Ekologické indikátory pro měření stavu přírody

D. Vačkář: Ecological Indicators for the Nature State Quantification. Život. Prostr., Vol. 41, No. 1, p. 19 – 23, 2007.

Ecological indicators can be seen as measures providing the information about the complexity of nature. As the human demand on nature services is rapidly increasing, the indicators constitute an important tool for the assessment of sustainability of economic systems. Healthy ecosystems are prerequisite not only for the sustainable human society but also for the conservation of biodiversity. However, currently the indicators of ecosystem services are not developed sufficiently to be incorporated into the decision-making and into the systems of national accounts. The set of ecological indicators has been proposed in different world's regions, but they often suffer from data deficiency. Existing ecological and biodiversity indicators which express the state of nature reliably and credibly are irreplaceable tools for designing the future fate of biodiversity.

Biodiverzita čili biologická rozmanitost se stala v celosvětovém rozsahu jedním z vůdčích témat vědeckých studií i politiky udržitelného rozvoje. Pokračující pokles biodiverzity a snaha o její ochranu přináší potřebu dostatečně srozumitelně informovat o stavu a vývoji jednotlivých složek. Oproti pravidelně zveřejňovaným ekonomickým ukazatelům jsou ekologické ukazatele poněkud opomíjené, což je způsobeno rovněž ztíženou dostupností odpovídajících dat a celkově větší setrvačností ekologických procesů oproti procesům socioekonomickým. Rozhodujícím faktorem je ovšem hodnota, jakou společnost biodiverzitě a přírodě obecně přisuzuje. Kromě společenské závažnosti však ekologické indikátory napomáhají porozumět tomu, jaký je stav přírody na všech úrovních, od globální biosféry třeba až k venkovské mozaice střední Evropy.

Ekologické indikátory lze definovat jako míry shrnující výstižně informaci o stavu nebo vývoji přírodního prostředí. Indikátory (ukazatele) obecně slouží pro efektivní rozhodování. Mnoho lidí se rozhoduje o investování peněz podle burzovních indexů, vlády jednotlivých států podle aktuálního vývoje HDP. Existuje nějaký základní ekologický indikátor, podle kterého se společnost rozhoduje? Ekologické indikátory mohou zjevně existovat na několika úrovních. Veřejnost se běžně rozhoduje například podle populárních ukazatelů používaných v předpovědi počasí – teploty, tlaku, rychlosti větru, oblačnosti. Jiným příkladem může být vhodnost vody pro koupání, založená na hodnocení jakosti podle sady ukazatelů bakteriálního znečištění, koncentrace kyslíku, pH, sinic a dalších. Do této skupiny tedy patří indikátory informující o aspektech životního prostředí, které bezprostředně zasahují životy většiny lidí, například v podobě ovlivnění jejich zdravotního stavu. Nicméně, indikátory mohou odrážet i preference lidí vzhledem k přírodním hodnotám území. Území vyhlášené jako chráněná oblast či národní park může být kritériem pro směřování výletu nebo zakoupení nemovitosti. Kvalita prostředí je tedy nepochybně důležitým faktorem pro rozhodování veřejnosti o jejích časových i peněžních investicích.

Význam pro rozhodování ovšem není jediným kritériem, které musí úspěšný indikátor splňovat. Měl by být zejména relevantní pro danou oblast a dotýkat se jádra problému. Pouze takový indikátor může být vodítkem pro rozhodování. Za další klíčovou vlastnost ekologických indikátorů se považuje schopnost zhodnotit dlouhodobou udržitelnost ekosystémů. Okamži-

té stavové hodnoty ještě nemusí poukazovat na udržitelnost fungování celého systému. S tím souvisí metodická propracovanost jednotlivých ukazatelů, které mohou pokrývat škálu od jednoduchých čísel až po relativně složité agregované indexy. Metoda sestavení indikátoru by však měla být dostatečně průhledná a opakovatelná. Konečně by pro daný indikátor měla být pravidelně dostupná dostatečně kvalitní data, protože i sebelepší metodika nezaručuje úspěšnost indikátoru. Někdy, naopak, slouží jako náhražka za nedostatečná data. Za každým indikátorem by měl existovat odpovídající tok dat, tedy monitorovací systém sbírající dostatečně kvalitní údaje použitelné k sestavení indikátoru. Indikátory potom představují pouze vrchol informační pyramidy tzv. ekologického účetnictví.

Indikátory ekosystémových služeb

Rozvoj ekologických indikátorů naráží na jeden základní problém. Prvotní motivací je snaha zhodnotit důsledky lidské činnosti na biodiverzitu nebo fungování ekosystémů. Moderní ekologie se však potýká s přesným vymezením příspěvku člověka k poklesu biodiverzity. Všeobecně je velmi dobře známo, že lidská činnost způsobuje vymírání biologických druhů a narušuje přirozené procesy v ekosystémech (Vitousek et al., 1997). Tyto znalosti však vycházejí spíše z jednotlivých případových studií a nejsou dostatečně shrnuty v rámci jednotné teorie. Proto se již delší dobu objevují snahy o jednotný konceptuální rámec pro vytváření ekologických indikátorů.

Jedním z prvních pokusů byl rámec Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj (OECD) spočívající v identifikaci *indikátorů zátěže* (tedy pozorovatelného důsledku antropogenní činnosti), změn stavu prostředí a reakce společnosti na zaznamenanou změnu prostředí. Tento příčinný rámec v rozšířené podobě používá v současnosti zřejmě nejvýznamnější evropská indikátorová organizace – Evropská agentura životního prostředí (*European Environment Agency* – EEA). V současnosti používané indikátory jsou však často hlavně popisem současného stavu, aniž by vždy hodnotily dynamiku a podstatu udržitelnosti biodiverzity a ekologických systémů obecně. Mnohé z těchto indikátorů vůbec nezahrnují sociální a ekonomické důsledky na stav přírody, tedy záležitost prvotního zájmu v postižení vlivu člověka na přírodu.

Dostáváme se k další úrovni biodiverzitních či ekologických indikátorů, která je založena na snaze hodnotit udržitelnost využívání či existence základního ekologického kapitálu společnosti. V návaznosti na rozsáhlé autoritativní hodnocení *Millennium Ecosystem Assessment* se tento ekologický kapitál, ze kterého má společnost přímo či nepřímo užitek, označuje jako *ekosystémové služby* (Reid a kol., 2005). Koncepce ekosystémových služeb usiluje o komplexní zhodnocení všech ekologických zdrojů, na kterých společnost přímo či nepřímo závisí. Z hlediska rozvoje ekologických indikátorů se jedná o velmi důležitý koncept, který přímo vztahuje přírodní procesy ke kvalitě lidského života. Vychází z přesvědčení, že nezáleží pouze na změnách přírodního prostředí, ale také na tom, jakým způsobem tyto změny ovlivňují blahobyt a prosperitu společnosti. Zhodnotit všechny ekologické užitky, od koloběhu prvků v povodí až po globální změny zemského pokryvu je však pravděpodobně nemožné, a právě zde je role indikátorů velmi významná.

Z ekologických indikátorů postihujících ekosystémové služby, v tomto případě tzv. zásobovací, jsou nejlépe dostupné *ukazatele zemědělské a lesnické produkce a dodávky vody*. Protože plodiny sklizené zemědělci nebo dřevní hmota vytěžená v lese vstupují přímo do ekonomického systému, vedou se o nich relativně podrobné statistiky a údaje se získavají v pravidelných šetřeních. Tyto údaje jsou přímo součástí národních účtů a podílejí se na tvorbě hrubého domácího produktu. Jejich sledování vypovídá o objemu těchto přírodních zdrojů spotřebovaných každoročně lidmi. Z ekologického hlediska však nemají absolutní vypovídací schopnost. Nezachycují totiž celou škálu ekosystémových služeb, ze kterých lidská společnost profituje. Indikátory v současnosti běžně vykazované v národních statistikách většiny států nezohledňují rozmanitost přírodních struktur a procesů, jejichž narušení může podlomit samotné ekonomicky významné zásobovací funkce. Klasickým příkladem mohou být změny využívání ploch v povodí, ze kterého určité město odebírá pitnou vodu nebo celosvětový pokles rozmanitosti opylovačů, který zasahuje výnosnost mnohých zemědělských plodin.

Ideální ekologické indikátory by tedy zohledňovali důležité ekosystémové služby v širším ekologickém i geopolitickém měřítku (Meyerson et al., 2005). Podobně jako v ekonomice je stav jednotlivých ekosystémů a jejich rozmanitosti vzájemně provázaný a agregované ukazatele potom poukazují na výkonnost ekosystémových služeb v měřítku například jednotlivých států. Pokud by ukazatele ekosystémových služeb byly zahrnuty do environmentálních účetních systémů, bylo by možné například hodnotit účinnost jednotlivých opatření a zásahů prováděných na ochranu přírody a krajiny. Tuto věc v současnosti takřka nelze provést. Vytváření indikátorů ekosystémových služeb, ač jistě náročné, představuje jednu z hlavních výzev pro vědeckou komunitu. Dalším přínosem zavedení indikátorů ekosystémových služeb by byla možnost

srozumitelně a efektivně informovat veřejnost a politiky o stavu ekologického kapitálu, což by mohlo napomoci měnit současný, ne příliš otevřený přístup k ekologickým problémům.

Zkušenosti s rozvojem ekologických indikátorů

Jak by mohly ekologické indikátory vypadat a jaké jsou tendence jejich rozvoje? Pokud se podíváme na sady ekologických indikátorů používané nebo navržené pro zhodnocení stavu přírody ve Spojených státech a Evropě, najdeme významný překryv. Tato shoda by mohla vypovídat o tom, že navzdory komplexitě životního prostředí se lze vzhledem k omezením daným způsoby sběru a dostupností odpovídajících údajů a významu přisuzovanému jednotlivým oblastem životního prostředí dobrat k všeobecně přijatelné sadě ekologických indikátorů. O sjednocení environmentálního monitoringu a reportingu usiluje v současnosti několik mezinárodních procesů. Z hlediska environmentální statistiky existují snahy vytvořit společný rámec pro ekonomické a environmentální účty. I tyto snahy potvrzují, že zatímco vytvořit standardní rámce pro klasické přírodní zdroje je relativně přímočaré, u ekosystémů a biodiverzity tomu tak zdaleka není. Naopak, jde o jednu z nejnáročnějších kategorií a zatím se nezaznamenali přílišné snahy o konzistentné účtování ekosystémů a biodiverzity. Prozatím jsou některé směry rozvoje ekologických statistických účtů pro ekosystémové služby nejlépe ilustrovány na lesích, například snahou vyvinout indexy lesního kapitálu.

Zvláštním typem účtů, který v současnosti prodělal znatelný pokrok, jsou tzv. územní a ekosystémové účty (*Land and Ecosystem Accounts* – LEAC; EEA, 2006). Jsou v podstatě vyvrcholením snahy vytvořit základní vrstvu pro hodnocení změn životního prostředí. Obecně se změny krajinného pokryvu a přeměny využití ekosystémů považují za hlavní činitel ztráty biodiverzity. LEAC zastupují v systému environmentálních účtů ekosystémovou úroveň a v současnosti představují nejpodrobnější klasifikací ekosystémů dostupnou v celoevropském měřítku. LEAC jsou rozvíjeny v rámci činnosti Evropské environmentální agentury (EEA) a jsou založeny na vrstvě *Corine Land Cover* vycházející z družicového snímkování zemského povrchu. Územní a ekosystémové účty umožňují sledovat změny zemského pokryvu zachycením výměn mezi jeho jednotlivými třídami. Umožňují tedy poměrně podrobně určit změny vyplývající z využití území, například zastavění ploch v důsledku rozpínání měst, změnu způsobu zemědělského hospodaření nebo přírodní změny pokryvu. Zatím však tyto účty nezachycují změny kvality ekosystémů.

Tab. 1. Indikátory zachycující stav přírodního prostředí

Zemědělství
• Plocha obhospodařovaná ekologickým zemědělstvím
• Hrubá bilance živin
Znečištění ovzduší
• Vystavení ekosystémů acidifikaci, eutrofizaci a ozónu
Biodiverzita
• Vyhlášená chráněná území
• Druhová diverzita
• Ohrožené a chráněné druhy
Rybářství
• Produkce akvakultur
• Kapacita rybářského loďstva
• Statut populací mořských ryb
Suchozemské ekosystémy
• Zábor půdy
• Management kontaminovaných ploch
Voda
• Chlorofyl v pobřežních vodách a mořích
• Živiny ve vodních ekosystémech
• Spotřeba kyslíku ve vodních tocích

Zdroj: EEA, 2006

EEA je vůdčí evropskou organizací při rozvíjení environmentálních indikátorů, pomocí kterých informuje o stavu životního prostředí na tomto kontinentě, a také přispívá do sady indikátorů udržitelného rozvoje v oblasti přírodních zdrojů rozvíjených další evropskou institucí, *Eurostat*. Indikátory ze základní sady EEA, které přímo postihují stav přírodního prostředí jsou uvedeny v tab. 1.

Protože EEA pracuje s rozšířeným rámcem zátěž – stav – odezva, zahrnuje základní sada i indikátory společenské odezvy na environmentální problémy, jako například plochu obhospodařovanou ekologickým zemědělstvím či podíl chráněných území na ploše jednotlivých států. Tyto indikátory, samozřejmě, nevypovídají přímo o stavu prostředí, na druhou stranu zkušenosti ukazují, že vypovídací schopnost indikátorů odezvy není úplně nulová. Velikost chráněných území poukazuje totiž na skutečný podíl území, který je pod zvláštním ochranným režimem a kde je alespoň určitý prostor pro posílení přírodních procesů. Podíl ekologického zemědělství zase může poukazovat na šetrnější zemědělské systémy s nižšími nároky na vstupy hnojiv nebo pesticidů, a tím i vyšší agrobiodiverzitu, aniž bychom se musela náročnými postupy přímo měřit. Uvedené indikátory zahrnují totiž určitý proces (vyhlašování či kontrolu), který by v optimálním případě měl zaručovat jistou výpovědní hodnotu indikátoru,

Tab. 2. Ekologické ukazatele a kritéria navržené vědeckou indikátorovou komisí pro hodnocení ekologického kapitálu USA

INDIKÁTORY EKOLOGICKÉHO KAPITÁLU
Biotické zásoby
Celková druhová rozmanitost
Rozmanitost původních druhů
Abiotické zásoby
Odtok živin
Půdní organická hmota
INDIKÁTORY VÝKONNOSTI EKOSYSTÉMŮ
Indikátory produktivity suchozemských ekosystémů
Indikátory produktivity vodních ekosystémů – trofický statut nádrží
Trofický statut vodních toků – rozpuštěný kyslík
INDIKÁTORY ÚČINNOSTI VYUŽÍVÁNÍ ŽIVIN V AGROEKOSYSTÉMECH
Účinnost využití živin
Bilance živin

Zdroj: NRC, 2002

pro veřejnost často srozumitelnější, než například stavové indikátory.

Soudržný návrh ekologických indikátorů pro sledování stavu ekologického kapitálu přednesla komise Národní výzkumné rady USA, zřízená pro vyhodnocení indikátorů sloužících ke sledování vodního a suchozemského prostředí (NRC, 2002).

Na objednávku americké Agentury pro životní prostředí (EPA) zpracovala návrh sady ukazatelů, které by vzhledem ke stanoveným evaluačním kritériím byly nejvhodnější pro pravidelné hodnocení změn ekologických zásob státu. Výsledkem hodnocení jsou indikátory uvedené v tab. 2. Představují spíše základní oblasti, od kterých by se měl odvíjet další rozvoj indikátorů. Důležité je, že se klade stejný důraz na indikátory biologické povahy, jako na indikátory toků látek v ekosystémech. V podobném smyslu je koncipována i zpráva o stavu ekosystémů ve Spojených státech, kterou vydalo Centrum Johna Heinze pro vědu, ekonomiku a životní prostředí. Tato zpráva se snaží více zohlednit využívání přírody lidmi, ale konkrétní indikátory pro ekosystémové služby zatím navrženy nebyly.

Indikátory zdraví ekosystémů a biodiverzity

Indikátory ekosystémových služeb a ekologického kapitálu slouží zejména ke zhodnocení změn ekologických zásob, které by nějakým způsobem mohly ovlivnit prosperitu společnosti, ať již přímo ovlivněním zásobovací funkce přírody, nebo nepřímo, narušením dalších služeb ekosystémů, jako je obnova půdy nebo regulace klimatu. Významný proud rozvoje ekologických indikátorů usiluje o vyjádření charakteristik důležitých pro biodiverzitu a fungování ekosystémů, relativně bez ohledu na užitnou funkci přírody. Tato charakteristika přírody je označována jako integrita či zdraví ekosystému a jedním ze základních aspektů zdraví ekosystémů je biodiverzita, tedy rozmanitost struktur, složení a funkcí přírody. Indikátory ekologické integrity mají potenciál zejména pro uplatnění v regionálním nebo místním měřítku, protože stav ekosystémů může být spíše podmíněn souhrou místních faktorů než globálně provázaných změn. Rovněž však existují pokusy o vytvoření makroekologických indikátorů pro jednotlivé státy nebo kontinenty.

Východiskem ekologické integrity je termodynamický předpoklad samoorganizace ekosystémů. Ekosystémy bez škodlivého zatížení člověkem by podle konceptu ekologické integrity měly fungovat zdravěji. Integrita ekosystémů se projevuje v účinnější degradaci dostupných energetických zdrojů, rychlejší recyklaci živin, delšími potravními řetězci a větší druhovou rozmanitostí. Srovnávání přírodních a lidmi ovlivněných ekosystémů naznačuje, že teoreticky by mohlo být možné vyvinout indikátory ekologické integrity pro různé typy ekosystémů. Například aplikace na vodní ekosystémy v podobě indexů biotické integrity naznačuje, že znečištěné či jinak degradované systémy mají nižší biologickou rozmanitost, vyšší zastoupení zavlečených druhů, nebo snížené přežívání jedinců. Indikátory ekologické integrity byly sestaveny například pro různé typy ekosystémů s využitím údajů o společenstvech ryb či makrozoobentosu, epifytických lišejníků, ptáků, cévnatých rostlin či půdních bezobratlých. Z hodnocení ekologické integrity nemusí být vyloučena žádná skupina organizmů, což rovněž překračuje již postupně opouštěné paradigma „nejlepšího indikačního taxonu".

Pro některé skupiny jsou však k dispozici nesrovnatelně lepší údaje co do prostorového a časového pokrytí (Vačkář a kol., 2005). Na základě dlouhodobějších údajů o změnách populačních početností či rozšíření dobře prozkoumaných taxonů (např. obratlovců) lze sestavovat indikátory měnícího se stavu přírody vzhledem k lidské činnosti. Příkladem může být indikátor *Index nedotčenosti biodiverzity* nebo *Index přírodního kapitálu*, hodnotící změny biodiverzity vzhledem ke změnám intenzity využití území člověkem. Čistě biodiverzitní agregované indikátory potom hodnotí dlouhodobé trendy vybraných populací (*Index živoucí planety*), změny průměrné potravní hladiny ekologických společenstev *(Mořský trofický index)* nebo změny ohrožení druhů (*Index červených seznamů*). Tyto indexy jsou

v současnosti nejpoužívanějšími nástroji hodnotícími komplexní změny v přírodě.

Důležitým dalším krokem rozvoje ekologických indikátorů je zvýšení jejich věrohodnosti a robustnosti, což znamená zvýšení jejich vypovídací schopnosti a snížení možnosti ovlivnění náhodnými výkyvy. Ekologické indikátory by měly shrnovat dlouhodobé trendy a reprezentovat komplexní stav přírody. Informace o stavu přírody, poskytovaná těmito indikátory, je zatím nejlepší, kterou máme k dispozici, a určité metodické či datové nedostatky se mohou postupně odstranit.

Ekologické a biodiverzitní indikátory, samozřejmě, nejsou samospasitelné a přes jejich důležitost nelze spoléhat pouze na ně. Můžeme například vědět s určitou jistotou o probíhajících změnách v přírodě, přesto nemusíme být schopni tyto změny vyjádřit v podobě agregovaných makroindikátorů. Indikátory by však měly sloužit jako včasné varování a na základě vychýlení hodnot z normálu se lze zaměřit na hlubší a důkladnější analýzy příčin těchto změn. Naopak, nezastupitelnou úlohu mají různě stavěné ekologické indikátory při vyhodnocování opatření a zásahů přijímaných k ochraně životního prostředí a přírody, od globálních či státních programů a strategií až po místní úroveň či například jednotlivá chráněná území.

Literatura

EEA (European Environment Agency): Land Accounts for Europe 1990 – 2000. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2006, 107 pp.

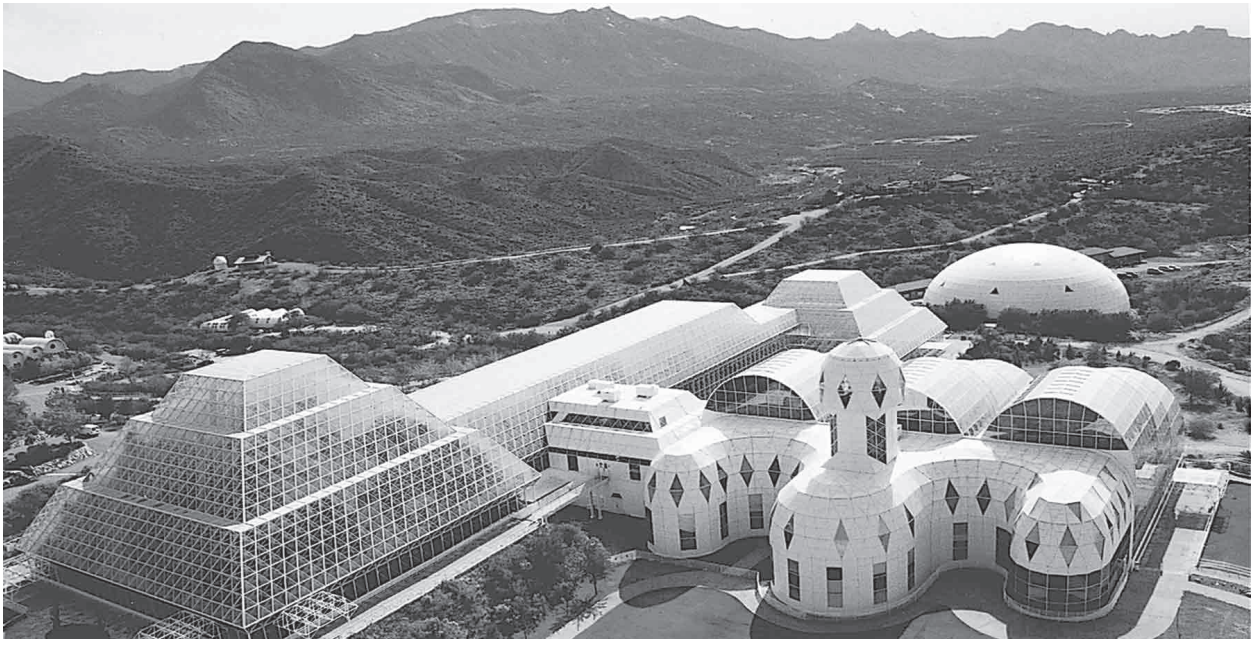
Meyerson, L. A., Baron, J., Melillo, J. M., Naiman, R. J., O'Malley, R. I., Orians, G., Palmer, R. A., Pfaff, A. S. P., Running, S. W., Sala, O. E.: Aggregate Measures of Ecosystem Services: Can we Take the Pulse of Nature? Frontiers in Ecology and the Environment, 3, 2005, 1, p. 56 – 59.

NRC (National Research Council): Ecological Indicators for the Nation. Washington : National Academy Press, 2002, 180 pp.

Reid, W. V. a kol.: Ekosystémy a lidský blahobyt: syntéza. Zpráva Hodnocení ekosystémů k miléniu. Praha: Univerzita Karlova, Centrum pro otázky životního prostředí, 2005, 138 s.

Vačkář, D. a kol.: Ukazatele změn biodiverzity. Praha : Academia, 2005, 298 s.

Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J., Melillo, J. M.: Human Domination of Earth's Ecosystems. Science, 277, 1997, p. 494 – 499.

Mgr. David Vačkář, Centrum pro otázky životního prostředí, Univerzita Karlova, U Kříže 8, 158 00 Praha 5, *david.vackar@czp.cuni.cz*

Lidstvo závisí na službách přírody více, než by si bylo ochotno připustit. Integrace ukazatelů stavu ekosystémových služeb do běžného rozhodování je nezbytnou podmínkou udržitelného rozvoje. Na snímku zařízení experimentu Biosféra 2 (Tuscon, Arizona), který zatím selhal při vytváření náhradního systému za komplexní přírodní služby. Snímek publikujeme s laskavým svolením Biosphere 2 Center.