu do své sítě s výrazně vyšším rozlišením, ale i možnost vytvářet své vlastní cirkulace menších měřítek a zpětné vazby, vyvolané např. lokální topografií, které globální model není schopen postihnout. Srovnání globálních a regionálních modelů ukazují, že RCM lépe simulují prostorové rozložení přízemní teploty a zejména srážek (hlavně díky realističtějšímu popisu orografie) a také lépe zachycují vznik a postup synoptických systémů. Lze proto očekávat, že RCM by mohl poskytnout spolehlivější informace i pro studium výskytu extrémních jevů.

Podle toho, do jakých dat poskytujících časově proměnné boční okrajové podmínky je RCM vnořen, můžeme rozlišit tři stupně jeho použití: Vnoření do analýz (skutečných meteorologických polí), tedy tzv. integrace s perfektními krajovými podmínkami, je důležité pro ověření schopnosti regionálního modelu produkovat stabilní řešení (tj. být integrován) po relativně dlouhou dobu (desítky let) a schopnosti spolehlivě reprodukovat reálné klima. Vnoření do kontrolního, historického běhu (tj. integrace pro současné klima) globálního modelu umožňuje při porovnání s předchozím odlišit systematické chyby regionálního modelu od chyb řídícího modelu a zjistit, jaké modelové klima si regionální model vytváří ve spojení s globálním modelem. Vnoření do běhu GCM (ESM) pro různé scénáře klimatické změny pak bývá použito pro zjištění reakce lokálního klimatu na dané změny a pro konstrukci lokálních scénářů změny klimatu. Posouzení reprodukce nejen průměrů základních klimatických veličin, ale i jejich pravděpodobnostních rozložení, která vypovídají

o výskytu extrémních jevů (v simulaci s reálnými – perfektními – bočními krajovými podmínkami) je nezbytné pro hledání možných změn výskytu extrémních jevů v modelování podmínek klimatické změny. Při aplikaci výsledků je nutno uplatnit korektní opravu na systematické chyby, tzv. bias correction – dnes většinou ne již pouhým odečtem průměrné chyby, ale sofistikovanějšími technikami korekcí, které berou v úvahu statistická rozdělení veličin.

Vývoj regionálních klimatických modelů započal na přelomu 80. a 90. let, přehled o dosavadním vývoji regionálního modelování a jeho výsledcích je součástí Třetí zprávy Mezivládního panelu pro změny klimatu (TAR IPCC), resp. v Giorgi a Mearns (1999). Regionální klimatické modely jsou ve velké většině vyvíjeny buď z globálních klimatických modelů, nebo z předpovědních modelů na omezené oblasti. Tak také vznikla klimatická verze modelu ALADIN vyvinutá v rámci společných projektů ÚFA AV ČR, ČHMÚ a KMOP MFF UK s podporou GA ČR (205/01/0804) a MŽP (VaV/740/7/01) na bázi předpovědního modelu ALADIN provozovaného v centru LACE. Vývoj modelu ALADIN-CLIMA byl započat především pro potřeby studia klimatických změn a jejich důsledků v regionu střední Evropy (resp. pro podmínky v České republice) a postupně dopracován v rámci projektu EC FP6 CECILIA, který byl KMOP MFF UK koordinován. Zde vedle něj byl a je používán model RegCM. V rámci tohoto projektu byly realizovány simulace ve vysokém rozlišení 10 km pro různé oblasti střední Evropy s následnou analýzou některých důsledků klimatické změny podle SRES scénáře A1B v blízké (2021–2050) a vzdálené (2071–2100) budoucnosti.

V současnosti je v rámci projektu GAČR 209/11/2405 vyvíjen vylepšený model ALARO, který může zvládnout i vyšší rozlišení. Nutno poznamenat, že takové simulace jsou extrémně náročné, proto vedle toho stále pro řadu experimentů na KMOP MFF UK používáme model RegCM, se kterým se zapojujeme do koordinovaného úsilí (*Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment* – CORDEX), jehož cílem je pokrýt regionálními simulacemi především kontinentální oblasti světa, kde především s ohledem na lidskou populaci je třeba mít podrobnější informace, nezbytné pro adaptační opatření (rámeček 2).

RÁMEČEK 2: REGIONÁLNÍ SIMULACE NA KMOP MFF UK

V rámci iniciativy CORDEX je používán model RegCM4 (Giorgi a kol., 2012) pro simulace především Evropy a Afriky, a to v 50km rozlišení. Vedle příspěvku ke zhodnocení schopnosti regionálních modelů reprodukovat tzv. horké vlny ve Vautardovi a kol. (2013) se některé příspěvky zaměřují i na simulace budoucího klimatu řízené především modelem CNRM ze skupiny CMIP5. Obrázek 5 (viz obrazová příloha) ukazuje příklad výsledků těchto simulací pro blízkou budoucnost – pro období 2021–2050, a to pro teplotu, pro niž je zřejmé oteplení přibližně o jeden stupeň (to se ukazuje nejvýrazněji v létě a ve Skandinávii i na podzim). Změny srážek jsou spíše zanedbatelné.

/3/

Vliv klimatických změn na biodiverzitu[1]

ÚVOD

Klima patří ke klíčovým environmentálním činitelům. Určuje hranice vegetačních pásem i celých biomů, jeho variabilita (či naopak stálost) se podílí na utváření rozdílů v životních strategiích mezi tropickými a temperátními organismy, aktuální povětrnostní podmínky hrají významnou roli v načasování rozmnožování a míře jeho úspešnosti u řady druhů (Lomolino a kol., 2006). Proto není divu, že současné klimatické změny přitahují takovou pozornost ze strany biologicky zaměřené vědecké i ochranářské obce. Klimatická změna může mít nedozírné dopady na tvářnost naší přírody a krajina, v níž žijeme dnes, pro nás může jejím působením nenávratně zmizet. Přitom naše možnosti, jak na účinky klimatické změny ochranářsky reagovat, zůstávají velmi omezené (podrobněji viz poslední podkapitola). O to důležitější je tedy jejím současným projevům v živé přírodě porozumět. Jak si však ukážeme dále, toto

1 Některé pasáže kapitoly pocházejí z úvodu autorovy habilitační práce odevzdané v únoru 2013.

porozumění je přes veškerou pozornost věnovanou současným klimatickým změnám stále jen velmi nedokonalé.

Hned na úvod je třeba přiznat, že pořád ještě moc nevíme, jak dobře se organismy s klimatickými změnami dokáží vyrovnat. Při pohledu do historie je zřejmé, že období klimatických změn provázela zvýšená intenzita vymírání druhů (Jaramillo a kol., 2010). Pokud tedy současné oteplování bude podobně výrazné jako ve čtvrtohorních dobách meziledových a zároveň rychlejší, budeme v blízké budoucnosti téměř jistě konfrontováni s vymizením řady druhů zejména chladnomilnějších organismů (La Sorte a Jetz, 2010). Je třeba si uvědomit, že posledních několik milionů let, což je doba, kdy většina dnešních druhů vznikala a přizpůsobovala se okolnímu prostředí, převládalo na Zemi chladné klima a razantní oteplení může mnohým z nich přinést nesnáze vedoucí až k vymření (Parmesan a kol., 2006). Problémy však paradoxně mohou mít i tropické teplomilné druhy, u nichž se zdá, že žijí na horní hranici své termální tolerance (Corlett, 2011). Další oteplení by tedy, jednoduše řečeno, nemusely vydržet.

Na druhou stranu všechny dnes existující organismy ona minulá oteplení přečkaly (s výjimkou těch úplně recentně vzniklých, kterých však není mnoho a které svoji teplotní odolnost stejně mohly zdědit od svých předků). Není proto tak docela jasné, proč by zrovna těm současným klimatickým změnám měly podlehnout, pokud tedy tyto změny nejsou oproti minulosti něčím výjimečné, což zatím nelze potvrdit. Ovšem i kdyby dnešní klimatická změna v dlouhodobém měřítku nepředstavovala svým charakterem žádné unikum, podstatný rozdíl může tkvět v situaci, za níž k této změně dochází. Když se totiž ohlédneme po důsledcích oteplování provázejících konce ledových dob, je pozoruhodné, že řada druhů glaciální megafauny (tedy zvířata jako mamut, srstnatý nosorožec, šavlozubý tygr apod.) vyhynula zrovna na konci poslední ledové doby. Bylo snad toto oteplení něčím nové? Ano, bylo. Předcházelo je totiž rozšíření člověka, velmi efektivního predátora, pro nějž megafauna představovala energeticky obzvlášť výhodnou kořist (Koch a Barnosky, 2006). Nejnovější studie ukazují, že právě souběh těchto dvou nepříznivých okolností mohl být onou klíčovou podmínkou, která postiženým druhům vystavila pro další pobyt na Zemi červenou kartu (Lorenzen a kol., 2011).

Poučení z historie tedy zůstává nejednoznačné. Změny klimatu podobné intenzity tu v minulosti již byly a dnešní organismy na ně dokázaly zareagovat i jinak než vymřením – jinak by tu nežily. Nicméně v době, kdy všechny biotopy bezprecedentním způsobem přetváří lidská činnost, tato schopnost, která se osvědčila v minulosti, nemusí již pro další přežití stačit. Podívejme se tedy na dopady současných klimatických změn na biodiverzitu podrobněji.

Dokladů o těchto dopadech existuje v dnešní době nepřeberné množství. Jsou známy z terestrických, sladkovodních i marinních ekosystémů, z polárních oblastí, mírných šířek i tropů (viz Parmesan a kol., 2006, pro jeden z mnoha přehledových článků). Projevy klimatických změn na samotných

organismech zahrnují pestrou směs odpovědí, které můžeme rozdělit do tří hlavních skupin (Bellard a kol., 2012). První představují tělesné a behaviorální změny *in situ*, kdy organismus čelí vlivu klimatu úpravami své fyziologie (např. rychlejší respirací) nebo chování (např. častěji vyhledává úkryty ve stínu), ale nesnaží se jim uniknout přestěhováním jinam. Zajímavým příkladem je reakce korálů, které oteplování vody v oceánu citelně zasahuje, ovšem jako evolučně velmi stará skupina se musely umět vyrovnat i s daleko vyššími teplotami ve třetihorách. Čelily jim svojí schopností velmi rychlé mikroevoluce, jejíž uplatnění však nyní ztěžuje snižování velikosti jejich populací vinou přímého ničení člověkem (Pandolfi a kol., 2011). Druhá skupina zahrnuje fenologické změny, tedy následování posunutého klimatického optima v čase. Typickým příkladem je časnější nástup olistění, kterým stromy reagují na zvýšené jarní teploty (Bauer, 2006). Třetí skupinu pak reprezentují přesuny jedinců v prostoru, tedy opuštění původní a nyní již klimaticky nevyhovující oblasti rozšíření a přesun tam, kde klimatické podmínky nově odpovídají nárokům daného organismu. Tento fenomén byl poprvé popsán u ptáků ve Velké Británii, kde se hranice jejich areálů posunuly během dvou desetiletí směrem k severu (Thomas a Lennon, 1999). Od té doby se ptáci stali velmi oblíbenou modelovou skupinou pro účely studia tohoto typu reakcí organismů na klimatické změny. Proto se v následující části zaměříme právě na ně.

PTÁCI JAKO MODELOVÁ SKUPINA PRO STUDIUM MECHANISMU DOPADŮ KLIMATICKÝCH ZMĚN

Základním kamenem úvah o vlivu současných klimatických změn na ptáky je představa existence klimatické niky, která charakterizuje každý druh souborem podmínek (teplot, srážek, resp. jejich průměrů, extrémů aj.), jež převládají v areálu jeho výskytu (Jiguet a kol., 2007). Jestliže se klima změní, a překreslí se tedy mapa klimatických podmínek na Zemi, měly by se změnit i areály jednotlivých druhů, pokud jejich klimatické niky rozšíření determinují (Huntley a kol., 2007). Tato predikce se v různých částech světa potvrzuje poměrně dobře (shrnutí viz např. Pautasso, 2012). Pro podmínky České republiky by mělo platit, že za vzrůstajících teplot se budou druhy stěhovat na sever či do vyšších poloh, přičemž co do početnosti by u nás měly jižní druhy přibývat (např. vlha pestrá) a severní ubývat (např. budníček větší). Výsledky našich studií hovoří ve prospěch všech těchto hypotéz. Na území České republiky skutečně pronikají jižní druhy ptáků (Reif a kol., 2010a), případně ty, které tu již hnízdí, zde zvyšují během posledních dvou desítek let početnost, zatímco populace severních druhů klesají (Reif a kol., 2008). Zároveň se ukazuje, že se výškové rozšíření ptáků v Krkonoších od 80. let minulého století posunuje směrem vzhůru (Reif a Flousek, 2012).

Když se ovšem zamyslíme nad působením klimatu na ptáky hlouběji, situace se poněkud zkomplikuje. Od obecného posunu klimatické niky k pochopení mechanismu, kterým klima omezuje lokální ptačí populaci, zbývá totiž ještě poměrně dlouhá cesta. Jak tedy vlastně klima na ptačí populace působí? Klimatické podmínky samozřejmě na velkých škálách určují charakter vegetace, tedy složení ptačích biotopů (Huntley a kol., 2007), a proto nás jako první projev klimatických změn může napadnout změna ve složení biotopů daná stěhováním klimatických pásem. V časovém horizontu posledních dvou až tří desítek let, během nichž se ptačí populace sledují, však tento mechanismus nepřipadá příliš v úvahu – tato doba je zjevně příliš krátká na to, aby se nějak výrazněji posunula např. hranice pásma opadavých lesů. Abychom způsobili pozorovatelný posun celých biomů, budeme se muset ještě v produkci skleníkových plynů dost snažit a na výsledek zřejmě ještě nějaký čas čekat. Daleko hlubší a nápadnější krajinné změny produkuje nyní v našich podmínkách zemědělské hospodaření, lesnictví nebo stavební činnost.

Pokud se tedy klimatické změny zatím neprojevují přeskupením jednotlivých biotopů v krajině, měly by se jejich působením měnit nějaké vlastnosti související s kvalitou prostředí, které ptáci obývají. Zde se nejčastěji uvažuje o limitaci potravní nabídkou. Ta je sice jednou z klasických příčin nárůstu či úbytku ptačích populací (Newton, 1998), v kontextu klimatických změn se však dosud ví pouze o dvou mechanismech, jak oteplení může skrze potravu ptačí populace ovlivňovat: lepší dostupností potravy za mírných zim a naopak horší využitelností nabídky v jarním období.

První mechanismus predikuje pozitivnější populační vývoj u stálých či nedaleko hnízdiště zimujících druhů (např. brhlíka lesního) než u migrantů létajících na zimu do rovníkové Afriky (např. lindušky lesní), kterých se samozřejmě rozhojnění zdrojů díky mírnějším zimám nemůže týkat (Schaefer a kol., 2008). Migranti mohou být dokonce negativně ovlivněni vyšším kompetičním tlakem ze strany lépe přežívajících přezimujících druhů (např. pěnice černohlavé mohou takto utlačovat pěnice slavíkové), což by mělo rozdíly v populačním vývoji obou skupin dále prohloubit (Knudsen a kol., 2011). Ačkoliv data z některých oblastí tuto hypotézu potvrzují (Lemoine a kol., 2007), naše studie nezjistila rozdíly v trendech početnosti či rozšíření druhů využívajících různé migrační strategie (Reif a kol., 2008). Kromě toho v případě dálkových migrantů může být jejich úbytek lépe vysvětlen zhoršením prostředí v oblasti zimovišť (typické jsou příklady pěnice hnědokřídlé nebo ťuhýka obecného), zejména intenzivní pastvou a nedostatkem srážek v Sahelu (Sanderson a kol., 2006; Thaxter a kol., 2010). Nedostatečná podpora pro hypotézu lepšího přežívání rezidentů může být dána tím, že vztahy mezi hnízdní početností a průběhem právě uplynulé zimy jsou u většiny našich stálých druhů velmi slabé (Reif a kol., 2010c).

Druhý mechanismus byl popsán na několika modelových druzích (konkrétně lejskovi černohlavém a sýkorách koňadře a modřince), které vinou dřívějšího nástupu jara nedokázaly načasovat své hnízdění tak, aby mláďata vyrůstala

v optimu potravní nabídky (Both a Visser, 2001). Tento časový nesoulad vzniká tím, že rychlejší jarní oteplení uspíší vývoj olistění a na něj vázaných housenek, jež slouží ptákům jako potrava. Na to však ptáci, kteří mají své roční cykly rigidněji zakódované, většinou nedokáží adekvátně zareagovat. Jejich mláďata se tedy líhnou v době, kdy potravní nabídka již klesá, více pak hladoví, častěji hynou a hnízdní úspěšnost se snižuje. To se pak následně projeví v poklesu početnosti populace (Both a kol., 2006). Tento nesoulad mezi ptáky a jejich potravou odráží i míra posunu jejich areálů vyvolaná klimatickou změnou. V celoevropské studii jsme kvantifikovali, o kolik se od roku 1990 posunulo rozšíření jednotlivých druhů ptáků a motýlů směrem k severu, a tyto posuny jsme srovnali s posunem teplotních izoterm (Devictor a kol., 2012). Je zajímavé, že obě skupiny organismů za teplotami zaostávají, motýli zhruba o 100 km, ptáci zhruba o 200 km. Kromě toho vidíme, že ptáci, ač jde o velké živočichy migrující na značné vzdálenosti, se posunují pomaleji než motýli. Rozdíl je zřejmě způsoben bezprostřednější vazbou studenokrevných organismů nižší trofické úrovně na teplotní podmínky.

Na úrovni ptačího společenstva by tedy mělo být patrné větší postižení druhů s omezenějšími možnostmi posunout dobu svého hnízdění blíže k optimálním potravním podmínkám. Konkrétně by se mělo jednat o dálkové migranty, kteří mají časové schéma své migrace vrozené a nemohou je snadno a rychle měnit (Both a kol., 2006), a z nich zejména o insektivory hnízdící v sezonních biotopech, pro které je perioda hojnosti potravy zvláště krátká (Both a kol., 2010); dále jde o druhy s pozdním návratem ze zimovišť, protože druhy s časnějšími daty příletu mohou začátek hnízdění lépe ovlivnit (Salido a kol., 2012), a o druhy neschopné posunout dobu svého příletu (Møller a kol., 2008). Několik výše citovaných zahraničních studií tyto hypotézy potvrdilo, u nás však s výjimkou srovnání populačních trendů druhů o různých migračních strategiích nebyly dosud testovány. Nicméně ani jejich potvrzení by nepřineslo zásadní posun v našem pochopení příčin jevů nastíněných v úvodu této podkapitoly. Ony silné vazby mezi vlastnostmi klimatické niky a trendy početnosti či rozšíření našich ptáků, které jsme empiricky prokázali, jsou totiž nezávislé na migrační strategii či potravních nárocích jednotlivých druhů. Klima proto musí vztah potravní nabídky a početnosti ovlivňovat ještě jinými způsoby, které by platily pro širší druhové spektrum a více souvisely s vlastnostmi ptačích klimatických nik, anebo bude mechanismus působení ještě úplně jiný, na potravní nabídce nezávislý.

Zde se nabízí zejména přímé působení povětrnostních podmínek na ptáky. V tomto případě jsou však naše znalosti ještě menší než v případě klimatického ovlivnění potravní nabídky. Ptáci zcela jistě na změny teploty reagují, jak ukazuje plejáda lokálních studií provedených pro různé druhy (přehled viz Møller a kol., 2010), a extrémní klimatické události se projevily i na úrovni celého společenstva (Jiguet a kol., 2006). Z hlediska dlouhodobých trendů nebo i meziročních populačních výkyvů však téměř žádné doklady o jejich

přímé souvislosti s vývojem klimatu nemáme (avšak viz Robinson a kol., 2007). Přitom je pravděpodobné, že např. častější výskyt přívalových dešťů, bouřek a dalších událostí, který souvisejí s dnešní klimatickou změnou, bude ovlivňovat hnízdní úspěšnost i přežívání dospělých jedinců. K propojení těchto vztahů s klimaticky podmíněnými změnami početnosti nebo areálů však dosud stále nedošlo.

OVLIVŇUJÍ PTAČÍ POPULACE VÍCE KLIMATICKÉ ZMĚNY, NEBO ZMĚNY VYUŽITÍ KRAJINY?

Ačkoliv některé studie pokládají za prokázané, že klimatické změny jsou pro většinu ptačích druhů tím nejvýznamnějším faktorem, který v posledních desetiletích určuje vývoj jejich početnosti v Evropě (Gregory a kol., 2009), nové poznatky tento závěr zpochybňují jako příliš předběžný (Knudsen a kol., 2011). Samotné vydělování a stavění „biotopových" a „klimatických" skupin faktorů proti sobě totiž nemusí představovat ten správný přístup jak poznat, co ptačí populace ovlivňuje více a co méně.

V první řadě lze často pozorovat rozhodující vliv interakce změny klimatu a změn využití krajiny. Neplatí to jen pro oblast Sahelu, kde nedostatek srážek a zvýšená teplota zesilují negativní účinky přepásání travních porostů (Mantyka-Pringle a kol., 2012). I v našich podmínkách jsme zjistili výrazné vzájemné ovlivnění (Reif a kol., 2010a). U ptačích druhů, jejichž severní hranice areálu protíná střední Evropu, by na našem území mělo docházet vlivem oteplování k postupnému zvětšování rozlohy oblasti jejich rozšíření. Pro některé druhy tato predikce platí (např. pro výrečka malého), ovšem ty, jimž člověk zničil jejich biotopy, doznaly přesně opačných areálových změn (např. drop velký nebo mandelík hajní). Takto postižené druhy nejen oproti ostatním svůj areál nerozšiřují, ale jsou vlastně pod dvojím tlakem klimatické a biotopové změny a jejich české populace se ztenčují mimořádně rychle (Koleček a kol., 2010).

Zároveň některé biotopy mohou účinky klimatických změn naopak zeslabovat. To jsme pozorovali v případě výškových posunů rozšíření u ptáků v Krkonoších (Reif a Flousek, 2012). Zatímco druhy otevřené krajiny dokázaly vlivem oteplování kolonizovat bezlesí nad horní hranicí lesa a tím výrazně posunout své altitudinální rozšíření směrem vzhůru, u lesních druhů byl zjištěný altitudinální posun podstatně menší. Může za to zřejmě pouze pomalý vzestup horní hranice lesa podpořený samoregulačním efektem lesního mikroklimatu (Reif a Flousek, 2012).

Dalším problémem je samotný popis klimatických a biotopových nik jednotlivých druhů, kdy použitý způsob vyjádření do značné míry ovlivňuje sílu vlivu dané proměnné. Zatímco teplotu či srážky v rámci druhového areálu vyčíslíme poměrně snadno, čímž dosti přesně popíšeme alespoň tyto části klimatické niky zkoumaných druhů, dostatečně podrobný popis biotopových

nároků je u úzce vyhraněných druhů mimořádně obtížný úkol. Kupříkladu výskyt cvrčilky slavíkové či sýkořice vousaté je limitován dostatkem mrtvé hmoty v podrostu rákosin, což žádná dostupná velkoškálová biotopová data nezachytí. Přitom právě taková data se používají pro odvození biotopových nároků jednotlivých druhů, které se pak vztahují k populačním trendům. Proto se pak mohou změny ve využití krajiny jevit jako méně zásadní než změny klimatické, ovšem pouze z toho důvodu, že jsme pro zkoumané druhy použili příliš hrubé biotopové kategorie, které nemohou odrážet méně nápadné změny prostředí, jež však mohou být pro ptáky kruciální.

Na druhou stranu u ekologicky méně vyhraněných druhů se zase naše popisy klimatické a biotopové niky značně překrývají. Ačkoliv jejich šířky jsou u našich ptáků nekorelované, pro pozice těchto nik platí, že druhy studenějších oblastí jsou více vázány na jehličnaté lesy, zatímco teplomilnější druhy na listnaté porosty (vlastní nepublikované výsledky). Naše druhy jehličnatých porostů tak mohou ubývat nejen proto, že dochází k obměně vegetační skladby lesů vlivem změn v lesnickém hospodaření (Reif a kol., 2010b), ale i kvůli posunu jejich teplotního optima za naše hranice. Podobně ovšem může změna hospodaření v lesích vysvětlit dříve zjištěný dlouhodobý úbytek severních druhů ptáků hnízdících v ČR… Vzájemné propojení teplotní a biotopové niky pak může mít za následek nejasnosti, co vlastně takzvané indikátory dlouhodobých změn prostředí ukazují: zda jde o indikátory klimatické, anebo změn ve využití krajiny (Clavero a kol., 2011). Autoři jedné britské studie pak rovnou prohlašují, že biotopoví specialisté mizí důsledkem oteplování klimatu (Davey a kol., 2012).

V tomto kontextu poskytuje nové zajímavé pohledy přístup navržený Jiguetem a kol. (2007), kteří neřeší, zda ptáci ubývají kvůli změnám klimatickým, či člověkem vyvolaným změnám biotopovým. Všechny tyto změny nazývají souhrnně „globálními“ a soustřeďují se spíše na hledání vlastností, které druhy nejcitlivější k těmto globálním změnám charakterizují. Toto hledání vyústilo v zavedení konceptu životních strategií do problematiky ptačích populačních změn. Ukázalo se totiž, že spíše než ekologické vlastnosti, jako jsou biotopové nároky, klimatická či potravní nika, souvisí se současnými populačními změnami hodnoty základních parametrů životních strategií jednotlivých druhů. Konkrétně jde o generační dobu, počet snůšek za hnízdní sezonu a produktivitu populace, resp. o celkové rozdělení druhů podél gradientu „rychlých“ vs. „pomalých“ životních strategií. Je pozoruhodné, že pozitivnějšími trendy početnosti se vyznačují druhy s pomalými strategiemi, tedy s delší generační dobou, nižší produktivitou atd. Ačkoliv bychom čekali, že v podmínkách dnešních masivních globálních změn budou výhodnější spíše rychlé strategie umožňující prudký populační růst, který by vyrovnal ztráty způsobené extrémními přírodními jevy, není tomu tak. Důležitější je totiž přežít dostatečně dlouho, aby jedinec aspoň někdy zastihl optimální podmínky pro rozmnožování umožňující populační obnovu. Tato schopnost je ještě umocněna vzrůstajícím počtem

reprodukčních pokusů, které jedinec za svůj život stihne. Nejlépe jsou na tom tedy druhy, které žijí relativně dlouho a poměrně často se přitom rozmnožují (Sol a kol., 2012). Popsané souvislosti mezi životní strategií a populačními trendy byly zaznamenány jak u běžných druhů ve Francii (Jiguet a kol., 2007) či v České republice (Reif a kol., 2010b), tak u všech v Evropě hnízdících druhů ptáků, a to na celokontinentální úrovni i v rámci jednotlivých zemí (vlastní nepublikované výsledky).

Vhled do životních strategií druhů s různým populačním vývojem nám samozřejmě neposkytuje jednoznačné odpovědi na otázky, jak se dopadům globálních změn bránit. Nicméně nás upozorňuje, že bez ohledu na tyto vnější faktory existují vnitřní vlastnosti, které předurčují, jak moc je ten který druh vlivem těchto změn zranitelný. Tyto vlastnosti by pak mohly být brány v potaz např. při hodnocení míry ohrožení jednotlivých druhů nebo při sestavování seznamů zvláště chráněných živočichů.

OCHRANA BIODIVERZITY V PODMÍNKÁCH KLIMATICKÝCH ZMĚN

Pro ochránce přírody představuje vyrovnání se s důsledky klimatických změn snad největší z výzev, jimž při svém nelehkém povolání čelí. Je tomu tak proto, že větru ani dešti člověk (snad krom ruského prezidenta Putina) zatím poručit nedovede. Můžeme jen poměrně složitými politickými či technologickými procedurami snižovat objem vypouštěných skleníkových plynů a doufat, že se to někdy nějak projeví ve zmírnění či dokonce zastavení probíhajících klimatických změn. V této oblasti však nehraje ochrana přírody téměř žádnou roli. Klimatické změny se tak stávají typickým představitelem faktorů, s nimiž se v přírodě můžeme vyrovnávat pouze v rovině jejich důsledků, ale už nedokážeme příliš efektivně odstranit jejich příčiny. To je velmi nevýhodná výchozí pozice pro jakékoliv ochranářské akce. Co tedy můžeme vůči dopadům klimatických změn podniknout? V zásadě rozeznáváme tři skupiny možných řešení.

První skupina vychází z předpokladu, že klimatická změna má nejvýraznější dopady v interakci s dalšími environmentálními riziky, zejména s přetvářením krajinného krytu (Mantyka-Pringle a kol., 2012). S těmito dalšími faktory už můžeme něco reálně podniknout a celkový dopad negativních vlivů tak snížit. Jestliže např. dochází k degradaci tropických horských lesů v Africe vlivem vyšších teplot, úbytku srážek a zvýšené frekvence požárů, které zakládají místní pastevci, můžeme na tyto lidi působit a motivovat je, aby od této činnosti upustili. (Vzhledem k tomu, že ohně zapalují většinou výrostci pro zábavu, je nejjednodušším řešením dohoda s náčelníkem blízké vesnice, který má také zájem na tom, aby mu nikdo zbytečně nečmoudil pod nosem.) Samozřejmě ani působení proti změnám ve využití krajiny není žádný snadný úkol,

ale je alespoň teoreticky proveditelné a výsledek se projeví v podstatě ihned. V případě postižení konkrétních druhů (např. výše vzpomínaného mandelíka hajního) lze uvažovat o přijetí specializovaných podpůrných programů, které se budou věnovat zachování zbytků jejich biotopů v krajině.

Druhá skupina řešení operuje s možností posunu areálů jednotlivých druhů vlivem klimatických změn. Když už k němu má dojít, musí mít druhy dostatečný prostor, kde se usídlit, a možnosti, kudy tam doputovat. Pro tento účel se vytvářejí projekce budoucího rozmístění různých biotopů a jejich překryv se současnými chráněnými územími. Ukazuje se, že některá prostředí, která jsou nyní v chráněných územích dobře reprezentována, se mohou v budoucnu vlivem klimatických změn ocitnout zcela bez ochrany (Araujo a kol., 2011). To s sebou nese zvýšené riziko ohrožení lidskou činností, proto je žádoucí distribuci současných chráněných území ve větších prostorových měřítkách (typicky na úrovni kontinentů) optimalizovat nejen pro potřeby současné ochrany, ale i pro klimaticky odlišnou budoucnost. To se krásně provozuje na papíře a matematicky zdatní ekologové zdobí stránky světových ochranářských časopisů doporučeními, jak by takové optimalizace měly vypadat podle toho, jaké klimatické změny nás čekají, jakou mají organismy schopnost šíření a mnoha dalších hledisek (Strange a kol., 2011). V praxi by samozřejmě takové cvičení bylo proveditelné podstatně hůře – v reálu se při vyhlášení chráněných území takovéto plánování uplatňuje pouze vzácně a hlavní roli hrají spíše různé místní zájmy zainteresovaných aktérů. Na druhou stranu vybudovaná síť evropsky významných území Natura 2000 dává naději, že při dostatku politické vůle a účinných legislativních nástrojích lze i ustavování územní ochrany pojmout v kontinentální perspektivě.

Třetí skupina řeší klimatické změny, jejichž příčiny jsou bytostně globální povahy, pokusy o úpravy lokálního klimatu. Zde samozřejmě nelze čekat úplně převratné výsledky, ale skutečně existují krajinné prvky, které místní klimatické podmínky významně ovlivňují: především jde o lesy či obecně stromy a vodní či mokřadní biotopy (Manning a kol., 2009; Suggitt a kol., 2011). Ty zmírňují klimatické výkyvy, což by mohlo pomoci druhům, pro něž by budoucí místní klima dosahovalo hraničních hodnot jejich existence, aby se přes tyto hraniční hodnoty nepřehouplo. Jak jsme zjistili v případě ptáků v Krkonoších, může být např. stabilita lesního mikroklimatu skutečně jednou z příčin zpomalení posunu druhů do vyšších poloh.

Ačkoliv žádné z těchto skupin řešení nenabízí skutečně průlomovou možnost, jak se s dopady klimatických změn na biodiverzitu vyrovnat, již jejich samotná formulace ukazuje, že důsledkům klimatických změn lze do jisté míry čelit a že má smysl se na svět, který se vlivem oteplení klimatu zřejmě výrazně promění, připravovat.

ZÁVĚR

Vliv současných klimatických změn na biodiverzitu je v posledních letech intenzivně studován a výsledky poskytují velké množství dokladů o různorodých odpovědích jednotlivých druhů organismů. Tyto odpovědi zahrnují přizpůsobení se životu v jiných klimatických podmínkách, fenologické změny i sledování klimatického optima v prostoru posunem areálu. Nicméně mechanismům působení klimatických změn jsme stále ještě příliš dobře neporozuměli, a to i u tak dobře probádané modelové skupiny, jakou jsou ptáci. Ukazuje se, že různé skupiny organismů, které nyní pojí funkční ekologické vztahy (např. ptáci a motýli), mohou na klimatické změny reagovat odlišným způsobem. To může tyto vztahy zpřetrhat a porušit tak jemné vazby, jež dnešní ekosystémy udržují. V dlouhodobé perspektivě klimatické změny nepředstavují pro dnešní druhy nic nového, s čím by se během čtvrtohor nesetkaly. Vzhledem k tomu, že tyto organismy ony minulé změny přežily, mohlo by se zdát, že současné oteplování pro ně nepředstavuje vážnější problém, s nímž by se nedokázaly časem vyrovnat. Ovšem dnešní doba je oproti dřívějším teplotně podobným periodám výrazně jiná v tom, jak intenzivně přírodu přetváří lidská činnost. Klimatická změna tak může umocnit negativní dopady jiných ohrožujících faktorů, např. úbytku vhodného prostředí vlivem lidského hospodaření v krajině. Vzhledem k tomu, že interakce globálního oteplení a přímého pronásledování zřejmě významně přispěla k vyhubení řady druhů velkých savců na konci poslední doby ledové, je nutné brát dopady současných klimatických změn na biodiverzitu velmi vážně. Možnosti, jak těmto dopadům čelit, jsou vzhledem ke globálním příčinám klimatických změn dosti omezené, ovšem existují. Zůstává tedy pouze na nás, zda je dokážeme realizovat.

/4/

Nepůvodní druhy rostlin, možné příčiny a důsledky invazí

ÚVOD

Termíny jako nepůvodní nebo exotické druhy, anglicky *alien species* nebo *exotic species*, mohou mít poněkud xenofóbní nádech či asociovat spojitost s vesmírnými vetřelci. Výraz „invaze“ se zase používá v souvislosti s vojenskými operacemi. Nicméně invaze a invazní organismus se coby termíny zabydlely i v relativně mírumilovných oborech, jako je biologie. Ani tam však nejsou brány jako něco pozitivního. Krátce řečeno, v biologii a ekologii se za invazní druhy považují ty, kterým člověk umožnil překonat určité bariéry – nejčastěji mezi kontinenty –, a ony se úspěšně rozšířily na novém území (Richardson a kol., 2000; Blackburn a kol., 2011). V ochraně přírody a mezi politiky se často setkáme s tím, že za invazní jsou považovány ty druhy, které mají nějaký negativní dopad třeba na biodiverzitu či hospodářskou činnost lidí. Takto například definují invazní druhy IUCN, CBD [článek 8(h)] či *Executive Order* týkající se invazních druhů, vydaný americkým prezidentem Clintonem v roce 1999 (http://www.epa.gov). Jak však ukážeme dále, podmiňovat zařazení druhu mezi invazní jeho negativním dopadem (impaktem) není příliš vhodné.