

fesor J. Helcelet (1812–1876), vzděláním lékař, který už nevěnoval pozornost šlechtění zvířat a rostlin. Reorganizovaná byla také dřívější Moravskoslezská společnost pro orbu, přírodovědnost a vlastivědu, která měla být podle návrhu přírodovědce C. Andrého (1763–1831) z r. 1806 ekonomickou společností a zároveň akademií věd. Její členové usilovali o vysvětlení podstaty dědičnosti již před Mendlovým narozením. Po r. 1851 se brněnští přírodovědci zaměřili jen na rozvíjení „čisté vědy“ a ta tehdy nezahrnovala dědičnost.

Mendel v r. 1865 vysvětloval na schůzi nově zřízeného Přírodovědného spolku „vznik a vývoj proměnlivých hybridů“. Hypoteticko-deduktivní metodou proka-

zoval přenášení znaků rodičovských forem na potomky prostřednictvím dědičných jednotek v pohlavních buňkách, které genetikové po r. 1900 začali označovat jako geny. Svou novátorskou teorii vysvětloval v novém vědeckém jazyku a jeho výklad nepochopili přírodovědci ani zemědělci. Po r. 1900 jen přejímali od zahraničních badatelů zjednodušený výklad Mendlových zákonů. Teprve oslavy stého výročí Mendlova narození, organizované členy německého Přírodovědného spolku ve spolupráci jen s některými českými přírodovědci, vyvolaly v Brně obnovení zájmu o studium dědičnosti. Později národnostní konflikty a nacistická okupace a po skončení války politicky zideologizovaný výklad dědičnos-

ti znemožnily zřízení Mendlova genetického ústavu.

Zrychlený vývoj genetiky a její význam ve společnosti po r. 1950 vedl koncem 50. let 20. stol. k obnově výuky a výzkumu dědičnosti v naší zemi. Podle návrhu J. Kříženeckého rozšířili po r. 1965 pracovníci Mendeliana mezinárodní spolupráci týkající se Mendlova objevu a jeho vlivu na vznik a vývoj genetiky. Pokus o obnovení Mendlova genetického ústavu v Brně pro výuku posluchačů vysokých škol se po r. 1965, stejně jako po r. 1990 neseťkal s ohlasem. Pamětníci dramatického vývoje genetiky v naší zemi po r. 1948 si nyní mohou položit otázku: Jak přispějí oslavy 180. výročí Mendlova narození k rozvíjení genetiky v 21. století?

Ekotechnologie a ekologické inženýrství

Pavel Kovář

Mluvíme-li o ekologickém inženýrství a ekotechnologiích, míníme tím rozvíjení lidské společnosti ruku v ruce s jejím přírodním prostředím takovým způsobem, aby prospěch měly obě strany. Tyto dva pojmy mají svůj základ ve vědecké teorii (doufejme, že se nezkarikují a nezplní tak rychle v ústech politiků jako obsah slova ekologie). Principy ekologie a nauky o prostředí se vyvíjely minulých 100 let a zvláště intenzivně posledních 40. Čas je tedy zralý pro aplikace těchto principů.

Zdá se být jasné, že když chceme uchránit pro budoucí generace základní podobu biologického řádu světa a doufat, že se standardy zdraví obyvatelstva budou zlepšovat, nauka o prostředí a technologie bude hrát dominantní roli v ovlivňování sociální a industriální struktury zítřka. Nezbyvá, než aby byla vyvinuta vědecky pevná kritéria kvality prostředí. Tato kritéria se musí stát základem pro realistické

standardy ovlivňující rozvoj techniky všeobecně. Je zřejmé, že civilizace bude požadovat stále více paliv, přepravy, průmyslových chemikálií, hnojiv, pesticidů a jiných produktů a že bude také pokračovat ve vytváření odpadů různého druhu. Co nutně potřebujeme, je systémový přístup k moderní civilizaci, v jehož rámci se uplatní vědecké a inženýrské talenty při spolupráci s profesemi lékařů

a sociologů (nenechme si ovšem v této souvislosti podsouvat snahy o sociální inženýrství, které je svou podstatou něco zcela jiného). Mnoho z dovedností a nástrojů požadovaného typu už dlouho existuje. Můžeme si být jisti, že často již vyvinuté technologie pouze čekají na své dotažení a širší uplatnění.

Howard T. Odum byl mezi prvními, kdo definoval ekologické inženýrství, a to jako „Manipulaci s prostředím, kdy člověk používá malá množství dodatků energie ke kontrole systémů, přičemž hlavní přísun energie pocházejí z přírody.“ Vzorce pro ekologické inženýrství mohou začínat u přirozených ekosystémů, ale nové ekosystémy, pokud jsou vyvíjeny uměle, se mohou poněkud lišit. Odum ve své knize *Prostředí, energie a společnost* (1971) rozvíjí svůj koncept ekologického inženýrství takto: „Management přírody je ekologické inženýrství, výzva s ojedinělými aspekty, doplňujícími tradiční inženýrství. Lepší pojmenování je partnerství s přírodou...“ Později (1983) v knize *Systémová ekologie*, tvrdí: „Inženýrství nového ekosystémového designu je pole, jež využívá systémy, které jsou především sebeorganizující.“

Uhlman (1983), Straškraba (1984, 1985), Straškraba et Gnauch (1985) definovali ekotechnologie jako využití technologických prostředků pro management ekosystémů, založený na hlubokém ekologickém poznání, aby se minimalizovaly náklady a harmonizovalo prostředí.

Kontrast s jinými technologiemi

Je dobré na začátku říci, co synonyma ekologické inženýrství a ekotechnologie znamenají. Ekologické inženýrství není totéž co environmentální inženýrství — inženýrství životního prostředí — obor, který se etabloval na univerzitách a jiných pracovištích v 60. letech a který byl znám už předtím jako sanitární inženýrství. Tento

Výsadby olše šedé (Alnus incana) prostrádané pásy vysokostébelných nesečených trávníků (Calamagrostis epigeios) mohou poměrně účinně stabilizovat povrch složišť prашných materiálů (např. popilkových strusek) a zároveň sloužit jako záchytná zeleň pro polétavý aerosol. Olše mají vysokou zachycovací schopnost, ale jak deštivým smyvem, tak opadem listů se deponit dostává na povrch půdy — na rozdíl od toho trávník se starinou má několikanásobně vyšší retenční schopnost s dlouhou dobou obratu rozkládajícího se detritu s navázanými znečištěními





Pobřežní porosty neregulovaného Labe u Němčic mají vysokou retenční kapacitu vůči znečištěninám neseným vodou a značně zvyšují samočisticí schopnost řeky

obor zahrnuje zejména aplikaci vědy při čištění a prevenci problémů se znečištěním. Inženýři prostředí vymýšlejí operační technologie, např. písečné filtry, pračky vzduchu, sedimentační tanky apod.

Ekologické inženýrství se na rozdíl od toho zabývá hledáním ekosystémů, které jsou nejvíce adaptabilní na lidské potřeby, a poznáváním mnohonásobných hodnot těchto systémů. Zatímco konvenční inženýrství proniká do světa přírody dobytelsky, ekologické inženýrství nabírá z tohoto světa do svého zásobníku nástrojů vše z ekosystémů, společenstev, organismů.

Ekologické inženýrství a ekotechnologie se nesmějí zaměřovat s bioinženýrstvím a biotechnologiemi (ty především vyvíjejí nové druhy nebo variety prostřednictvím změn genetické struktury). Některé rozdíly mezi oběma přístupy uvádí tab. 1. Ekotechnologie nemění přírodu na genetické úrovni, ale považují seskupení druhů a jejich abiotické prostředí za sebeutvářecí systém,

kteří se může přizpůsobovat změnám vnášeným zvenčí (ať už přirozeným nebo navozeným člověkem). Zatímco biotechnologie začínají být drahé, což vyvěrá hlavně z potřeby manipulací na mikroúrovni, ekotechnologie nezavádějí žádné nové biologické entity, které by příroda neznala, ani nezvyšují náklady na laboratorní provoz — snad jen s výjimkou studií chování při nových kombinacích druhů v umělých mikrokosmech.

Ekotechnologický pohled

Sebeutváření

Ekotechnologie vycházejí z důrazu na sebeutvářecí (sebeřídící) schopnosti ekosystému a přírody. Můžeme jít dokonce tak daleko, že koncept znečištěného ekosystému pro nás bude představovat ryze antropogenní náhled, který zamezuje vidět posun přírodních systémů, možnost reorganizovat potravní řetězce, schopnost adaptace jednotlivých druhů a v konečném důsledku utváření systému tak, aby se hodil do pozměněného prostředí. Sebeutvářecí schopnost ekosystému považuje ekologické inženýrství za významný faktor, protože umožňuje inženýrství samotné

přírodě. Člověk se podílí jako výběrový generátor a usměrňovač prostředí, které svádí střet s ekosystémem, ale příroda vykonává zbytek. Lidská společnost plus ekosystémy jsou nazírány jako jedna entita. Klade se důraz na ekologické a holistické hledisko.

Ochrana ekosystému

Podobně jako strojní inženýr potřebuje množství nástrojů a surovin, aby mohl mít vliv na výrobní proces a jeho výstup, tak je také ekologický inženýr závislý na početnosti biologických druhů a ekosystémů. Je tedy kontraproduktivní vyřadit druhy nebo zcela ničit ekosystémy. Existují prostředí, jež chrání biologickou diverzitu, kterou může ekologický inženýr jednoho dne potřebovat. Znamená to, že akceptování ekotechnologií vede k vyšší ochranářské etice vůči prostředí. Např. když jsou mokřady hodnoceny pro své abiotické komponenty (zásoba kvalitní vody, tlumení intenzity záplav), ale navíc ještě pro dlouhodobě známou roli jako rozmnožovacího prostředí ryb a dalších organismů, rozhodně vzroste stupeň jejich respektování a entusiasmus, s jakým jsou chráněny.



Tab. 1 Srovnání ekotechnologií a biotechnologií

Charakteristika	Ekotechnologie	Biotechnologie
základní jednotka	ekosystém	buňka
základní principy	ekologie	genetika, buněčná biologie
kontrola	hnací funkce, organismy	genetická struktura
utváření (design)	sebeutváření, s případnou podporou člověka	umělý, utvořený člověkem
biotická diverzita	chráněna	měněna
náklady na udržení a rozvoj	racionální	enormní
energetická báze	sluneční energie	získaná z fosilních paliv

Tab. 2 Charakteristiky ekosystémů využívané ekologickým inženýrstvím

1. Ekosystémové struktury a funkce jsou určovány řídicími silami
2. Ekosystémy jsou sebeutvářecí soustavy
3. V ekosystémech dochází k recyklaci látek
4. Homeostáze ekosystémů vyžaduje shodu mezi biologickými funkcemi a chemickým složením
5. Procesy v ekosystémech mají charakteristické časové měřítko
6. Komponenty ekosystémů mají charakteristické prostorové měřítko
7. Chemická a biologická diverzita přispívá k pufracním schopnostem ekosystémů
8. Ekosystémy jsou nejzranitelnější na svých geografických okrajích
9. Na přechodných zónách mezi ekosystémy se tvoří ekotony
10. Ekosystémy jsou spřaženy s jinými ekosystémy
11. Ekosystémy s pulzujícím uspořádáním jsou často vysoce produktivní
12. V ekosystému cokoli souvisí (je závisle propojeno) s čímkoli jiným
13. Ekosystémy mají zpětnovazebné mechanismy, pružnost a pufrací schopnosti ve shodě se svým předešlým vývojem

Solární báze

Protože ekosystémy jsou funkční celky založené na transformaci sluneční energie (s výjimkou některých hlubokomořských), je koncept sebeutvářecích systémů pro ekotechnologie mimořádně důležitý. Pokud je totiž systém nějak umístěn a nastaven, je potřeba, aby se dál udržoval jen s mírnými zásahy. To dokáže právě ekosystém opřený o solární energii — nezávislý na technoenergiích.

Součást přírody

Je možné rozdíly mezi společností, jež se chová vůči přirozeným ekosystémům jako k něčemu oddělenému od její denní existence (s výjimkou rekreačních a estetických hodnot), a společností, která odvozuje významné hodnoty od okolních ekosystémů, s nimiž pracuje v symbiotickém uspořádání. Rekreační a estetické hodnoty jsou též zahrnuté, v druhém případě, ale při současném zisku čistého vzduchu a vody a více neobnovitelné energie ušetřené pro budoucnost dalších generací.

Principy, na jejichž základě staví i ekologické inženýrství

Uvedených 13 charakteristik je založeno na kombinaci ekologických znalostí a zkušenosti z ekotechnologických aplikací (nejde o uzavřený počet ani o vyčerpávající formulace):

- 1. Ekosystémové struktury a funkce jsou určeny řídicími silami (hnacími funkcemi) systému. Jejich změny způsobují nejdrastičtější změny v ekosystémech

Hnací funkce ekosystémů (např. teplota, vstup chemických látek, vody apod.) jsou v přímém vztahu ke stavovým proměnným, stejně jako modely každého systému. Např. eutrofizace je typický příklad, jak hnací funkce určují stav systému včetně druhového složení. Množství živin je velmi těsně spjato s koncentrací řas ve vodní nádrži. Když byl vstup fosforu do jezera opakovaně snížen, významně poklesla koncentrace řas a souběžně vzrostla průhlednost vody. Podobný vztah

Plevelé fungují vůči plodině v raných fenologických fázích podpůrně (brzdí vysychavost povrchu půdy, pomáhají namnožení mykorrhizních symbiontů apod.). Pokud byly dodrženy agrotechnické oševní lhůty, zpravidla později v sezóně plodina sama podíl plevelové složky dokáže regulovat a potlačit tak negativní efekty konkurence. Snímky P. Kováře

platí u zaplavovaných lužních lesů. Když je stromový mokřad zaplaven, produktivita se zvýší díky importovaným sedimentům obohaceným živinami. Pokud jsou tyto mokřady izolovány od okolí, což se stává při umělém odvodnění kanály, tato manipulace neoptimalizuje systém, nýbrž maximalizuje pouze jeden druh zisku (např. přemnožení druhů zvýhodněných přerušením periodicity záplav, na nichž závisí rozvoj jiných — pokles biodiverzity).

Role řídicích sil je ještě nápadnější, když uvažujeme průtok toxických látek ekosystémem. To je běžný případ hnací funkce ovlivňující ekosystém negativním způsobem. Jestliže je dosaženo vysoké až letální koncentrace, je zřejmé, že struktura a funkce systému se radikálně změnil.

- 2. Ekosystémy jsou sebeutvářecí systémy. Čím víc se pracuje se sebeutvářecí schopností přírody, tím nižší je cena energie potřebné k udržení systému

Ekosystémové regulace a zpětnovazebné mechanismy vytvářejí schopnost přizpůsobovat a samovytvářet prostředí, jakož i minimalizovat změny ve fungování ekosystému. Např. u vodních systémů se tato schopnost adaptability manifestuje samočištěním škodlivin. V průmyslových zemích se dlouhodobým ukládáním škodlivin kontaminují půdy a řeší se to nákladným přemístěním znečištěné zeminy na méně poškozené místo (což by mělo být nepřipustné). Ekotechnologie může přinést řešení: je-li kontaminujícím působkem organická látka, je možné najít bakterie, které ji destrukují; těžké kovy mohou být odstraněny rostlinami adaptovanými na silné koncentrace a pak odebrány s biomasou (např. pryšec *Euphorbia esula*: rostliny mohou nakonec obsahovat až 37 % uhlovodíků a být posléze briketovány). Experimenty prokazují, že některé rostliny mají schopnost odstranit několik g/m² olova nebo kadmia bez pozorovatelných účinků na růst. Často se rostliny využívají k tlumení až odstraňování znečištění vodního prostředí (např. orobinec — *Typha*, makrofyta obecně).

- 3. V ekosystémech dochází k recyklaci. Recyklační dráhy umožňují významně snížit účinky znečištění

Prvky kolují ve všech ekosystémech. Aplikace ekologického inženýrství má velký význam pro porozumění jejich jednotlivým cyklům v ekosystému a jejich rychlosti. Např. využití terestrického ekosystému pro recyklaci živin může být účinným prostředkem u ochrany křehkého ekosystému při minimálních nákladech (např. odstraňování živin z nádrží vodním hyacintem r. *Eichhornia* v Číně, kdy se použité rostliny zkrmuji na rybí farmě, čímž se uzavře recyklační smyčka).

- 4. Homeostáze ekosystémů vyžaduje shodu mezi biologickými funkcemi a chemickým složením

Různé organismy mají typické chemické složení a organismy jsou schopny regulace pouze v určitém rozmezí hodnot koncentrací látek (tzv. Shelfordův zákon), což je

užitečné brát do úvahy při uplatnění ekotechnologií. Např. jsou známy následky acidifikace působené SO_2 ze spalování fosilních paliv — dají se vyložit jako vybočení z tohoto principu. Nízká hodnota pH pozorovaná v jezerech Skandinávie nebo na severu Kanady způsobuje absenci anorganického uhlíku pro fotosyntézu. Jezera se potom stávají superoligotrofními, je ovlivněn celý potravní řetězec a biota je očižena.

- 5. Procesy v ekosystémech mají charakteristické časové měřítko

Příklady špatného ekosystémového managementu jako důsledku chybějící rozvahy nad časovým dopadem se projevuje u ovlivnění vztahu dravec-kořist. Lidé považují dravce za škodnou a zabíjejí je kvůli tomu, aby chránili kořist. Tato strategie bývá špatná, protože okamžitý efekt se realizuje na úkor vyváženého uspořádání v delší časové dimenzi. Když se prudce sníží počet predátorů, populace kořisti rychle vzroste. Když tento vzrůst překročí nosnou kapacitu prostředí, dochází např. k přepásání nebo hladovění ve velkém počtu (vlci, kojoti a pumy byli v Arizoně ve 20. letech 20. stol. vybiti, během několika let se víc než zdesateronásobil počet jelenovitých, kteří pak začali hladovět a podléhat nemocem, takže v dalších letech počty klesly na přibližně jednu desetinu).

- 6. Komponenty ekosystémů mají charakteristické prostorové měřítko

Rapidní růst lidské populace způsobil nárůst potřeby zemědělské půdy. Odlesnění a odvodnění se plošně rozšířilo přes příliš a na některých kontinentech došlo až k denitrifikaci. Tropické lesy udržují vlhkost půdy. Když jsou stromy odstraněny, půda je vystavena přímému slunečnímu záření, vysuší se a organická hmota je „vypálena“. Stepní a savanové formace ustupující pod tlakem pastvy stád nahrazované expandující Saharou jsou výmluvným dokladem. Ekologicky únosné řešení může představovat agrolesnictví (Živa 1991, 5 a 2001, 4). Zemědělství i lesnictví je kombinováno v takovém uspořádání, které odpovídá ekosystémovým charakteristi-

kám. Podobně lze propojovat rybníkářství s různými formami zemědělství nebo lesnictví.

- 7. Chemická a biologická diverzita přispívá k pufracím schopnostem ekosystémů. Při dotváření nebo obnově ekosystémů by se mělo docílit této diverzity. Pufrací schopnost je definována jako změna stavové proměnné ve vztahu ke změně hnací funkce. Příklad diverzity plodin a produkce úrody: když se pěstuje na tomtež poli několik plodin, každá z nich je méně citlivá na útok hmyzu, než kdyby byla v monokultuře. Pokusy s využitím integrovaných kultur tento princip ilustrují velmi dobře (jeden řádek cibule, jeden řádek fazolu — když je mezi řádky malý rozstup, poškozování škůdci se snižuje na 50 % ve srovnání s monokulturou).

- 8. Ekosystémy jsou nejzranitelnější na svých geografických okrajích. Geologické a klimatické optimum ve středě geografického areálu je spíše využitelné pro ekologické inženýrství než na okrajích, kde vstupuje v důsledku posunu v charakteru prostředí do konkurence se sousedními ekosystémy (biomy).

- 9. Na přechodných zónách mezi ekosystémy se tvoří ekotony

Ekotony (přechodná pásma) mohou být uvažovány jako pufrací zóny mezi dvěma ekosystémy — jsou schopny absorbovat nežádoucí změny v přiléhajících (sousedních) prostředích. Hodí se proto k lokalizaci mezi lidská sídla a s nimi sousedícími ekosystémy. Je častou chybou stavět hotely blízko u pobřeží moře či jezera bez přechodné zóny např. mokřadních společenstev, která částečně imobilizují emise.

- 10. Ekosystémy jsou spřáhány s jinými ekosystémy

Tato svázanost s jinými ekosystémy by měla být udržena a mělo by se bránit izolaci jednoho ekosystému od okolí, protože jde o otevřené systémy s výměnou hmoty a energie. Jestliže se jedna složka z určitého ekosystému odstraňuje, problém se neřeší, pokud poškozují jiný ekosystém. (Např. únik amoniaku z hnojených zemědělských ekosystémů dospěje k rozpuštění

této látky v dešťové vodě, s níž se dostává do jiného ekosystému, kde škodí. Amoniak v hnojivech však může být vázán použitím minerálů, resp. nastavením pH — s použitím bentonitu nebo aktivovaného zeolitu může jít o snížení o 20–30 %. Dá se využívat k výrobě bioplynu, z něhož jsou sice rezidua, ale s menším obsahem amoniaku.)

- 11. Ekosystémy s pulzujícím uspořádáním mohou být vysoce produktivní. Pravidelné záplavy (hydroperiody) mokřadů způsobují jejich velkou biologickou aktivitu a chemické cyklování v relativně konstantním režimu. Pokud jde o umělé nastavení, musí se dbát na správnou frekvenci a trvání záplav, dovolující ekosystému maximalizovat produkci, konzumaci a recyklaci.

- 12. V ekosystému cokoli souvisí s čímkoli jiným

Ať přímo či nepřímo jsou jednotlivé komponenty ekosystému propojeny. Zdá se to triviální, ale právě tento princip musí být zdůrazněn ve všech inženýrských přístupech. Stává se, že při určitém managementu ekosystému dojde v důsledku nepřímých vazeb mezi jeho součástmi ke zcela opačnému efektu, než kterého mělo být dosaženo.

- 13. Ekosystémy mají zpětnovazebné mechanismy a pufrací schopnosti ve shodě se svým předešlým vývojem

Hierarchizované zpětnovazebné mechanismy odrážejí často vývoj několika milionů let. Proto jsou ekosystémy schopny reagovat na problém spjatý s jejich vlastní složkou, ale mají často potíže s cizorodým vlivem — např. se syntetickými chemikáliemi. Nicméně je možné přírodě napomoci použitím (nasazením) již adaptovaných organismů (rostlin, bakterií — viz bod 2).

Ekologie — základní věda pro ekologické inženýrství

Správa a racionální využívání ekosystémů není snadnou záležitostí, jak tomu u složitých systémů jinak ani nemůže být. Vyžaduje hlubokou ekologickou znalost procesů a reakcí ekosystémů na možné strategie managementu. Schopnost sebeutváření a fungování hnacích sil se u ekotechnologií stávají tím, čím je genetika pro biotechnologie, chemie pro chemické inženýrství atp. Ekologické inženýrství musí být založeno na ekologických metodách a důkladných informacích o subsystémech (např. o druzích nebo společenstvech) ekosystémů.

S uvedenými potřebami souvisí vhodné časování pro ekologické inženýrství. Problém globálního znečištění byl naplno rozpoznán v 60. letech. Ačkoli se investovaly miliardy dolarů po celém světě do různých řešení, jsme pořád velmi daleko od překonání hrozeb pro druh *Homo sapiens*. Souvisí s tím i fakt, že dnes — ve srovnání se stavem před 40 lety — máme na Zemi o tři miliardy lidí více a přitom daleko méně neobnovitelných zdrojů. Proto potřebujeme nalézat nové cesty. Dostupné technologie selhávají. Naše zkušenost s ekotechnologiemi zatím není velká. Nicméně pokračující vývoj v ekologii, ekologickém modelování, aplikované ekologii a ekologickém inženýrství je slibný pro integraci a aplikaci nových poznatků.



Orig. V. Renčina

Věnováno památce RNDr. Milana Straškraby, DrSc. k jeho vloni nedožitým sedmdesátinám