

# Ekologické inžinierstvo a obnova ekosystémov

Eliáš, P.: *Ecological Engineering and Ecosystem Restoration*. *Životné prostredie*, 2012, 46, 3, p. 115 – 118.

Unsustainable use of ecosystems resulted in disturbance of ecosystem integrity, structure and functions of ecosystems up to total destroying of them. Nature conservation efforts have been focused on protection of original natural ecosystems and prevention of disturbance and full destroying of the ecosystems. But human activities resulted in change of the original, primary landscape structure, creation of new anthropogenic and artificial ecosystems and landscapes (agricultural, industrial, urban and contaminated), needed additional input of energy for their functioning and sustainability. Ecological restoration, using natural resources of energy and ecological processes (energy flow, nutrients and informations exchanges, ecological succession) assisted in recovery and restoration of natural structure of ecosystems, revitalization of ecosystems or creation of new ecosystems in areas, where original ecosystems were disturbed and/or destroyed (reclamation, recultivation). Ecological engineering uses knowledge of ecology on ecosystem functioning, especially restoration ecology as an applied science, to fully or partially restore of disturbed ecosystems and their sustainable use. Project of disturbed ecosystem restoration define type, aim and methods of restoration, including subject cooperation, financial support of realization and ecosystem monitoring during and after restoration. Successful restoration projects of disturbed aquatic (lakes, rivers) as well as semi-terrestrial ecosystems ("wetlands") in Europe and in other regions of the world showed what are the possibilities and perspectives of restoration, revitalization and recultivation (reclamation) of disturbed ecosystems in a landscape.

**Key words:** disturbed ecosystems, ecological engineering, ecological restoration, project of restoration, restoration terminology

Rôznorodá činnosť človeka v prírode výrazným spôsobom ovplyvňuje štruktúru a fungovanie ekosystémov, ohrozujúc ich integritu. Mnoho pôvodných ekosystémov bolo zničených (deštrukcia), rozdelených na menšie časti (fragmentácia) alebo inak poškodených (disturbancia). Na miestach pôvodných ekosystémov človek zámerné vytvoril nové (antropogénne) ekosystémy, ktoré mu poskytujú potrebné potraviny, suroviny a iné úžitky, uspokojúce potreby jeho blahobytu. Neželaným dôsledkom neudržateľného využívania ekosystémov (prírodných zdrojov) sú devastované plochy a degradované ekosystémy. Súčasná krajina je preto tvorená mozaikou rôznych ekosystémov: pôvodných prírodných ekosystémov, poloprírodných ekosystémov človekom v rôznom stupni pozmenených a ďalších ekosystémov človekom zámerné, ale aj neúmyselne vytvorených. Výsledkom je znížená biodiverzita krajiny (v dôsledku lokálneho vymierania druhov vo fragmentovanej krajine s narušenou integritou) a obmedzené

ekosystémové služby, ktoré by mali uspokojiť narastajúce potreby ľudí na kvalitný život.

Dlhodobé snahy o ochranu prírody a krajiny (krajinného rázu), ani ochrany biodiverzity v posledných dvoch desaťročiach nepriniesli požadovaný výsledok – zastavenie procesu vymierania druhov, pokles biodiverzity a zachovanie fungujúcich ekosystémov v krajine. Obnova narušených ekosystémov sa dnes ukazuje ako nevyhnutnosť vedúca k obnove štruktúry a funkcií ekosystémov v krajine, k obnove integrity krajiny a ekosystémových služieb. Rozhodujúcu úlohu zohrávajú pritom vedecké poznatky ekológie, osobitne mladého vedného odboru ekológie obnovy (*restoration ecology*) a ekologického inžinierstva.

## Obnova narušených ekosystémov

Pokusy o obnovu v rôznom stupni narušených či poškodených ekosystémov si kladli rôzne ciele, od čiastočnej obnovy poškodených funkcií (schopnosti) ekosystémov

a zlepšenia produkcie biomasy až po úplnú obnovu pôvodných ekosystémov v chránených územiach a zvýšenia biodiverzity, resp. návratu lokálne vymretých vzácnych druhov organizmov (Jordan, Gilpin, Aber, eds., 1987). V súčasnosti môžeme rozlišovať rôzne stupne obnovy, ktoré sa odlišujú svojou terminológiou (tab. 1). Tieto termíny sa často zamieňajú, prípadne používajú v inom, aj prenesenom význame. Napr. termín revitalizácia sa používa nielen vo význame oživenia (re-vitalizácie) systému vo vzťahu k jeho biodiverzite, živým organizmom, ale aj v prenesenom, neprimeranom význame zlepšenia stavu zvýšenou aktivitou v rôznych oblastiach.

Ekologická obnova (*ecological restoration*) je praktická činnosť pomáhajúca pri obnove ekosystémov, ktoré boli degradované, poškodené alebo zničené (*Society for Ecological Restoration*). Využíva pritom poznatky ekológie obnovy ako aplikovanej vedy, predovšetkým teóriu sukcesie – dlhodobej dynamiky vegetácie/ekosystémov, zmien štruktúry a fungovania biologických spoločenstiev a ekosystémov v priebehu desiatok rokov. Riadená sukcesia sa používa ako jedna z kľúčových ekotechnológií pri obnove ekosystémov, pretože umožňuje usmerniť (urýchliť, podporiť) vývoj biologických spoločenstiev na trajektóriu smerujúcu k dosiahnutiu plánovaného stavu obnovy.

### Ekologické inžinierstvo

Ekologické inžinierstvo, ktoré sa vyprofilovalo v druhej polovici 20. storočia, rozpracovalo ekologické technológie manažmentu a obnovy udržateľných ekosystémov. Pri manipuláciách s prostredím, resp. ekosystémami,

človek používa iba malé množstvá dodatkovej energie na kontrolu systémov, pričom hlavné prísuny energie stále pochádzajú z prírody samotnej (Eliáš, 2010). Podľa niekoľkých európskych ekologov sa ekotechnológia chápe ako využitie technologických prostriedkov na manažment ekosystémov, založený na dôkladnom ekologickom poznaní, aby sa minimalizovali náklady opatrení a ich škody na životnom prostredí.

Ekologické inžinierstvo zahŕňa: (a) ekologickú obnovu ekosystémov, ktoré boli podstatne narušené činnosťami človeka a (b) vývoj nových udržateľných ekosystémov, ktoré majú humánnu a ekologickú hodnotu (Mitsch, Jørgensen, 2004). Je to inžinierska disciplína, pretože zahŕňa dizajn prírodného prostredia (ekosystémov), pričom využíva kvantitatívne prístupy založené na ekológii ako *basic science*. Je to technológia, v ktorej základným prostriedkom sú samoformujúce sa (*self-designing*) ekosystémy. Je to biológia a ekológia v tom zmysle, že komponentmi sú všetky biologické druhy sveta. A ako to vyplýva z projektov a úloh, ktoré rieši, je to často v skutočnosti ekologická obnova (Mitsch, Jørgensen, 2004).

Ekologické inžinierstvo je charakteristické snahou o udržanie a/alebo obnovu štruktúry, funkčnosti a integrity ekosystémov s minimálnymi nákladmi a maximálnym využitím prírodných procesov, ktoré v ekosystémoch prebiehajú. Úloha človeka v ekologickom inžinierstve spočíva v stimulácii, v naštartovaní či modifikácii procesu/procesov obnovy s minimálnymi nákladmi, pri efektívnom využití poznatkov a teórie ekológie o fungovaní ekosystémov a ich zložiek, resp. ostatných organizačných úrovní života v území. Ekologický inžinier pritom predpokladá, že ekosystém urobí nápravu ďalej sám.

Tab. 1. Porovnanie odbornej terminológie rôznych stupňov obnovy narušených ekosystémov s príkladmi (podľa rôznych zdrojov)

Stupeň obnovy ekosystému	Európska (nemecká) terminológia	Americká (anglická) terminológia	Spresenie	Príklad
Obnova ekosystému	ekologická obnova	reštaurácia <i>sensu lato</i>	všeobecné termíny pre obnovu narušených ekosystémov	
(Úplná) obnova pôvodného stavu, úplný alebo takmer úplný návrat pôvodného stavu	renaturácia	reštaurácia <i>sensu stricto</i>	obnova pôvodnej prírodnej štruktúry a funkcií ekosystému	lesné ekosystémy temperátnej zóny
Oživenie, čiastočná obnova smerom k pôvodnému stavu	revitalizácia	rehabilitácia	oživenie prostredia, obnovenie podmienok druhovej rozmanitosti	ekosystémy vodných tokov
Ozdravenie, vylepšenie stavu bez ohľadu na smer	remediácia	remediácia	odstránenie cudzorodých (toxických) látok z ekosystému	mokrade využívané ako koreňové čistiarne
Obnova veľmi narušených ekosystémov pre hospodárske využitie človekom	rekultivácia	reklamácia	obnova umožňujúca hospodárske využitie devastovaných ekosystémov a plôch	ťažobné jamy, banské haldy
Vytvorenie nového ekosystému		rekreácia		Vodné nádrže

Vyplýva to zo základných princípov ekologického inžinierstva (Eliáš, 2010). Ekologické inžinierstvo je spojené so samodizajnom a inými ekologickými princípmi, ktoré integrujú ľudskú spoločnosť s prírodným prostredím pre obojstranný úžitok (Mitsch, Jørgensen, 2004). Pritom ekologické princípy samodizajnu v ekologickom inžinierstve sú odvodené z teórie ekosystémov.

### Ekotechnológie a metódy obnovy

Ekotechnológie, využívané pri manažmente ekosystémov, pracujú s ekosystémami ako so základnou jednotkou manažmentu. Založené sú na dôkladnom ekologickom poznaní štruktúry a fungovania ekosystémov. Plánovaný výsledok sa dosahuje s minimálnymi nákladmi (sú založené na využití slnečnej energie), pričom sa minimalizujú aj škody, negatívne dôsledky na životné prostredie. Na naštartovanie ekologických procesov či úpravu fungovania narušených ekosystémov sa používajú rôzne ekotechnológie ako metódy obnovy ekosystémov. Jednoduché manipulácie s fyzikálnym prostredím (manipulácie s hladinou podzemnej vody – zvýšenie alebo zníženie hladiny, manipulácie so svetelnými podmienkami, mechanické úpravy terénu a pod.) vedú k významným zmenám a k obnove funkčných ekosystémov. Potvrdzujú to úspešné projekty ekologickej obnovy semi-terestrických ekosystémov (mokrade), pri ktorých určujúcim ekologickým faktorom je trvale vysoká hladina podzemnej vody a pravidelné záplavy. Označenie „manipulácie s chemickým prostredím“ zahŕňa úpravy množstva (koncentrácie) živín v pôde a vode, zmeny v koncentrácii cudzorodých (toxických) látok v prostredí (v ovzduší, vo vode, v pôde) a v živých organizmoch (v rastlinách, živočíchoch, hubách), zmeny v množstve biomasy v ekosystéme. Na rozdiel od environmentálnych technológií, ktoré vyžadujú pomerne vysoké vklady (vysoké náklady), napr. pri odstraňovaní tzv. ekologických havárií, ekotechnológie využívajú samočistiace procesy v ekosystémoch a pracujú preto s nízkymi nákladmi (Eliáš, 2010).

Osobitný význam majú manipulácie s organizmami (regulovanie veľkosti, štruktúry a dynamiky populácií rastlín, živočíchov, húb) ako je výsev semien, výsadba či presádzanie rastlín, vypúšťanie alebo naopak odstraňovanie nežiaducich druhov živočíchov, inokulácie mikroorganizmov (nitrifikačné baktérie, hľuzkotvorné baktérie), ale aj pasenie, kosenie, prípadne vypaľovanie. Tieto metódy sa uplatňujú viac či menej súčasne, podľa potreby a možností, aby sa zmeny udiali na úrovni ekosystému. Majú preto charakter manipulácií s tokom energie a výmenou látok, biodiverzitou, primárnou a sekundárnou produkciou/ produktivitou biomasy na úrovni ekosystému. K tomuto cieľu sa vypracúva projekt obnovy narušeného ekosystému.

### Projekt obnovy narušeného ekosystému

Projekt ekologickej obnovy slúži na to, aby sme mohli ekosystém navrátiť do pôvodného stavu, stavu blízkeho pôvodnému, resp. obdobnému stavu, v zmysle plánovaného cieľa projektu. Štruktúra projektu obnovy obsahuje: (1) predmet obnovy, (2) ciele projektu, (3) plánovanie projektu, (4) návrh a realizácia projektu, (5) vyhodnotenie realizácie projektu – ekologická syntéza analytických dát (Eiseltová, ed., 1996, tab. 2). Výber ekosystému a formulovanie cieľov obnovy narušeného ekosystému sú dôležitými a rozhodujúcimi krokmi v každom projekte obnovy. Na začiatku musíme definovať, aký druh ekosystému ideme obnovovať. Napríklad poškodený lesný porast, poškodené (znečistené) jazero, napr. toxickými látkami, poškodený biotop, brehové porasty poškodené či odstránené výrubom atď. V celi projektu stanovíme dôvody obnovy, aký stupeň obnovy uplatníme, použijeme (určenie cieľového stavu), čo budeme/chceme v skutočnosti obnovovať, napr. obnovenie samočistiacej schopnosti, obnova pre turistické využívanie a pod. Ale aj napr. opustené a narušené územie (opustený lom) – obnovenie pre vzdelávacie účely, vedecko-výskumný cieľ – skúmanie štruktúry a fungovania ekosystémov. V každom prípade cieľ projektu a teda ekologickej obnovy musí byť jasne stanovený a realistický, t. j. realizovateľný.

Dalšia etapa prípravy projektu – plánovanie projektu – vyžaduje a predpokladá poznanie ekosystému. Preto by vlastnému projektu mal predchádzať výskum samotného ekosystému zameraný na poznanie jeho stavu, stupňa narušenia, procesov, ktoré viedli k narušeniu (degradácii) a pod. Je potrebné poznať dlhodobý vývoj ekosystému, aby sme vedeli, aké podmienky boli pred zhoršením stavu (pred narušením, poškodením, zničením). Aké má postavenie lokalita, kde sa daný ekosystém nachádza. Príkladom môže byť narušenie vodného ekosystému – vodného toku (rieky) a jeho povodia (Eiseltová, ed., 1996). Zmena povodia – prísun látok z povodia – vstupy, kolísania – sezónne, medziročné a pod. Rovnako dlhodobé sledovanie, ako sa ekosystém vyvíjal a jeho lokalizácia v povodí. Sledujeme zmeny v ekosystéme, napr. v povodí, aké sú vzťahy, aké látky

Tab. 2. Štruktúra projektu ekologickej obnovy

I. Výber ekosystému	
II. Ciele projektu	
III. Plánovanie projektu	1. Výskumy predchádzajúce vlastnému plánovaniu projektu 2. Návrh a realizácia projektu 3. Pozorovanie nasledujúce po realizácii projektu a vyhodnotenie projektu

Zdroj: Eiseltová, eds. (1996)

vstupujú do ekosystému zvonku, aký je prirodzený prístup, rešpektovanie prírodných podmienok, vstupy pre daný systém. Skúmame vnútorné podmienky daného ekosystému – na základe výskumov za určitý čas. V prípade vodných ekosystémov si všímame aj dno, aký je funkčný význam, hrúbka dna, sedimenty. Vodu – jej chemické zloženie, pH, priehľadnosť, živiny, aké sú zmeny. Aké sú podmienky pre organizmy – planktón (primárna produktivita), stavovce, vodné vtáky, ryby, raky. A ďalšie znaky – kolísanie hladiny podľa prítoku, koľko sa vyparí a pod.

Návrh a realizácia projektu musia odpovedať na otázku: Akým spôsobom možno dosiahnuť nápravu? Musia vychádzať z poznania stavu – poškodenia ekosystému (stanovila sa ekologická diagnóza – „čo mu je?“) a určitých nápravných ekologických opatrení (nariadiť jeho liečenie). Musia popísať metódy obnovy – akými metódami budeme vykonávať, napr. zásahy do ekosystému, do mokradí. Nevyhnutnou súčasťou návrhu musí byť aj kalkulácia finančných nákladov na realizáciu projektu podľa položiek (vypočítať náklady na zásahy).

Súčasťou prípravy návrhu a realizácie projektu je informačná kampaň smerujúca k odbornej verejnosti, laickej verejnosti (vysvetľovanie dôvodov obnovy a postupov) a finančným skupinám (získať sponzorov pre spolufinancovanie projektu). Pripravujú sa informačné materiály, dojednávajú sa vzťahy s tými, ktorí budú rozhodovať o schválení projektu (poslanci, členovia komisií), so zmluvnými stranami. Uzavrú sa finančné záväzky a rozhodovanie o ekologicko-technických opatreniach. Počas realizácie je potrebné celý priebeh ekologickej obnovy monitorovať (stanovenie ľahko merateľných parametrov obnovy). Vykonáva sa odborný dozor, aby sa dodržal postup prác (časový harmonogram) a rozsah prác. Zásahy do ekosystému je potrebné doladiť, aby sa systém naštartoval na trajektóriu vývoja, ktorú potrebujeme na dosiahnutie plánovaného stavu. Môže to byť napr. aj odstránenie nežiaducej vegetácie, určitých druhov rastlín a živočíchov a pod.

Po realizácii projektu sa vyhodnotí jeho úspešnosť. Preto je potrebné obnovovaný ekosystém ďalej sledovať. Tento monitoring sa robí po dobu niekoľkých rokov. Zahŕňa zistenia, či sa systém vyvíjal želateľným smerom, vyhodnotenia, či sú zásahy dostatočne účinné, či sa v ekosystéme dosiahol stav, ktorý sme očakávali. Využívajú sa metódy ekologického monitoringu, vrátane analýz, rozborov, zložiek ekosystému (fytoplanktón, zooplanktón atď.). V záverečnej syntéze sa syntetizujú poznatky, predpokladané a nepredpokladané zmeny, dosiahnuté výsledky. Porovnáva sa nový stav ekosystému s pôvodným, či zásahy dosiahli plánovaný cieľ ekologickej obnovy. V záverečnej správe sa zdokumentuje celý proces obnovy. Medzi príklady projektov ekologickej obnovy možno uviesť napr. nivné lúky pri Morave (Šeffler, Stanová, eds., 1999), horské lúky po košiarovaní (Novák, 2008) a i.

## Význam pre poznanie ekosystémov

Narušené, poškodené ekosystémy a ich ekologická obnova sú dobrou príležitosťou pre základný výskum, pre rozvoj teórie disturbancií a reštauračnej ekológie, môžu ľahko priniesť výsledky praktickej i teoretickej hodnoty (Cairns, 1987). Ekologická obnova sa stáva testom platnosti ekologického poznania, ekologickej teórie a kladie tiež nové otázky. Umožňuje výskum faktorov ovplyvňujúcich integritu ekosystémov, medzidruhové interakcie, regulačné mechanizmy atď. Proces rekolonizácie prispieva k lepšiemu poznaniu sekundárnej sukcesie, zákonitostí zoskupovania druhov v biologických spoločenstvách, funkčných skupín druhov, fenotypovej plasticity a lokálnej adaptácie druhov (ekotypy), časovej a priestorovej mobility druhov atď.

\* \* \*

Stav ekosystémov v krajine vyžaduje obnovu štruktúry a fungovania pre zabezpečenie ekosystémových služieb, ktoré fungujúce ekosystémy poskytujú ľudskej spoločnosti. Obnova by mala mať charakter ekologickej obnovy, realizovaná ekotechnológiami založenými na poznaní narušených ekosystémov. Ekologická obnova ekosystémov by sa mala stať (spolu s ochranou ekosystémov) súčasťou integrovaného manažmentu krajiny a integrovaného manažmentu ekosystémových služieb.

## Literatúra

- Cairns, J. Jr.: Disturbed Ecosystems as Opportunities for Research in Restoration Ecology. In: Jordan, W. R., Gilpin, M. E., Aber, J. D. (eds.): Restoration Ecology. Cambridge: Cambridge Univ. Press., 1987, p. 307 – 320.
- Eiseltová, M. (ed.): Obnova jezerných ekosystémů – holistický přístup. Wetlands International Publication, 1996, 32, 190 s.
- Eliáš, P.: K definícii ekologického inžinierstva a jeho výučbe ako samostatného predmetu na univerzite. SEKOS Bulletin, 2010, 18, 1, s. 11 – 22.
- Jordan, W. R., Gilpin, M. E., Aber, J. D. (eds.): Restoration Ecology. Cambridge: Cambridge Univ. Press., 1987.
- Mitsch, W. J., Jørgensen, S. E.: Ecological Engineering and Ecosystem Restoration. New York: John Wiley and Sons, 2004, 411 p.
- Novák, J.: Obnova pasienkov na karpatských salašoch. Bratislava: ÚVTIP, 2008, 200 s.
- Šeffler, J., Stanová, V. (eds.): Morava River Floodplain Meadow – Importance, Restoration and Management. Bratislava: Daphne – Centre for Applied Ecology, 1999, p. 119 – 128.

**Prof. RNDr. Pavol Eliáš, CSc., [pavol.elias@uniag.sk](mailto:pavol.elias@uniag.sk)  
Katedra ekológie Fakulty európskych štúdií a regionálneho rozvoja Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre, Mariánska 10, 949 76 Nitra**