

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA V NITRE

Fakulta európskych štúdií
a regionálneho rozvoja

Ústav environmentálneho
manažmentu

Martin HAUPTVOGL – Martin PRČÍK – Mariana ELIAŠOVÁ

INTEGROVANÝ MANAŽMENT ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA



Nitra 2021

Vydala Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
vo Vydavateľstve SPU

DOI: <https://doi.org/10.15414/2021.9788055224114>

Autori: Ing. Martin Hauptvogel, PhD. (2,6 AH)
Ústav environmentálneho manažmentu
FEŠRR, SPU v Nitre

doc. Ing. Martin Prčík, PhD. (1,1 AH)
Ústav environmentálneho manažmentu
FEŠRR, SPU v Nitre

Ing. Mariana Eliašová, PhD. (0,66 AH)
Ústav environmentálneho manažmentu
FEŠRR, SPU v Nitre

Recenzenti: prof. Ing. Dušan Kudelas, PhD.
Technická univerzita v Košiciach

Ing. Lenka Bobuľská, PhD.
Prešovská univerzita v Prešove

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 19. 11. 2021
ako online skriptá pre študentov SPU v Nitre.

Táto publikácia je publikovaná pod licenciou Creative Commons Attribution
NonCommercial 4.0 International Public License (CC BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



ISBN 978-80-552-2411-4

DOI: <https://doi.org/10.15414/2021.9788055224114>

Obsah

Úvod.....	5
1. Úvod do integrovaného manažmentu životného prostredia	6
1.1 Model DPSIR.....	7
1.2 Integrovaný manažment životného prostredia v 7 krokoch	8
1.3 Balíky nástrojov dostupné v súčasnosti na vypracovanie ekologicko- environmentálnej diagnózy	9
1.4 Balíky nástrojov dostupné v súčasnosti na riešenie environmentálneho problému...	11
1.5 Sledovanie procesu obnovy	13
1.6 Závery k integrovaného manažmentu životného prostredia	13
2. Definovanie problému	15
2.1 Klasifikácia environmentálnych problémov	15
2.2 Udržateľný rozvoj a ekologická udržateľnosť	15
2.3 Ekologické definície niektorých dôležitých konceptov	18
3. Zdroje a účinky znečisťovania.....	25
3.1 Účinok anorganických látok	30
3.2 Účinok organických zlúčenín.....	30
4. Analýza environmentálnych rizík (ERA)	33
4.1 Ekotoxikologické vlastnosti.....	37
4.2 Prieskumná analýza problémov životného prostredia.....	39
5. Ekologické / environmentálne modely ako diagnostické nástroje.....	40
5.1 Modely ako manažmentové nástroje.....	41
5.2 Komponenty modelovania	42
5.3 Proces modelovania	43
5.4 Prehľad dostupných ekologických modelov	46
6. Ekologické indikátory ako diagnostické nástroje	48
6.1 Klasifikácia ekologických indikátorov (indikátorov zdravia ekosystému).....	50

6.2	Biomarkery a biologické testy	52
7.	Ekosystémové služby ako diagnostické nástroje	54
7.1	Klasifikácia ekosystémov.....	55
8.	Aplikácia environmentálnej technológie v environmentálnom manažmente	56
8.1	Aplikácia environmentálnej technológie na problémy s odpadovými vodami.....	56
8.2	Znižovanie znečistenia ovzdušia environmentálnymi technológiami.....	59
8.3	Riešenie problémov s tuhým odpadom environmentálnou technológiou	61
8.4	Metódy spracovania tuhého odpadu.....	62
9.	Aplikácia ekologického inžinierstva v environmentálnom manažmente.....	66
9.1	Klasifikácia ekologického inžinierstva a ekotechnológie	66
9.2	Využívanie ekotechnológie pri obnove jazier.....	68
9.3	Využívanie ekotechnológie na sanáciu (remediáciu) pôdy.....	69
10.	Zoznam použitej literatúry	71

Úvod

Integrovaný manažment životného prostredia predstavuje sústavu kompetentných udržateľných rozhodnutí a ich aplikáciu v praxi smerom k využívaniu a ochrane životného prostredia, jeho konkrétnych zložiek a v neposlednom rade jednotlivých prírodných zdrojov. Práve poznanie a integrácia jednotlivých zložiek životného prostredia predurčuje jeho správne využívanie. Iba zdravé a nepoškodené životné prostredie dáva priestor a možnosti pre aplikáciu socioekonomických činností obyvateľstva obývajúceho a využívajúceho konkrétny priestor s jeho špecifikami. Poznanie a pochopenie životného prostredia a jeho jedinečností na miestnej (lokálnej) úrovni nám pomáha vnímať fungovanie a vzájomné vzťahy, ktoré sa štandardne uskutočňujú v prostredí a pri ich správnom manažovaní nám pomáhajú k napĺňaniu každodenných aktivít a tým podporujú udržateľný rozvoj a napredovanie celej spoločnosti.

Autori pripravili súhrn informácií, ktoré ponúkajú možnosť zoznámiť sa s problematikou integrovaného manažmentu životného prostredia a so špecifikami, ktoré sú súčasťou tejto jedinečnej problematiky.

Učebné texty sú rozdelené do deviatich základných kapitol, pričom každá kapitola poskytuje množstvo konkrétnych informácií rozdelených do jednotlivých podkapitol.

Učebné texty sú určené predovšetkým študentom II. stupňa vzdelávania, ktorí študujú študijné programy v rámci študijného odboru ekonómia a manažment na Fakulte európskych štúdií a regionálneho rozvoja Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre.

Autori

1 Úvod do integrovaného manažmentu životného prostredia

Pri definovaní integrovaného manažmentu životného prostredia je dôležité oboznámiť sa s jednotlivými kľúčovými slovami tohto pojmu.

Integrovaný znamená súhrnný, celkový, úplný, vnútorne prepojený, teda **holistický**, t. j. **vnímaný ako celok**, nie ako súčet častí.

Na základe vyššie uvedeného je manažment „*vykonávanie úloh prostredníctvom práce iných*“.

Manažment pozostáva z piatich funkcií:

- 1) plánovanie (stanovuje jednotlivé ciele a postupy na ich dosiahnutie),
- 2) organizovanie (určuje konkrétnym skupinám ľudí metódy zaistovania plánovaných úloh),
- 3) formovanie personálu (určenie nárokov na potrebných pracovníkov, ich výber a rozmiestnenie),
- 4) vedenie ľudí (priame a nepriame usmerňovanie ľudí/pracovníkov tak, aby včas a efektívne plnili určené úlohy),
- 5) kontrola (proces sledovania, rozboru, hodnotenia a prijímania záverov v súvislosti s odchýlkami medzi plánom a realizáciou).

Životné prostredie (*environment*) je všetko, čo vytvára prirodzené podmienky existencie organizmov vrátane človeka a je predpokladom ich ďalšieho vývoja. Jeho základnými zložkami sú ovzdušie, voda, horniny, pôda i samotné organizmy.

Manažment životného prostredia je komplex činností (najmä aktivít človeka) zameraný na vzájomné pôsobenie a vplyv ľudských spoločností na životné prostredie, jeho využívanie a ochranu. **Ide o filozofiu hľadania správneho stavu a vývoja životného prostredia človeka.**

Nie je to manažment prírody, lebo príroda je súhrn všetkých prvkov a javov na svete, ktoré nevznikli zámernou ľudskou činnosťou. Môžeme manažovať človeka, ale nie prírodu. Je to filozofia hľadania správneho stavu a vývoja životného prostredia.

Integrovaný manažment životného prostredia je filozofický rámec pre hodnotenie a manažovanie každej fázy, každej aktivity a každej úrovne životného prostredia človeka.

Hlavným cieľom integrovaného manažmentu je vytvoriť taký systém hospodárenia, ktorý zosúladí rozvoj jednotlivých socioekonomických aktivít s prírodným, socioekonomickým a kultúrno-historickým potenciálom územia. Integrovaný manažment zabezpečí elimináciu súčasných a prevenciu vzniku nových environmentálnych, sociálnych a ekonomických problémov a z dlhodobého hľadiska zabezpečí udržateľný rozvoj daného územia.

Integrovaný environmentálny (prípadne ekologický) manažment teda znamená, že na environmentálne problémy sa hľadí z holistického uhla pohľadu, berúc do úvahy ekosystém ako entitu a celé spektrum riešení vrátane všetkých možných kombinácií navrhovaných riešení. Skúsenosti z environmentálneho manažérstva ukazujú, že je dôležité neposudzovať riešenia jednotlivých problémov, ale brať do úvahy všetky problémy spojené s uvažovaným ekosystémom súčasne a hodnotiť všetky možné riešenia navrhované príslušnými odborníkmi v rovnakom čase. Ako príklad je možné uviesť: „*je nevyhnutné pozorovať les a nie jednotlivé stromy*“. Skúsenosti z praxe jasne zdôraznili, že neexistuje žiadna alternatíva k integrovanému riadeniu, aspoň nie na dlhodobom základe.

1.1 Model DPSIR

Model DPSIR predstavuje metodologické postupy integrovaného environmentálneho hodnotenia životného prostredia vypracované OECD a Európskou environmentálnou agentúrou (EEA). Metodika je založená na príčinnno-následnej (kauzálnej) súvislosti medzi činnosťou človeka a stavom životného prostredia pomocou DPSIR modelu. DPSIR je skratka zostavená zo začiatkových písmen jednotlivých častí cyklu:

- hnacie sily (*driving forces* – *D*), t. j. spúšťacie mechanizmy procesov v spoločnosti, ktoré vyvolávajú
- tlak (*pressure* – *P*) na životné prostredie, ktorý je bezprostrednou príčinou zmien v prostredí
- stave životného prostredia (*state* – *S*), pri čom ide o zhoršovanie stavu životného prostredia, ktoré má zvyčajne negatívny následok
- dosah (*impact* – *I*) na zdravie človeka, biodiverzitu, funkcie ekosystémov..., čo logicky vedie k formulovaniu opatrení a nástrojov v spoločnosti zameraných na eliminovanie, resp. nápravu škôd v životnom prostredí v poslednom článku tohto kauzálneho reťazca, ktorým je
- odozva (*response* – *R*).

Prvým článkom cyklu sú **hnacie sily**, ktoré môžeme definovať aj ako **potreby**. Existujú tri typy potrieb:

- **primárne potreby**, ktoré sa zaoberajú všetkým, čo skutočne potrebujeme, aby sme prežili. Nazývame ich tiež individuálne potreby. Patrí sem napr. voda, jedlo, prístrešie a pod.

- **sekundárne potreby**, ktoré sa viac týkajú neexistenčných vecí (napr. mobilita, zábava a kultúra)
- **makroekonomické potreby**, ktoré sa viac týkajú výroby a spotreby.

Druhým článkom je **tlak**, ktorý je **výsledkom uspokojenia potrieb**. Poznáme tri typy:

- nadmerné využívanie environmentálnych zdrojov,
- zmeny vo využívaní krajiny,
- znečisťovanie ovzdušia, vody a pôdy.

Tretím článkom **stav**, ktorý predstavuje **opis súčasného stavu životného prostredia, ľudského zdravia a kvalitu života**. Ide teda o opis kvality rôznych zložiek životného prostredia (vzduch, voda, pôda a pod.), ale aj zdravia a pohody človeka.

Štvrtým článkom sú **dopady** – nežiaduce účinky. Dopady sú definované ako **zmeny stavu v dôsledku uspokojenia potreby**. V tomto bode sú teda dôležitým pojmom „*zmeny*“. Jedná sa o zmeny, ktoré môžu byť napr. fyzikálne, chemické a biologické. V podstate ide o zmeny stavu v dôsledku uspokojenia potreby. Je to to, čo nastane, ak neurobíme žiadne opatrenia. Je potrebné uvedomiť si, že dopady si nemôžeme zamieňať s tlakom.

Posledným, piatym článkom sú **odozvy** (odpovede). Sú to **činy alebo akcie**, ktoré môžeme (jednotlivci, spoločnosť, politici a pod.) podniknúť na to, aby sme **vyvolali pozitívnu zmenu v jednotlivých predchádzajúcich článkoch**.

Je potrebné si zároveň uvedomiť, že jednotlivé články modelu DPSIR sú prepojené. Napríklad hnacie sily sú veľmi často určitým ekonomickým spôsobom spojené s tlakmi. Implementáciou odozvy sa znižujú tlaky a stav sa zlepšuje prostredníctvom minimalizácie dopadov.

Model DPSIR bol často kritizovaný, najmä z dôvodu, že neexistuje jednoduchý kauzálny vzťah medzi jednotlivými prvkami DPSIR, príliš zjednodušuje, má tendenciu byť zaujatý – má tendenciu uprednostňovať ochranu a zachovanie ekosystémov. Ďalej aj za to, že ponúka obmedzené usmernenie k tomu, ako riešiť rôzne postoje zainteresovaných strán. Žiadny rámec nie je dokonalý, ale všetko je o diskusii jednotlivých otázok a problémov. Toto je potrebné zvážiť pri aplikácii modelu DPSIR.

1.2 Integrovaný manažment životného prostredia v 7 základných krokoch

Integrované ekologické a environmentálne manažérstvo v súčasnosti pozostáva z procesu zahrňujúceho sedem základných krokov:

- 1) definovanie problému,
- 2) určenie príslušných ekosystémov,

- 3) identifikácia a kvantifikovanie všetkých zdrojov problému,
- 4) stanovenie diagnózy na pochopenie vzťahov medzi problémom a zdrojmi,
- 5) určenie všetkých nástrojov potrebných na implementáciu riešenia problému,
- 6) implementácia vybraných riešení,
- 7) sledovanie procesu obnovy.

Ak sa zistí problém životného prostredia, je potrebné identifikovať a kvantifikovať problém a všetky zdroje problému. Vyžaduje to použitie analytických metód alebo monitorovacieho programu. Na vyriešenie problému je potrebné vypracovať jasnú a jednoznačnú diagnózu: **Aké sú problémy, ktorým ekosystémy skutočne čelia a aké sú vzťahy medzi zdrojmi a ich množstvami a hodnotenými problémami?** Alebo vyjadrené inak: **Do akej miery riešime problémy znížením alebo odstránením rôznych zdrojov problémov?** Vo väčšine prípadov je potrebný holistický integrovaný prístup, pretože problémy a zodpovedajúce ekologické zmeny v ekosystémoch sú najčastejšie veľmi zložité, najmä pri vzájomnom pôsobení viacerých environmentálnych problémov. Keď sa v polovici 60. rokov 20. storočia začala prvá zelená vlna, nástroje na zodpovedanie týchto otázok, ktoré dnes považujeme v kontexte environmentálneho manažérstva za veľmi zrejmé, ešte neboli vyvinuté. Mohli sme uskutočniť prvé tri body na vyššie uvedenom zozname, ale museli sme sa zastaviť v bode 4 a v tom čase sme mohli iba odporučiť úplné odstránenie zdroja alebo riešenie problému metódami, ktoré boli v tom čase k dispozícii, čo znamená environmentálna technológia na nižšej úrovni ako tá, ktorá existuje v súčasnosti. Z dôvodu vývoja niekoľkých nových ekologických subdisciplín je dnes možné dosiahnuť body 4–6. Balíky nástrojov, ktoré dnes môžeme aplikovať na uskutočnenie bodov 4–6, sú uvedené v nasledujúcich podkapitolách. Sú výsledkom vývoja šiestich (alebo dvakrát troch) nových ekologických subdisciplín pre lepšiu diagnostiku: ekologické modelovanie, ekologické indikátory, ekologické služby a nástroje na riešenie problémov: ekologické inžinierstvo (označované tiež ako ekotechnológia), čistejšia výroba a environmentálna legislatíva.

1.3 Balíky nástrojov dostupné v súčasnosti na vypracovanie ekologicko environmentálnej diagnózy

Začiatkom 70. rokov 20. storočia sa začalo s masívnym využívaním **ekologických modelov** ako nástroja environmentálneho manažérstva. Cieľom bolo odpovedať na otázku: **Aký je vzťah medzi znížením dopadov na ekosystémy a pozorovateľnými ekologickými zlepšeniami?** Odpoveď by bolo možné použiť na výber nástrojov na zníženie znečistenia, ktoré by spoločnosť

vyžadovala a ktoré by si mohla ekonomicky dovoliť. Ekologické modely boli vyvinuté už v 20. rokoch 20. storočia, ale v 70. rokoch sa začalo s ich omnoho dôslednejším využívaním. Bolo vyvinutých oveľa viac modelov rôznych ekosystémov a rôznych problémov so znečistením. V súčasnosti máme prakticky k dispozícii aspoň niekoľko modelov pre všetky kombinácie ekosystémov a problémov životného prostredia.

Ekologické modely sú mocnými manažérskymi nástrojmi, ale nevytvárajú (nevyvíjajú) sa ľahko. Vyžadujú vo väčšine prípadov kvalitné údaje, ktorých poskytnutie je náročné na zdroje a čas. Ak je zámerom manažmentu ekonomicky a environmentálne dôležitý projekt, je často veľmi výhodné vypracovať dobrý ekologicko-environmentálny model, ale ak je projekt malý, môže stačiť zvážiť iné riešenia.

Asi pred 30 rokmi bola preto navrhnutá iná skupina nástrojov, ktorá si na stanovenie diagnózy vyžadovala menej zdrojov, a to konkrétne **ekologické indikátory**. Ekologické indikátory (ukazovatele) možno klasifikovať podľa spektra od detailnejšieho alebo redukcionistického pohľadu po systémový alebo holistický. Redukcionistické ukazovatele môžu byť napríklad chemická zlúčenina, ktorá spôsobuje znečistenie, alebo konkrétny druh rastliny, živočícha, ktorý svojou prítomnosťou alebo neprítomnosťou upozorňuje na kvalitu ekosystému. Holistickým indikátorom môže byť napríklad termodynamická premenná (pracovná kapacita, sila, energia práce) alebo biodiverzita stanovená pre daný ekosystém. Indikátory možno merať alebo ich možno určiť pomocou modelu. V druhom prípade sa množstvo času samozrejme neznižuje, ale modely poskytujú jasnejší pohľad na jeden alebo viac vybraných indikátorov, ktoré najlepšie popisujú problémy. Okrem toho sú indikátory zvyčajne spojené s veľmi jasnými a konkrétnymi zdravotnými problémami ekosystémov, čo je samozrejme prospešné pre environmentálne manažérstvo.

Za posledných 20 až 25 rokov sa intenzívne diskutovalo o službách, ktoré ekosystémy ponúkajú spoločnosti a boli pokusy o výpočet ekonomickej hodnoty týchto služieb. Ľahko by sa dala vypracovať diagnóza, ktorá by sa zameriavala na služby zredukované alebo stratené z dôvodu problémov v životnom prostredí. Ďalšou možnosťou využitia **ekologických služieb** na hodnotenie environmentálnych problémov a ich dôsledkov by mohlo byť stanovenie ekonomických hodnôt celkových ekologických služieb ponúkaných ekosystémami a následné porovnanie s tým, čo je bežné pre daný typ ekosystémov. Jedným z návrhov je určenie hodnôt všetkých služieb ponúkaných rôznymi ekosystémami pomocou ekologického holistického ukazovateľa **eko-exergia**. Je to energia práce, vrátane energie práce informácií obsiahnutých v organizmoch ekosystémov. Vyjadruje celkovú energiu práce, ktorú ekosystémy ponúkajú každoročne. Je to dobrý ukazovateľ celkového množstva ekologických služieb ponúkaných

ekosystémami, pretože všetky služby vyžadujú určité množstvo energie, ktorá môže zabezpečiť prácu.

Hodnotenie ekosystémových služieb si často vyžaduje použitie ekologických indikátorov. Na indikátory nadväzuje použitie modelov, pomocou ktorých je možné hodnotiť zredukované alebo stratené ekologické služby ekosystémov. Inými slovami, tri balíky diagnostických nástrojov sú úzko prepojené a najkompletnejšiu diagnózu samozrejme poskytne použitie všetkých troch. Zdroje dostupné pre environmentálne manažérstvo sú však vždy obmedzené, čo znamená, že je ťažké použiť všetky tri sady nástrojov vo všetkých prípadoch, ale v mnohých prípadoch je potrebné urobiť výber. Ak je vyvinutý ekologický model, na to, aby bolo možné poskytnúť spoľahlivejšie prognózy, je samozrejme prirodzené aplikovať vyvinutý model a navyše môže byť užitočné zvoliť jeden alebo niekoľko indikátorov, ktoré sa budú konkrétnejšie zameriavať na dobre definovaný problém. Ak nie je k dispozícii model, ale je potrebné vypracovať monitorovací program, bolo by prirodzené nasmerovať pozorovania tak, aby zahŕňali premenné súvisiace so stavom, ktoré je možné použiť na hodnotenie ukazovateľov, ktoré úzko súvisia s definovanými problémami prostredia. Ak je spoločnosť závislá od konkrétnych ekologických služieb ekosystému, bolo by prirodzené posúdiť, do akej miery sú tieto služby udržiavané, zredukované alebo stratené, prípadne doplnené indikátormi, ktoré sú pre udržanie týchto služieb obzvlášť dôležité. Výber balíkov s nástrojmi je teda otázkou o dostupných zdrojoch a konkrétnom prípade a probléme.

1.4 Balíky nástrojov dostupné v súčasnosti na riešenie environmentálneho problému

Na riešenie problémov v oblasti životného prostredia v súčasnosti máme štyri balíky nástrojov:

- 1) environmentálna technológia,
- 2) ekologické inžinierstvo, označované tiež ako ekotechnológia,
- 3) čistejšia výroba, kde je možné zahrnúť aj priemyselnú ekológiu,
- 4) environmentálna legislatíva.

Všetky metódy boli zefektívnené a ich použitie je v súčasnosti všeobecne lacnejšie. Naliehavo však existuje potreba alternatívnych metód na riešenie celého spektra problémov životného prostredia za prijateľnú cenu. Environmentálne riadenie je dnes komplikovanejšie ako pred 55 rokmi kvôli mnohým ďalším súborom nástrojov, ktoré by sa mali použiť na identifikáciu optimálneho riešenia, a kvôli tomu, že sa objavili globálne a regionálne environmentálne problémy.

Environmentálna technológia bola jedinou metodickou disciplínou dostupnou na riešenie problémov životného prostredia pred 50 až 55 rokmi. Tento balík nástrojov dokáže vyriešiť problémy bodových zdrojov, ale nie vždy a pri veľmi vysokých nákladoch. V súčasnosti, čo je výhodou, máme ďalšie balíky nástrojov, ktoré dokážu vyriešiť problémy s rozptýleným znečistením alebo nájsť alternatívne riešenia s nižšími nákladmi tam, kde by bolo použitie environmentálnej technológie príliš drahé.

Skupina nástrojov obsahujúca metódy ekologického inžinierstva bola vyvinutá od konca 70. rokov 20. storočia. **Ekologické inžinierstvo** je definované ako návrh udržateľných ekosystémov, ktoré integrujú ľudskú spoločnosť s jej prírodným prostredím v prospech oboch. Jedná sa o inžiniersku disciplínu, ktorá funguje v ekosystémoch, čo znamená, že je založená na princípoch dizajnu, no zároveň aj na ekológii. Inými slovami, ekologické inžinierstvo je jedným z niekoľkých odvetví inžinierstva, ktoré zahŕňa prácu so živým materiálom.

S tým ako sa sprísnila právne predpisy v oblasti životného prostredia, bolo čoraz náročnejšie zaobchádzať s priemyselnými emisiami a priemysel samozrejme zvažoval, či je možné znížiť emisie inými metódami pri nižších nákladoch. To viedlo k rozvoju toho, čo sa nazýva **čistejšia výroba**, čo predstavuje myšlienku vyrábať ten istý výrobok pomocou novej metódy, ktorá by poskytla nižšie emisie, a teda nižšie náklady na spracovanie znečistenia. Nové výrobné metódy boli vyvinuté pomocou inovatívnej technológie, ktorá vytvorila úplne novú metódu výroby rovnakého výrobku s menšími dopadmi na životné prostredie. Ďalšie znižovanie emisií bolo vyvinuté použitím ekologických princípov v priemyselných procesoch, napríklad pri recyklácii a opätovnom použití materiálov. V mnohých prípadoch je tiež možné dosiahnuť zníženie environmentálnych problémov identifikáciou zbytočného odpadu. **Priemyselná ekológia** sa definuje ako použitie ekologických princípov vo výrobe, ako je recyklácia, opätovné použitie a holistické riešenia na dosiahnutie vysokej účinnosti pri všeobecnom využívaní zdrojov. Dnešná priemyselná ekológia sa však používa v zmysle využitia odpadu z jednej výroby do inej výroby. Niektorí dokonca používajú slovo priemyselná ekológia, keď sa stromy vysádzajú v priemyselných oblastiach, čo samozrejme nie je príliš inovatívne.

Niektoré environmentálne problémy v oblasti životného prostredia však nemožno vyriešiť bez prísnejších právnych predpisov v oblasti životného prostredia a v prípade niektorých problémov môže byť potrebná globálna dohoda na dosiahnutie správneho riešenia, napríklad postupným ukončením používania freónov na zastavenie alebo zníženie ničenia ozónovej vrstvy. Upozorňujeme tiež, že **environmentálna legislatíva** si vyžaduje ekologický pohľad na posúdenie požadovaného zníženia emisií, ktoré je potrebné zavedením environmentálnej legislatívy. Pokrytie právnych predpisov v oblasti životného prostredia možno najlepšie

ilustrovať na nasledujúcom prehľade rôznych právnych predpisov v oblasti životného prostredia:

- kvalita vzduchu,
- kvalita vody,
- nakladanie s odpadmi,
- čistenie životného prostredia,
- chemická bezpečnosť,
- vodné zdroje,
- minerálne zdroje,
- lesníctvo,
- ochrana prírody.

1.5 Sledovanie procesu obnovy

Environmentálne manažérstvo je kompletne, iba ak sa po aplikácii balíkov nástrojov environmentálny problém a ekosystém pozorne sleduje (monitoruje). Spravidla to nie je problém, pretože je to otázka sledovania prognóz:

- 1) prípadne zostrojeného ekologického modelu,
- 2) vybraných ekologických ukazovateľov,
- 3) obnovy ekologických služieb ekosystému (ktorá sa môže uskutočniť zameraním sa na konkrétnu službu alebo na hodnoty všetkých ekologických služieb ponúkaných ekosystémom).

1.6 Závery z integrovaného manažmentu životného prostredia

Na základe vyššie uvedeného prehľadu súčasného integrovaného environmentálneho manažérstva možno vyvodiť nasledovné závery:

- 1) Vykonajte všetkých sedem odporúčaných krokov pomocou holistického prístupu. Integrujte poznatky o problémoch, zapojených ekosystémoch a zdrojoch do vhodnej diagnózy a kombinácie metód riešenia na dosiahnutie optimálneho environmentálneho manažmentu. V tejto súvislosti je dôležitá dobrá znalosť ekológie systémov.
- 2) Odporúča sa zväziť použitie všetkých troch balíkov diagnostických nástrojov, avšak je potrebné použiť aspoň ten diagnostický nástroj, ktorý najviac zapadá do problému,

ekosystému a dostupných pozorovaní. Dobrá diagnóza je podstatným krokom v integrovanom manažmente.

- 3) Tri sady diagnostických nástrojov je možné použiť aj na sledovanie vývoja environmentálno-ekologického problému, ktorý je súčasťou procesu konečnej obnovy.
- 4) Ekoexergia – energia práce vrátane energie práce informácií – je užitočný ukazovateľ, pretože vyjadruje udržateľnosť, a tým celkové množstvo ekologických služieb ponúkaných ekosystémom.
- 5) Integrovaný environmentálny manažment založený na troch balíkoch diagnostických nástrojov a pri zohľadnení všetkých zdrojov problému môže vyžadovať použitie všetkých štyroch „*problém riešiacich*“ balíkov nástrojov:
 - a) environmentálna technológia,
 - b) ekotechnológia,
 - c) čistejšia technológia vrátane priemyselnej ekológie,
 - d) environmentálna legislatíva.

Kombinácia (integrované použitie) 4 balíkov nástrojov na riešenie environmentálnych problémov bude často schopná ponúknuť najlepšie a najmenej nákladné riešenie. Moderný integrovaný environmentálny manažment si vyžaduje použitie predstavených nástrojov, čo by nebolo možné, ak by sa tieto nástroje nevyvinuli v dôsledku nedávno vznikajúcich ekologických disciplín: ekologické modelovanie, ekologické inžinierstvo, aplikácia ekologických ukazovateľov, čistejšie technológie a priemyselná ekológia. Tieto ekologické disciplíny sú preto rozhodujúce pre dnešné environmentálne manažérstvo a tvoria rozhodujúci most medzi ekológiou a environmentálnym manažmentom – medzi základnou vedou o ekológii a jej aplikáciou v praktickom environmentálnom manažmente. Tento koncepčný most symbolizuje úzku a integrovanú spoluprácu medzi ekologickými disciplínami a environmentálnym manažérstvom v súčasnosti.

2 Definovanie problému

2.1 Klasifikácia environmentálnych problémov

Tradičná klasifikácia problémov životného prostredia z pohľadu environmentálneho manažérstva označuje sféru, ktorej sa environmentálny problém dotýka. Často ide o otázku typu: ... je to problém s vodou (týka sa to hydrosféry)? ... je to problém so znečistením ovzdušia (týka sa to aj atmosféry)? ... prípadne ide o problém zemskej kôry (týka sa to litosféry)? Táto tradičná klasifikácia sa stále často používa, ale je možné pridať päť nových tém, na ktoré sa v súčasnosti kladie osobitný dôraz:

- **poľnohospodárstvo:** mnoho doposiaľ nevyriešených problémov v oblasti životného prostredia má pôvod v aktivitách súvisiacich s poľnohospodárskou praxou, napr. nízka diverzifikácia výroby na danom území a s tým spojená nízka biodiverzita a pod.
- **energia:** problémy životného prostredia spojené s intenzívnym používaním energie sa považujú za mimoriadne dôležité pre našu budúcnosť. Intenzita využívania fosílnych palív nemôže takto dlhodobo pokračovať. Fosílna palivá sú neobnoviteľné zdroje, ktoré sa môžu vyčerpať a spôsobujú obrovské emisie skleníkových plynov, ktoré ovplyvňujú klímu.
- **toxikologické/ekotoxikologické problémy:** problémy vyplývajúce z nedostatočnej kontroly nad emisiami toxických látok v životnom prostredí.
- **všeobecné:** problémy týkajúce sa viacerých sfér, často všetkých troch vyššie uvedených sfér, napr. používanie neobnoviteľných zdrojov, negatívny dopad na ich ťažbu a spracovávanie a intenzita ich využitia v mnohých oblastiach ľudskej činnosti.
- **globálne:** problémy, ktoré majú globálny rozsah. Typickým príkladom je skleníkový efekt alebo poškodenie ozónovej vrstvy.

2.2 Udržateľný rozvoj a ekologická udržateľnosť

Všetky typy prostredí na celom svete sú ohrozené v dôsledku znečistenia, nadmernej exploatacie a vplyvov zmeny podnebia, ktoré zvyšujú povedomie o intenzívnom vplyve človeka na fungovanie ekosystému. V dôsledku toho existuje dobre identifikovaná potreba prístupov k udržaniu a v prípade potreby k obnove ekosystémov. Približne pred 30 rokmi sa objavila myšlienka udržateľného rozvoja, ale neexistuje dohoda, pokiaľ ide o presné pochopenie a definíciu tohto pojmu medzi vedcami z rôznych odborov. „Rozvoj, ktorý uspokojuje súčasné potreby bez toho, aby bola ohrozená možnosť uspokojenia potrieb budúcich

generácií,“ je pravdepodobne najbežnejšie prijatou definíciou udržateľného rozvoja, ale táto definícia je pomerne vágna a nefunkčná. V skutočnosti je na uplatnenie koncepcie potrebná ďalšia kvantifikácia z vedeckého, kultúrneho a sociálno-ekonomického hľadiska a je tiež potrebné vziať do úvahy čas, vzťahy a biofyzikálne limity.

Napriek skutočnosti, že udržateľný rozvoj sa stal kľúčovou výzvou, spôsob interakcie ľudskej spoločnosti s rôznymi potrebnými živými a neživými prírodnými zdrojmi, ktoré sa nazývajú prírodný kapitál, je mierne povedané kontroverzný. V zásade existujú dva hlavné nepochybné protikladné pohľady týkajúce sa mysliteľného praktického významu udržateľnosti: slabá a silná udržateľnosť. Slabá udržateľnosť pripúšťa, že blahobyt človeka musí pokračovať v medzigeneračnom časovom horizonte, keďže prírodný kapitál a kapitál vytvorený človekom je možné vzájomne premieňať v rámci konkrétnych výrobných procesov. Následkom toho slabá udržateľnosť akceptuje aj možnosť vyčerpania prírodného kapitálu, pokiaľ jeho požiadavka nebude mať tendenciu časom klesať. Silná udržateľnosť naopak zahŕňa vzájomnú závislosť medzi prírodným a ľudským kapitálom, za predpokladu, že je potrebné z dlhodobého hľadiska zachovať celú zásobu prírodného kapitálu pre súčasné a budúce generácie, a preto musí ľudská spoločnosť udržiavať každý typ kapitálu nedotknutý. Napriek týmto protichodným perspektívam skutočnosť, že ľudia a ich kultúrna rozmanitosť sú považovaní za neoddeliteľnú súčasť ekosystémov a povedomie o predvídateľných rizikách vyplývajúcich z vážneho zhoršenia životného prostredia na celom svete si vynútili zahrnutie ekologickej udržateľnosti do medzinárodných programov.

Zachovanie životného prostredia a prírodných zdrojov môže byť nekompatibilné (konfliktné) s našou súčasnou ekonomickou paradigmou, a preto sa vzťahy stávajú rozhodujúcim záujmom. Efektívne alokovanie zdrojov v skutočnosti často nie je zohľadnené ekonomickými nástrojmi, ktoré majú tendenciu brať do úvahy iba problémy priamo riadené trhom, zatiaľ čo vzťahy naznačujú vzájomnú závislosť a následne potrebu určiť, v akom rozsahu (regionálnom, národnom atď.) sú rozličné aspekty navzájom závislé.

Ľudská populácia nemôže ľahko uspokojiť svoje potreby v oblasti materiálov, energie, pôdy, ukladania odpadov a informácií z miestnych zdrojov, a preto je potrebné zohľadniť biofyzikálne limity. Koncepcia „kritického prírodného kapitálu“ vyvinutá medzi „slabou“ a „silnou“ perspektívou udržateľnosti odráža túto evidentnú skutočnosť. Kritický prírodný kapitál možno potom považovať za súčasť prírodného kapitálu, ktorý plní významné a jedinečné environmentálne funkcie, čím zaisťuje ekosystémové služby, ktoré nemôžu byť nahradené inými druhmi kapitálu. V skutočnosti, najmä v posledných storočiach, bol spoločenský rozvoj poháňaný väčšinou obmedzenými neobnoviteľnými zdrojmi a takéto

vnímanie vyjadruje všeobecnú akceptáciu, že na dosiahnutie udržateľnosti životného prostredia a udržateľného rozvoja je potrebné udržiavať kritický prírodný kapitál.

Hodnotenie prírodného kapitálu sa vyžaduje najmenej v šiestich doménach: sociokultúrna, ekologická, udržateľná, etická, ekonomická a prežitie človeka. Udržateľné environmentálne manažérstvo je navyše možné dosiahnuť iba ak sú možnosti a prijaté kroky environmentálne a ekologicky udržateľné, ekonomicky realistické, technologicky uskutočniteľné, spoločensky žiaduce alebo aspoň sociálne prijateľné, administratívne zvládnuteľné, právne prípustné a politicky vhodné.

Prírodné a sociálne aspekty ekosystémov sú úzko prepojené, čo sa odráža v „*Ekosystémovom prístupe*“ v presnom zmysle slova (napr. Dohovor o biologickej diverzite). Napríklad obnova životného prostredia, ktorá je v dnešnej dobe rozhodujúca, zahŕňa riešenie zložitých problémov, ako sú

- a) strata druhovej rozmanitosti, biotopov a zníženie heterogenity a veľkosti biotopov,
- b) zmeny dynamiky a priestorového rozloženia mnohých druhov, ako aj zníženie ich populácie,
- c) fragmentácia biotopov a súvisiace zvýšenie zraniteľnosti zostávajúcich izolovaných plôch,
- d) zníženie ekonomicky významných služieb a tovarov prirodzene ponúkaných ekosystémami.

V súčasnosti sa z ekologického hľadiska zdravie ekosystémov často hodnotí na základe hojného výskytu malého množstva nápadných (alebo dokonca charizmatických) druhov organizmov, konkrétne vtákov, rýb a morských cicavcov. Slabiny takéhoto prístupu sú zjavné, pretože mechanizmy, ktoré sú základom časových alebo priestorových variácií početnosti, sú často zle pochopené a spôsob akým zmeny týchto druhov ovplyvňujú ekosystémy ako celok zriedka riešené. Napríklad manažment založený na odolnosti ekosystému predstavuje preto inovatívny a vhodný prístup k morským a pobrežným ekosystémom, najmä ak sa uplatňuje na rybolov, ktorý poskytuje presun zo zamerania sa na ochranu cieľových druhov, často komerčne dôležitých, k aktívnemu riadeniu funkčných skupín podporujúcich kritické procesy a údržbu ekosystémových služieb. Toto zameranie na funkčné skupiny predpokladá dôležitosť interakcie druhov a ekologických úloh (vrátane úloh človeka) pri udržiavaní odolnosti ekosystémov prostredníctvom priestorových a časových mierok, čo predstavuje jasnú zmenu perspektívy.

2.3 Ekologické definície niektorých dôležitých konceptov

V nasledujúcich riadkoch sa zameriavame na definovanie štyroch dôležitých konceptov z pohľadu ekológie.

- 1) **rezistencia** – schopnosť odolávať pôsobeniu rušivého vplyvu (dochádza k minimálnej zmene). Definuje sa aj ako **kapacita systému tolerovať stresory**.
- 2) **senzitivita** (na vonkajšie zmeny) – opak rezistencie
- 3) **reziliencia** (pružnosť) – **schopnosť vrátiť sa do normálu**, teda východiskového stavu, resp. na pôvodnú vývojovú trajektóriu po prípadnej zmene alebo poruchách. Táto koncepcia sa zameriava na **schopnosť systémov zotaviť sa po poruchách**. Dá sa kvantifikovať ako zmena systému spôsobená narušením vydelená časom potrebným na zotavenie.
- 4) **udržateľnosť** – zdroje systému sa udržiavajú nezmenené. Pokiaľ ide o ekosystémy, ekosystémové služby ponúkané ich živým zložkám alebo ľuďstvu musia zostať nezmenené, aby znamenali udržateľný ekosystém. Je možné rozlišovať medzi obnoviteľnými a neobnoviteľnými zdrojmi. Vzhľadom k tomu, že ľudská spoločnosť nepoužíva 100 % recykláciu, nie je možné udržiavať neobnoviteľné zdroje nezmenené. V takom prípade bude spoločnosť označená za udržateľnú, ak sa neobnoviteľné zdroje využijú v miere, ktorá umožňuje nájsť ich náhradu. Nezmenené obnoviteľné zdroje znamenajú, že obnoviteľné zdroje nemôžu byť použité v miere presahujúcej rýchlosť, v ktorej sú vytvárané, resp. obnovované.

Aký je očakávaný vzťah medzi ekologickou rezilienciou a kritickým prírodným kapitálom? Zjednodušene sa predpokladá, že stupeň ekologickej odolnosti ekosystému je nepriamo úmerný jeho stupňu ohrozenia, a preto je poznanie informácií o ekologickej odolnosti a efektívnosti systému nevyhnutným predpokladom na posúdenie, či ekosystém dosiahne kritický stav ako odpoveď na environmentálne stresory. Kritický stav týkajúci sa prírodného kapitálu sa teda zhoduje s mierou degradácie životného prostredia, ktorá presahuje prahovú hodnotu, za ktorú nie je možné podporiť súčasnú úroveň sociálneho zabezpečenia. Takáto ekologická kritickosť sa preto javí ako najdôležitejšia pre údržbu ekosystémových služieb a tovarov a pre udržateľné využívanie ich prírodného kapitálu.

Ekosystémy a ich pozmenenie ako funkcia ľudských stresových faktorov (napr. nadmerný rybolov alebo znečistenie) musia byť hodnotené z pohľadu ich nosnej kapacity a jej straty spôsobených stresom. Nosná kapacita je koncept pôvodne definovaný ako maximálny počet jedincov populácie daného druhu, ktorých môže dané prostredie (stanovište) udržať (uživiť)

bez významných negatívnych dopadov na túto populáciu a dané prostredie. Táto definícia je iba ekologická a úplne nezachytáva viacvrstvové procesy vzťahov medzi človekom a prostredím, ktoré majú tekutú a nerovnovážnu povahu a možno zanedbáva vplyv vonkajších síl na zmenu životného prostredia. Niektorí odborníci uvádzajú, že nosná kapacita musí súvisieť aj so sociálnymi a ekonomickými aspektmi ekosystémov, pričom treba brať do úvahy stupeň ľudských aktivít a antropogénny tlak, ktorý môže ekosystém tolerovať, skôr ako dôjde k nežiaducim zmenám. To znamená, že treba počítať s tým, že vzťah ľudí k prostrediu je v zásade zložitejší ako vzťah iných druhov k ich prostrediu. Ľudia sú v skutočnosti schopní upraviť typ a stupeň ich vplyvu na svoje prostredie, napríklad zvýšením rybolovu, použitím intenzívnejších chovateľských techník v rámci akvakultúry, keď je vymedzená oblasť ponechaná bez produktívnych činností alebo keď sa zníži konzum (spotreba). Ľudia môžu znížiť produktivitu životného prostredia nenávratne, resp. radikálne zabráť alebo transformovať priestor. Mnoho druhov teda môže upraviť nosnú kapacitu svojich systémov, ale keďže iba ľudia môžu manipulovať s ekosystémami v takej obrovskej miere, musí sa koncepcia únosnosti rozšíriť tak, aby zahŕňala aj socioekonomické aspekty.

Akým spôsobom je možné tento súbor teoretických konceptov aplikovať na rôzne prostredia, ktorých manažment zahŕňa toľko využítí a používateľov, sektorové záujmy a typov správy? Ako sa môžeme rozhodnúť, napríklad pre obnovu alebo udržateľné využitie konkrétneho ekosystému, ktorý bude najlepším možným spôsobom riadenia v mnohých hnacích silách, ktoré môžu byť v rozpore? Manažmentové riešenia vyžadujú, aby sme sa dokázali orientovať v takejto komplexnosti viac úrovňových (viac užívateľských, resp. viac odvetvových) systémov. Skupina vedcov navrhla použitie koncepčného poradenského nástroja – trojuholník (trojhran) ekologickej udržateľnosti (TEU), ktorý by mohol byť prípadne užitočný ako akýsi kompas na zabezpečenie orientácie v procese budovania a testovania manažmentových scenárov s cieľom priblížiť problémy životného prostredia. Tento návrh bol založený na výskume morského pobrežia a ústí riek, ale zdá sa, že je uplatniteľný aj v iných oblastiach. Všeobecne sa uznáva, že environmentálne problémy majú vnútornú (prirodzenú) komplexnosť a že úzko súvisia s vývojom ľudskej spoločnosti. V dôsledku toho si možné riešenia problémov životného prostredia vždy vyžadujú zohľadnenie rôznych hľadísk, často vyjadrujúcich protichodné vnímanie viacerých sektorov, využítí a používateľov.

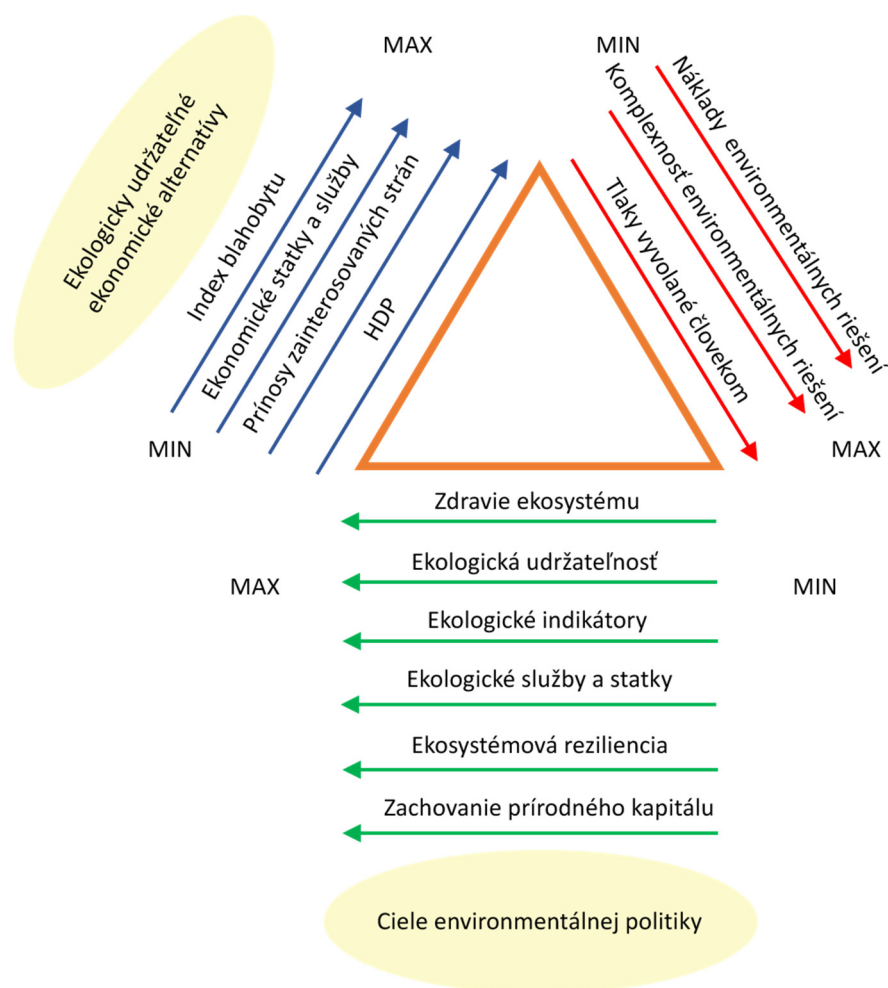
Schopnosť dosiahnuť ekologickú udržateľnosť a udržateľný rozvoj (morských ekosystémov a ústí riek) predstavuje zložitú veľkú výzvu a závisí od mnohých hnacích síl, ktoré sú často navzájom v rozpore. Existujú najmä tri **hnacie sily**:

- 1) hľadanie blahobytu a dobrých životných podmienok ľudí a udržiavanie ľudského zdravia a bezpečnosti,
- 2) pokúšanie sa o udržiavanie ekologickej udržateľnosti a environmentálnej rovnováhy,
- 3) tolerancia, resp. odolnosť (reziliencia) systémov voči rastúcemu tlaku, ktorý je výsledkom veľkosti populácie a dopytu po vytváraní bohatstva.

Aj keď to vyžaduje ďalšie testovanie, TEU nám umožňuje riešiť tieto tri hlavné faktory a opísať naše správanie, energetiku (ekonomiku) a dynamiku prostredníctvom ekologickej teórie.

Je potrebné predpokladať, že výskum by mal pokrývať tieto tri pohľady a súčasne plniť ciele vytvárania vedomostí a bohatstva a zlepšovania kvality života. Hľadanie ľudského blahobytu z hľadiska riadenia sa často vzťahuje k hrubému domácomu produktu (HDP) alebo výhodám pre zúčastnené strany, ktoré by sa v konečnom dôsledku mohli vyjadriť pomocou nejakých ukazovateľov ako sú indexy blahobytu (obrázok 1). Priamym spoločenským cieľom je maximalizovať ekonomické statky a služby a súčasne do istej miery chrániť ekologické statky a služby, prinajmenšom aby sa zabránilo obviňovaniu podnikov z poškodzovania týchto statkov a služieb alebo zabráneniu tomu, aby boli krajiny vystavené konaniu o porušení právnych predpisov pre nesplnenie pravidiel upravených v spoločných právnych predpisoch, ako je to v prípade smerníc Európskej únie.

Súbor dostupných nástrojov na hodnotenie environmentálnej integrity (napr. Indexy kvality životného prostredia) je rozsiahly, aj keď pravdepodobne ani jeden z týchto nástrojov nie je úplne vhodný. Hodnota integrovaných prístupov však bola ilustrovaná, najmä na príkladoch, kde DPSIR metodiku je možné spojiť s vybranými indikátormi. Okrem toho, nový záujem o definovanie, meranie a ochranu ekosystémových tovarov a služieb vznikol na základe uznania, že ekonomická prosperita závisí od fungovania ekosystému a že je ohrozených veľa prírodných ekosystémov.



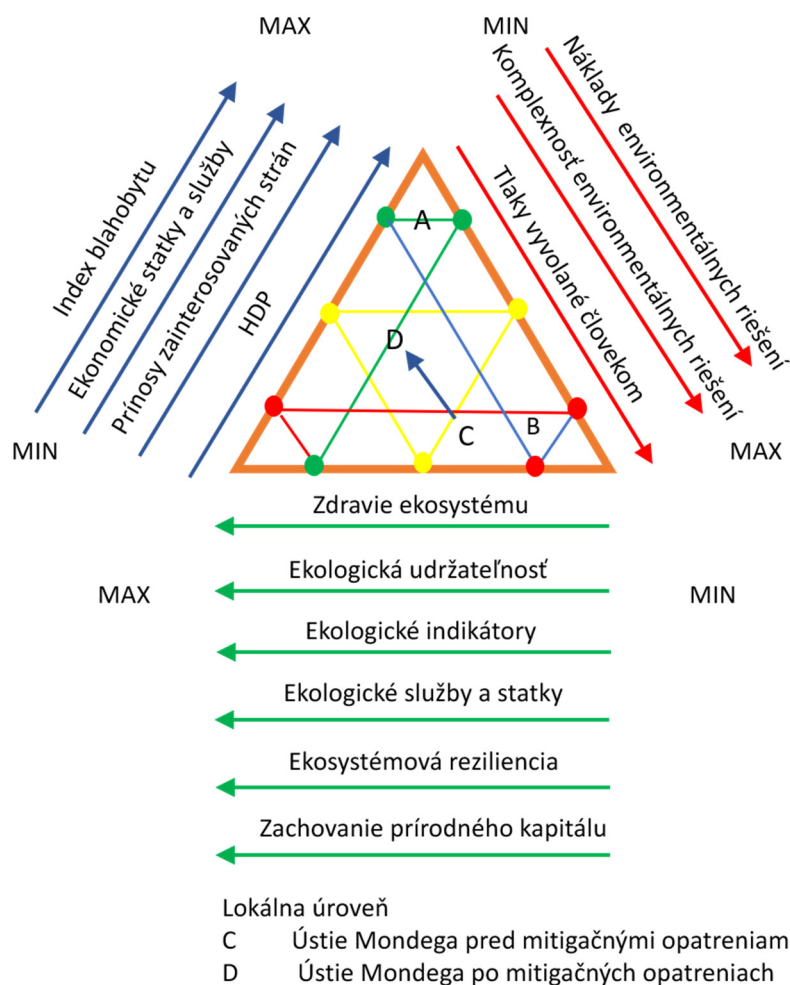
Obr. 1 Trojuholník ilustrujúci očakávané trendy a vzťahy medzi premennými, u ktorých sa predpokladá, že súvisia s ekologickou udržateľnosťou, blahobytom človeka a tlakmi vyvolanými človekom.

Legenda: Spodná a ľavá os naznačujú, ako musí byť správa a spoločenské systémy spojené s environmentálnym manažmentom, konkrétne prostredníctvom definovania politických cieľov a výberu alternatív ekologicky udržateľného hospodárstva, aby sa zvýšila pravdepodobnosť prechodu z minima (MIN) v smere maxima (MAX), ktoré predstavuje cieľ. Pravá os ukazuje, ako zvyšujúce sa ľudské tlaky určujúce nepriaznivé dôsledky na ďalšie dve osi od MIN (najlepší scenár) po MAX (najhorší scenár) nevyhnutne podmieňujú tieto dve osi spôsobujúce nepriaznivé dôsledky (Zelená – dobrá; červená – zlá.)

Tlak ľudskej populácie sa zvyšuje v dôsledku populačného rastu a súvisiacej vyššej spotreby zdrojov a znečistenia súvisiaceho so snahou uspokojiť kumulatívne ľudské potreby. Zložitosť, náročnosť a vnútorné náklady na riešenia nevyhnutné na riešenie environmentálnych problémov spôsobených takýmto tlakom sa postupne zvyšovali (obrázok 1). Tu sa predpokladá, že ekologická udržateľnosť predstavuje hlavný cieľ ľudskej spoločnosti, čo sa odráža v medzinárodných dohodách prijatých väčšinou krajín (napr. Dohovor o biologickej diverzite)

a schválených národných zákonoch. Napriek tomu na súčasnej úrovni veľkosti ľudskej populácie a s tým spojeného environmentálneho tlaku nie je koncepčne možné maximalizovať súčasne ekologickú udržateľnosť a výhody pre zúčastnené strany. Z koncepčného hľadiska by bolo nakoniec možné maximalizovať ekologickú udržateľnosť v situácii extrémne veľkej ľudskej populácie, čo by však malo za následok značne nízku úroveň blahobytu človeka. Samozrejme, v krátkodobom horizonte môžeme zvážiť maximalizáciu prínosov zainteresovaných strán a environmentálnych antropogénnych tlakov, ale iba ak sa zriekneme cieľa ekologickej udržateľnosti, ktorý z dlhodobého hľadiska ohrozí budúcnosť. Zdá sa byť zrejmé, že neexistuje nijaký predstaviteľný scenár, ktorý by umožňoval súčasne maximalizovať ekologicky udržateľné riešenia pre ľudský rozvoj, hľadanie blahobytu človeka a environmentálne tlaky vyvolané človekom, aj keď kompromis medzi nimi by mohol byť koncepčne možný. Takýto kompromis predstavuje trojuholník (trojhran) ekologickej udržateľnosti - TEU.

Na úrovni krajiny by napríklad Švédsko – malá a bohatá populácia s dobrou správou ekosystémov, malými environmentálnymi problémami a vysokou spôsobilosťou riešiť tieto problémy – bolo umiestnené približne na pozícii A. Naopak, Bangladéš vrátane mangrovových oblastí Sunderbans, ktorý má veľkú populáciu a vysoký ľudský stres, zlé financovanie a zle štruktúrované systémy riadenia na vykonávanie uznesení, veľké tlaky na ekosystémy a riešenia takmer ekologicky nezmyselné, ktoré narúšajú blahobyt obyvateľstva, by mohol byť približne v polohe B. Na miestnej úrovni, v dôsledku uplatnenia niektorých zmierňovacích a ozdravovacích opatrení zameraných na riešenie problémov s eutrofizáciou, ústie Mondega na západnom pobreží Portugalska preukázalo zlepšenie stavu svojej ekologickej kvality, a pozitívny vývoj regulačných a kultúrnych ekosystémových služieb, ktorý do istej miery vedie k zvýšeniu výhod zainteresovaných strán. To zhruba zodpovedalo postupnému vývoju od polohy C do polohy D od polovice 90. rokov po súčasnosť (obrázok 2).



Obr. 2 Navrhované použitie TEU pri zostavovaní a analyzovaní manažmentových scenárov: Analýza očakávaných variácií a vzťahov rôznych ukazovateľov a premenných korelovaných s ekologickou udržateľnosťou, blahobytom človeka a tlakmi vyvolanými človekom (zelená – najlepší scenár; červená – najhorší scenár; žltá – prijateľný scenár)

Dva klasické príklady v celoštátnom meradle a tretí v miestnom meradle ilustrujú, ako môže TEU pomôcť rozhodovacím orgánom pri identifikácii väzieb medzi hybnými silami a pri rozhodovaní o najlepších možnostiach manažmentu, ktoré by umožnili akémukoľvek systému priblíženie k optimálnemu stavu v trojuholníku. Nezávisle od rozsahu scenára manažmentu, ktorý by sme chceli vytvoriť, sa TEU v zásade môže používať ako koncepčný vodiaci nástroj, ktorý predstavuje jednu z jeho najzaujímavejších vlastností. Je zrejmé, že musíme akceptovať, že určité veci sa dajú zvládnuť a iné nie, a preto je potrebné urobiť kompetentné rozhodnutia. Pokiaľ ide o také voľby, TEU môže predstavovať užitočný intuitívny nástroj. Napríklad Bangladéš, prinajmenšom z krátkodobého hľadiska, nemôže meniť svoju populáciu a ľudský tlak, ale kontrola a manažment životného prostredia by sa nakoniec mohli zlepšiť. Podobne v lokálnej mierke environmentálneho manažmentu je možné niektoré tlaky zvládnuť, napríklad

v ústí Mondega, kde zmierňujúce opatrenia zahŕňali zmenu vypúšťania znečisťujúcich látok z bodového zdroja, čo umožňuje zníženie rozsahu eutrofizácie v oblastiach ústia, hoci všeobecnú eutrofickú situáciu v povodí ešte nebolo možné vyriešiť. Avšak zmena podnebia ako „exogénny neriadený tlak“ je príkladom niečoho, čo sa nedá zvládnuť. V skutočnosti ďaleko od zvládnutia, miestni manažéri môžu iba reagovať na jeho následky.

Návrh TEU predstavuje predbežný a intuitívny pohľad, ktorý si vyžaduje ďalšie testovanie a diskusiu. V skutočnosti je počet premenných, ktoré je potrebné zohľadniť pri zostavovaní manažmentových scenárov často veľmi vysoký, ako aj neistoty týkajúce sa ich vzťahov a trendov. Hlavný problém spočíva v porozumení toho, do akej miery sú interakcie medzi danými ekonomickými a ekologickými systémami udržateľné, čo zahŕňa prierezové, medzikultúrne a medzidisciplinárne základné otázky, vyžadujúce inovatívne prístupy vo výskume, politike a budovaní sociálnych inštitúcií.

3 Zdroje a účinky znečisťovania

Znečistenie je definované ako vnášanie kontaminantov do prírodného prostredia, ktoré spôsobujú nepriaznivé a nežiaduce zmeny v ekosystémoch. Znečistením môžu byť buď hmota, ako chemické látky, alebo energia, ako napríklad hluk, teplo alebo svetlo. Polutanty, teda zložky znečistenia, môžu byť kontrolované človekom – to znamená v dôsledku našich aktivít – alebo prirodzene sa vyskytujúce znečisťujúce látky spôsobené prírodnými javmi, napríklad výbuchom sopky.

Vplyv na životné prostredie je spôsobený hlavne tromi faktormi: zvyšujúcim sa počtom obyvateľov, zvyšujúcou sa spotrebou a výrobou a používaním technológií, ktoré môžu v závislosti od technológie zvyšovať alebo znižovať vplyv.

Existujú bodové a nebodové (rozptýlené) zdroje znečistenia. Je veľmi dôležité ich rozlišovať, pretože tieto dva zdroje si vo väčšine prípadov budú vyžadovať odlišné balíky nástrojov. Environmentálna technológia je vyvinutá na riešenie znečistenia bodovými zdrojmi a vo väčšine prípadov nebude použiteľná na znečisťovanie iným spôsobom, zatiaľ čo ekologické inžinierstvo je lepšie schopné zvládnuť nebodové znečistenie. Bodové zdroje znečistenia pochádzajú zo špecifických, lokálnych a identifikovateľných zdrojov, ako sú kanalizačné potrubia, priemyselné komíny, vypúšťanie odpadových vôd z priemyslu, voda vypúšťaná z čistiarní odpadových vôd, popol zo spaľovne tuhých odpadov a pod. Nebodové zdroje znečistenia pochádzajú z rozptýlených alebo z neobsiahnuteľných zdrojov, ako sú kontaminovaná voda opúšťajúca mestské zóny, znečistenie odtokovou vodou obsahujúcou pesticídy a živiny z poľnohospodárstva alebo automobilové emisie.

Dokážeme identifikovať 13 foriem hlavných zdrojov znečistenia:

1. Medzi bežné plynné znečisťujúce látky patrí oxid uhoľnatý, oxid siričitý, chlórfluórované uhl'ovodíky (CFC) a oxidy dusíka produkované priemyselnými odvetviami, elektrárnami a motorovými vozidlami.
2. Fotochemický ozón a smog vznikajú, keď oxidy dusíka a uhl'ovodíky reagujú so slnečným žiarením. Zdrojmi sú priemysel a vozidlá.
3. Tuhé častice alebo jemný prach, ktoré sa definujú veľkosťou, kontaminujú atmosféru a zhoršujú kvalitu ovzdušia.
4. Svetelné znečistenie zahŕňa nadmerné osvetlenie, používanie laserov a astronomické rušenie.
5. Hlukové znečistenie zahŕňa hluk na ceste, hluk lietadla, priemyselný hluk, ako aj vysoko intenzívny sonar.

6. Rádioaktívna kontaminácia vzniká v dôsledku výroby jadrovej energie a výskumu jadrových zbraní, výroby a rozmiestnenia zbraní a z používania rádioaktívnych izotopov.
7. Tepelné znečistenie je zmena teploty v prírodných vodných útvaroch spôsobené hlavne používaním vody ako chladiacej kvapaliny v elektrárni.
8. Ku kontaminácii pôdy dochádza, keď sa chemikálie uvoľňujú rozliatím alebo únikom do podzemných vôd.
9. Vizuálne znečistenie, ktoré môže odkazovať na prítomnosť nadzemného elektrického vedenia, diaľničné billboardy, zjazvený terén z povrchovej ťažby, otvorené skládky odpadu, odhadzovanie odpadu. Dalo by sa pomenovať aj ako znečistenie krajiny.
10. Znečistenie vody organickými látkami, ktoré spôsobuje vyčerpanie kyslíka hlavne biologickým rozkladom organickej hmoty. Toto znečistenie je výsledkom dvoch zdrojov: nebodové zdroje (odtoková voda z poľnohospodárstva a dažďová voda) a nedostatočne vyčistená odpadová voda.
11. Znečistenie vodných ekosystémov (povrchových vôd) živinami spôsobujúcimi eutrofizáciu. Živiny spôsobujú rozsiahly rast rias (alebo iných rastlín), ktoré znižujú priehľadnosť vody vyčerpávajú kyslík pri dne. Toto znečistenie je výsledkom hlavne dvoch zdrojov (ako v predchádzajúcom bode): nebodové zdroje (poľnohospodárske odtokové vody a dažďové vody) alebo nedostatočne vyčistené odpadové vody.
12. Znečistenie podzemných vôd spôsobené vyplavovaním živín a toxických látok do podzemných vôd. Toto znečistenie je často výsledkom nekontrolovaného používania hnojív a pesticídov v poľnohospodárskej výrobe.
13. Znečistenie toxickými látkami, ktoré môže mať nepriaznivé účinky na všetky sféry.

V súlade s navrhovaným postupom v environmentálnom manažmente (kapitola 1) je dôležité kvantifikovať všetky možné zdroje znečisťovania. Kvantifikácia je kľúčom, pretože iba na základe znalosti množstiev všetkých zdrojov môžeme pomocou diagnostických nástrojov nájsť zdroje, ktoré je potrebné odstrániť alebo obmedziť, aby sme získali potrebné a požadované zníženie dopadu. Na určenie množstva rôznych zdrojov znečistenia sa často používajú princípy zachovania hmoty. Od emisií v mieste vypúšťania až po vplyv na ekosystém mohli niektoré procesy zmeniť koncentrácie a množstvá znečisťujúcich zložiek. Napríklad od emisie plynov z komína po ich usadzovanie (imisie) v ekosystéme mohlo dôjsť k chemickým transformáciám a procesom riedenia.

Počas posledných niekoľkých desaťročí sme pozorovali výrazný nárast znečistenia. Koncentrácie mnohých toxických látok sa zvýšili v pôde, vode a biosfére. V mnohých riekach bolo zaznamenané vyčerpanie kyslíka a mnoho vodných ekosystémov trpí eutrofizáciou s vysokými koncentraciami dusíka a fosforu. Čo spôsobilo tento takmer náhly nárast znečistenia? Odpoveď nie je jednoduchá, ale Ehrlich a Raven (1969) navrhli surový model. Tvrdia, že **celkový vplyv na životné prostredie** *I (impact)* je určený hlavne tromi multiplikačnými faktormi: veľkosť populácie (*P*), spotreba na obyvateľa (*C*) (*consumption*) a vplyv na životné prostredie na jednotku spotreby, ktorý je závislý na technológii (*T*):

$$I = P \times C \times T$$

Je pochopiteľné, že vplyv je úmerný veľkosti populácie, pretože dvojnásobný počet ľudí s rovnakou spotrebou a technológiou samozrejme spôsobí dvakrát väčší vplyv. Podobne, ak spotrebujeme a vyrobíme dvakrát toľko, bude vplyv nevyhnutne dvakrát väčší. Faktor *T* je ťažšie určiť, pretože na jednej strane napríklad technologický vývoj vedúci k výrobe škodlivejších chemikálií zvyšuje dopad, zatiaľ čo rozvoj väčšej recyklácie a opätovného použitia povedie k menšiemu dopadu. Napríklad rozvoj obnoviteľnej energie zníži emisie oxidu uhličitého a tým zníži celkový dopad. Počet obyvateľov sa od roku 1960 zvýšil 2,6-násobne, z 3 na 7,8 miliárd. Svetový hrubý národný produkt na obyvateľa, ktorý odráža spotrebu a produkciu, sa od roku 1960 zvýšil približne 2,5-násobne. Znamená to, že globálny vplyv sa od roku 1960 zvýšil asi 5-násobne (za predpokladu, že technológia sa nezmenila. Dnes vyrábame viac škodlivých chemikálií ako pred 50 rokmi, ale vyvinuli sme tiež technológiu, ktorá menej znečisťuje, využíva menej materiálov (dematerializácia) a viac recykluje.

„**Dematerializácia**“ sa týka procesu znižovania spotreby materiálu a energie na jednotku hrubého domáceho produktu. To má ekonomický zmysel, pretože menšie výdavky na vstupy môžu zvýšiť ziskové marže, lacnejšie výstupy, a teda sú konkurencieschopnejšie. Dematerializácia je vhodná pre životné prostredie. Ak spotrebitelia dematerializujú svoju intenzitu používania tovaru a technici vyrábajú tovar s nižšou intenzitou vplyvu, ľudia môžu rásť v početnosti a blahobyte bez proporcionálne väčšieho vplyvu na životné prostredie. Dematerializácia je vítanou správou pre tých, ktorí sa obávajú dostupnosti zdrojov pre rastúcu svetovú populáciu. Dematerializácia umožní budúcim generáciám, aby boli lepšími správcami našej planéty a zároveň si naďalej užívali stále sa zlepšujúce tovary a služby.

Nie je ľahké dosiahnuť úplné pochopenie všetkých účinkov znečistenia, pretože sú zložité a väčšina problémov so znečistením má niekoľko možných účinkov, ktoré sú vzájomne ovplyvňujúce sa a platné súčasne. Diagnostické nástroje môžu v tejto súvislosti pomôcť

na poskytnutie prehľadu problémov znečisťovania a ich účinkov. Najskôr je možné ako kontrolný zoznam použiť zoznam účinkov. Možné účinky sú nasledujúce:

1. Účinok na ľudské zdravie. Tento efekt pozorujú hlavne formy znečistenia: 1, 6, 8, 12 a 13.
2. Vyčerpanie kyslíka vo vodných ekosystémoch. Má veľmi významný vplyv, pretože vodné organizmy sú závislé iba od dostatočnej hladiny kyslíka zodpovedajúcej ich potrebám. Vyčerpanie kyslíka je veľmi jasným indikátorom zhoršovania kvality životného prostredia vodných ekosystémov.
3. Eutrofizácia spôsobená vysokými koncentráciami živín. Vypúšťanie živín do vodných ekosystémov nevyhnutne spôsobuje rozsiahly rast rastlín, ktorý sa nazýva eutrofizácia. Najmä pre jazerá a pobrežné oblasti je to veľký problém, pretože rozsiahly rast rias má za následok zníženú priehľadnosť a rastlinná biomasa, ako aj organické látky, sa mikrobiologicky rozkladajú, čo významne znižuje koncentráciu kyslíka v spodnej časti vodného zdroja, resp. počas jesene a zimy. Množstvo kyslíka produkovaného fotosyntézou sa približne rovná množstvu kyslíka použitému na rozklad organickej hmoty ale problém je v tom, že výroba a spotreba kyslíka sa vyskytujú na rôznych miestach v rôznom čase. Eutrofizácia spôsobuje neprijateľné zhoršenie vodných ekosystémov.
4. Kontaminácia pôdy toxickými látkami. Znamená to, že pôdu nemožno využiť na poľnohospodársku činnosť alebo si vyžaduje veľmi nákladný proces čistenia. Rastliny a zvieratá žijúce v tejto oblasti budú nevyhnutne ovplyvnené toxickou látkou. U niektorých organizmov sa môžu vyskytnúť obzvlášť vysoké koncentrácie. Zdroj znečistenia je spomenutý v bode 8.
5. Toxické látky majú okrem toho výrazný účinok na vodné ekosystémy, samozrejme v závislosti od výslednej koncentrácie. Rastliny a zvieratá žijúce v tejto oblasti budú nevyhnutne ovplyvnené toxickou látkou. U niektorých organizmov sa môžu vyskytnúť obzvlášť vysoké koncentrácie. Zdroj znečistenia je spomenutý v bode 13 a je súbežný s problémom znečistenia pôdy v bode 8.
6. Zvyšuje sa teplota vodných ekosystémov - vyplýva z problému so znečistením číslo 7. Zmena teploty bude vždy ovplyvňovať organizmy a tým výsledné biologické a chemické zloženie ekosystému. Radikálnejšími zmenami teploty môže byť veľká časť organizmov obývajúcich ekosystémy nahradená inými organizmami.

7. Globálne otepľovanie, ktoré je výsledkom zvýšenej koncentrácie oxidu uhličitého a iných skleníkových plynov v atmosfére, čo môže radikálne zmeniť biologické a chemické zloženie ekosystémov. Zdrojom znečistenia je číslo 1.
8. Účinky 2–7 znamenajú zmenu ekológie ekosystémov. To môže zmeniť ekologickú rovnováhu, rozmanitosť a odolnosť ekosystémov a ekologických služieb.

Zvyčajne nás zaujíma naša snaha vyvinúť správne integrované environmentálne manažérstvo, aby sme odhalili najmä účinky na:

- a) Bunkovú biochémiu – aby sme boli schopní pochopiť, aké množstvá môžu spôsobiť nepriaznivý účinok, ktoré biochemické dráhy sú zapojené, a ako by bolo možné odhalením biochemických procesov neutralizovať nepriaznivý účinok.
- b) Organizmus, pretože existujú také, ktoré sú citlivejšie ako ostatné a sú kľúčovými organizmami v ekosystémoch, a preto je potrebné sa o nich osobitne zaujímať. Mal by sa určiť vplyv na populačnú dynamiku. Tento efekt môže byť často extrapolovaný na úroveň populácie.
- c) Úroveň ekosystémov, pretože ekosystémy sú svojou podstatou základnými jednotkami a systémami a strata ekosystémov je najčastejšie pohromou pre okolité ekosystémy a pre ľudí závislých od ekosystémových služieb.
- d) Globálnu úroveň, pretože znečistenie môže predstavovať významnú hrozbu pre život na Zemi. Podnebie a globálne cykly sú životne dôležité pre celú prírodu a podmienky ľudského života.

Na **popis absorpcie a retencie** znečisťujúcich látok v organizmoch rôznymi spôsobmi a mechanizmami sa nejednotným a mätúcim spôsobom používa široká škála termínov. Pre tieto procesy sú však v súčasnosti široko používané a akceptované tri výrazy:

1. **Bioakumulácia** – absorpcia a retencia znečisťujúcich látok v organizmoch akýmkoľvek mechanizmom alebo spôsobom. Znamená to, že je zahrnutý priamy príjem zo vzduchu a vody a príjem z potravy, napr. akumulácia ťažkých kovov z pôdneho roztoku formou koreňovej výživy pri rastlinách.
2. **Biokoncentrácia** – príjem a zadržiavanie znečisťujúcich látok organizmami priamo z vody cez žiabre alebo epiteliálne tkanivo. Tento proces je často opísaný pomocou koncentračného faktora, ktorý udáva pomer koncentrácie v organizme vydelenej koncentráciou v médiu.
3. **Biomagnifikácia** – proces, pri ktorom sa znečisťujúce látky prenášajú z jednej trofickej úrovne na druhú a vykazujúce zvyšujúce sa koncentrácie v organizmoch súvisiace s ich

trofickým stavom. Koncentrácia v mäsožravých organizmoch na najvyššej úrovni môže byť často o niekoľko stupňov vyššia ako na strednej úrovni.

3.1 Účinok anorganických látok

Prirodzene sa vyskytujúce stabilné prvky môžeme klasifikovať do štyroch tried:

- A. Prvky, ktoré sú v biologickom materiáli prítomné v relatívne vysokých koncentráciách: vodík, uhlík, dusík, kyslík, sodík, horčík, oxid kremičitý, fosfor, síra, chlór, draslík, vápnik a železo.
- B. Prvky, ktoré sú stopovými prvkami. Môžu byť často prítomné v biologickom materiáli v malých koncentráciách: bór, fluór, chróm, mangán, kobalt, nikel, meď, zinok, selén, molybdén a jód. Príliš vysoké koncentrácie však môžu spôsobiť environmentálne problémy. Päť prvkov patriacich do tejto skupiny a to chróm, meď, nikel, selén a zinok, môže byť príčinou ekotoxikologických alebo environmentálnych obáv z dôvodu ich častého výskytu v škodlivých koncentráciách.
- C. Prvky a ich zlúčeniny, ktoré majú ekotoxikologický účinok. Sú škodlivé aj vo veľmi malých koncentráciách, a preto ich musíme brať do úvahy pri ochrane životného prostredia. Sú to hliník, arzén, stroncium, striebro, kadmium, cín, antimón, telúr, bárium, ortuť, tálium, olovo, bizmut, polónium, radón, rádium, tórium, urán a plutónium. Posledných šesť prvkov je zároveň aj rádioaktívnych. Tieto sú obvyčajne prítomné v malých koncentráciách a hlavným problémom je ich rádioaktivita.
- D. Environmentálny záujem o všetky ostatné prvky je malý z dôvodu ich výskytu v nízkych koncentráciách alebo s nízkymi biologickými účinkami.

3.2 Účinok organických zlúčenín

Tieto zlúčeniny sú veľmi dôležité z hľadiska životného prostredia, pretože predstavujú nebezpečenstvo pre životné prostredie a majú niekoľko škodlivých účinkov. Je možné ich klasifikovať nasledovne:

- A. Ropné uhľovodíky – charakteristickými zlúčeninami sú benzén a polycyklické aromatické uhľovodíky (PAH; pozri tiež túto skupinu D). Niektoré z týchto aromatických látok sú karcinogénne a pravdepodobne ide o skupinu, ktorá vyvoláva najväčšie environmentálne obavy. Okrem uhľovodíkov ropa obsahuje zlúčeniny síry a dusíka, ako napríklad tiofén, etántiol a pyridínové deriváty. Ropné zlúčeniny sú

emitované alebo vypúšťané do všetkých sfér. Našťastie procesy chemickej transformácie a degradácie pôsobia na ropné zlúčeniny v životnom prostredí. Mikrobiálna transformácia a fotooxidácia sú obzvlášť dôležité.

- B. Polychlórované bifenyly (PCB) a dioxíny – sú charakterizované ako aromatické zlúčeniny s vysokým obsahom chlóru. Dioxíny sa nevyrábajú zámerne, ale sú vedľajšími produktmi chemických procesov zahŕňajúcich chlór, napríklad pri výrobe rôznych organochlórov a bielení buničiny a pri spaľovaní, ak sú prítomné zlúčeniny obsahujúce chlór. Obe skupiny zlúčenín sú veľmi dobre odolné voči rozkladným procesom, čo vysvetľuje, prečo sú silnými bioakumulátormi.
- C. Pesticídy – používajú sa na odstránenie chorôb a škodcov a sú pravdepodobne najkritizovanejšími kontaminantmi životného prostredia z dôvodu svojho priameho použitia v prírode. Je to chemicky mimoriadne rozmanitá skupina látok, majú spoločnú iba svoju toxicitu pre choroby a škodcov. Vyrábajú sa väčšinou synteticky, hoci komerčný úspech dosiahol prírodný pesticíd pyretrín.
- D. Polycyklické aromatické uhľovodíky (PAU) – sú to všadeprítomné kontaminanty prírodného prostredia, ale rastúca industrializácia zvýšila environmentálne obavy týkajúce sa týchto zložiek. Bežnými členmi sú naftalén a benzo(a)pyrén. Prírodným zdrojom PAU v životnom prostredí sú lesné požiare a sopečná činnosť. Antropogénnymi zdrojmi sú uhoľné elektrárne, spaľovne, otvorené spaľovanie a výfukové plyny z motorových vozidiel.
- E. Organokovové zlúčeniny – majú kovové uhlíkové väzby, kde sú uhlíkové atómy súčasťou organickej skupiny. Najznámejším príkladom je pravdepodobne tetraetyl olova, ktorý sa používa ako prísada do benzínu. Organokovové zlúčeniny môžu byť v prírode tvorené z kovu alebo kovových iónov, napríklad dimetyltortuť, alebo sa vyrábajú na rôzne účely ako katalyzátory, napríklad organohliník; ako pesticídy, napríklad organoarzenové a organocínové zlúčeniny; ako stabilizátory v polyméroch, napríklad organocínové zlúčeniny; a ako aditívum do benzínu napríklad organoolovnaté zlúčeniny. Organokovové zlúčeniny vykazujú vlastnosti, ktoré sa líšia od vlastností samotného kovu a anorganických derivátov kovu. Majú napríklad relatívne vyššiu toxicitu ako kovy.
- F. Čistiace prostriedky – čistiace prostriedky a mydlá obsahujú tzv. povrchovo aktívne látky. Toxicita všetkých povrchovo aktívnych látok je všeobecne nízka pre cicavce, zatiaľ čo pre vodné organizmy je pomerne vysoká.

G. Syntetické polyméry a xenobiotiká používané v umelohmotnom priemysle – sú odolné voči biotickým a abiotickým procesom transformácie a degradácie. Niekoľko xenobiotických zlúčenín sa používa ako prísady, zmäkčovadlá, stabilizátory atď. v syntetických polyméroch na zlepšenie ich vlastností. Niektoré z týchto prísad sú veľmi toxické.

Pretože v modernej dobe používame asi 100 000 rôznych chemikálií môžeme očakávať, že nájdeme 100 000 rôznych zlúčenín plus medziprodukty týchto zlúčenín, ktoré sú výsledkom širokého spektra procesov rozkladu, ktoré prebiehajú v životnom prostredí. Aby bolo možné získať prehľad o mnohých chemických zlúčeninách, ich osudoch, účinkoch a súvisiacich rizikách, je potrebné vykonať klasifikáciu týchto zlúčenín.

4 Analýza environmentálnych rizík (ERA)

Analýza environmentálnych rizík (*Environmental Risk Analysis – ERA*) je analýza vedúca k určeniu rizika nepriaznivých dopadov na životné prostredie alebo na zdravie ľudí spôsobených chemickou zložkou. Pri tejto analýze sa stanovujú, alebo predpovedajú environmentálne koncentrácie v rôznych zložkách životného prostredia a porovnávajú sa s koncentraciami bez účinku. Analýza environmentálnych rizík odhaľuje, či sú potrebné opatrenia na obmedzenie potenciálnych environmentálnych dôsledkov látky. ERA je založená na rovnakých základných konceptoch ako **posudzovanie vplyvov na životné prostredie** (*Environmental Impact Analysis – EIA*). EIA zahŕňa použitie diagnostických nástrojov a niekedy aj nástroje riešenia a konečnú integráciu všetkých krokov. ERA aj EIA používajú modely a indikátory alebo iné diagnostické nástroje, ale EIA je zvyčajne vo vyššej miere spojená s diagnózou, zatiaľ čo ERA sa často vykonáva nezávisle od diagnózy.

Čistenie priemyselných odpadových vôd, tuhého odpadu a dymu je finančne veľmi nákladné. V dôsledku toho sa priemyselné odvetvia pokúšajú zmeniť svoje výrobky a výrobné metódy ekologickejším spôsobom, aby sa znížili náklady na odstránenie škôd. Potrebujú preto vedieť, ako veľmi rôzne chemikálie, komponenty a procesy znečisťujú životné prostredie. Alebo vyjadrené inak: **Aké je environmentálne riziko použitia konkrétneho materiálu alebo chemikálie v porovnaní s alternatívami?** Ak priemyselné odvetvia dokážu znížiť svoje znečistenie iba prechodom na inú chemickú látku alebo proces, zväžia zníženie svojich environmentálnych nákladov alebo zlepšenie svojho zeleného imidžu. Posúdenie environmentálneho rizika dáva priemyselným odvetviám možnosť uskutočniť správny výber materiálov, chemikálií a procesov v prospech ekonomiky podniku a kvality životného prostredia. Musíme poznať environmentálne riziká všetkých chemikálií používaných v spoločnosti, aby sme mohli postupne ukončiť používanie chemikálií, ktoré najviac ohrozujú životné prostredie a stanoviť normy pre používanie všetkých ostatných chemikálií. Normy by mali zabezpečiť, aby pri používaní chemikálií neexistovalo vážne riziko za predpokladu, že sa tieto normy budú dôsledne dodržiavať. ERA je teda proces priradovania rozmerov a pravdepodobností nepriaznivým účinkom ľudskej činnosti. Tento proces zahŕňa identifikáciu nebezpečenstiev, ako je uvoľňovanie toxických chemikálií do životného prostredia, vyčíslením vzťahu medzi činnosťou spojenou s emisiou a jej účinkami. V tejto súvislosti sa berie do úvahy celá ekologická hierarchia vrátane účinkov na bunkovú (biochemickú) úroveň, úroveň organizmu, populáciu, úroveň ekosystému a na celý ekosystém. Základom uplatňovania ERA je uznanie týchto skutočností:

1. Náklady na elimináciu všetkých vplyvov na životné prostredie sú neuveriteľne vysoké.
2. Praktické rozhodnutia o environmentálnom manažmente sa musia vždy robiť na základe nedostatočných informácií.

Používame asi 100 000 chemikálií v takom množstve, že by mohli ohroziť životné prostredie, ale vieme iba asi 1 % toho, čo potrebujeme vedieť, aby sme dokázali uskutočniť vhodnú a kompletnú ERA týchto chemikálií.

Pri hodnotení rizika hrá dôležitú úlohu neistota. Rizikom je pravdepodobnosť, že dôjde k uvedenému škodlivému účinku, alebo v prípade stupňovaného účinku vzťah medzi veľkosťou účinku a pravdepodobnosťou jeho výskytu. Hodnotenie rizík zdôrazňuje riziká pre ľudské zdravie a do istej miery ignoruje ekologické účinky. Niektoré chemikálie, ktoré nemajú žiadne alebo len malé riziko pre ľudské zdravie majú závažné účinky na ekosystémy (napr. vodné organizmy). Príkladom je chlór, amoniak a určité pesticídy. Aktualizované hodnotenie rizika berie do úvahy celú ekologickú hierarchiu. Rôzne nepriaznivé účinky aj ekologická hierarchia majú rôzne časové a priestorové rozsahy, ktoré musia byť zahrnuté do správnej ERA. Napríklad ropné škvrny sa vyskytujú v priestorovom rozsahu podobnom ako u populácií, ale majú rýchlejší priebeh ako populačné procesy. Hodnotenie rizika úniku ropy preto vyžaduje zváženie reprodukcie a rekolonizácie v dlhšom časovom horizonte, aby sa určila veľkosť reakcie populácie a jej význam pre prirodzenú premenlivosť populácie.

Neistoty v hodnotení rizika sa najčastejšie berú do úvahy použitím bezpečnostných faktorov. Neistoty majú tri základné príčiny:

1. prirodzená (inherentná) náhodnosť sveta (stochasticita),
2. chyby pri vykonávaní hodnotenia,
3. nedokonalé alebo neúplné znalosti.

Inherentná náhodnosť sa týka neistoty, ktorú je možné popísať a odhadnúť, ale nemožno ju znížiť, pretože je charakteristická pre systém. Meteorologické faktory, ako sú zrážky, teplota a vietor sú pre hodnotenie rizika skutočne náhodné (stochastické). Mnoho biologických procesov, ako je kolonizácia, reprodukcia a úmrtnosť, je tiež potrebné stochasticky opísať.

Ľudské chyby sú nevyhnutne atribútmi všetkých ľudských aktivít. Tento typ neistoty zahŕňa nesprávne merania, chyby záznamu údajov, výpočtové chyby atď. Neistota sa rieši pomocou bezpečnostného (hodnotiaceho) faktora. Výber faktora závisí od množstva a kvality údajov o toxicite. **Nedostatok vedomostí** má za následok nedefinovanú neistotu, ktorú nemožno opísať alebo kvantifikovať. Je to výsledok praktických obmedzení našej schopnosti presne popísať, spočítať, zmerať alebo kvantifikovať všetko, čo sa týka odhadu rizika. Jasnými

příkladem sú neschopnosť testovať všetky toxikologické reakcie všetkých druhov organizmov vystavených znečisťujúcim látkam.

Posúdenie chemického rizika možno rozdeliť do deviatich krokov. Deväť krokov zodpovedá otázkam, na ktoré sa hodnotenie rizika snaží odpovedať, aby kvantifikovalo riziko spojené s použitím chemikálie.

Krok 1: Aké riziká sú spojené s použitím chemikálie? To zahŕňa zhromažďovanie údajov o druhoch rizika – možných škodách na životnom prostredí a ľudskom zdraví. Medzi účinky na zdravie patria vrodené, neurologické, mutagénne látky, poruchy endokrinného systému (tzv. estrogén) a karcinogénne účinky. Ako pokus o kvantifikáciu potenciálneho nebezpečenstva, ktoré predstavujú chemikálie, bola vyvinutá celá rada testov toxicity. Niektoré z odporúčaných testov zahŕňajú experimenty s podmnožinami prírodných systémov, napríklad s mikrokozmami alebo s celými ekosystémami. Väčšina testovania možných účinkov nových chemikálií sa však obmedzila na laboratórne štúdie na obmedzenom počte testovaných druhov.

Krok 2: Hodnotenie vzťahu dávky k odozve alebo koncentrácii k účinku. Aký je vzťah medzi dávkou a odozvou? Zahŕňa to znalosť tzv. koncentrácie nulového účinku (*noneffect concentration* – *NEC*), smrteľnej dávky (*lethal dose* – *LD_x* – dávka, ktorá je smrteľná pre x % uvažovaných organizmov), smrteľnej koncentrácie (*lethal concentration* – *LC_y* – koncentrácia, ktorá je smrteľná pre y % uvažovaných organizmov) a hodnoty efektívnej koncentrácie (*effective concentration* – *EC_z* – koncentrácia, pri ktorej sa prejaví indikovaný účinok na z % uvažovaných organizmov). Odpoveď možno nájsť laboratórnym vyšetrením alebo môžeme použiť metódy odhadu. Na základe týchto odpovedí sa hodnotí najpravdepodobnejšia úroveň nulového účinku (*noneffect level* – *NEL*).

Krok 3: Ktoré bezpečnostné faktory odrážajú mieru neistoty, ktorú je potrebné zohľadniť pri extrapolácii experimentálnych laboratórnych údajov alebo metód empirického odhadu na skutočné situácie? Bezpečnostné faktory majú hodnoty od 1 do 1000. Ak sú k dispozícii dobré znalosti o chemikálii, môže sa použiť bezpečnostný faktor 10. Ak sa na druhej strane odhaduje, že dostupné informácie majú veľmi vysokú neistotu, možno odporučiť bezpečnostný faktor 1000. Najčastejšie sa uplatňujú bezpečnostné faktory 50 – 100. Zložitosť ERA sa často zjednodušuje odvodením predpokladanej neúčinnnej koncentrácie (*predicted noneffect concentration* – *PNEC*) pre rôzne zložky životného prostredia (voda, pôda, vzduch, biota a sediment).

Krok 4: Aké sú zdroje a množstvá emisií? Odpoveď si vyžaduje dôkladné znalosti o výrobe a použití zvažovaných chemických zlúčenín vrátane posúdenia toho, aké množstvo chemikálie sa pri výrobe a použití stráca v životnom prostredí. Chemikália môže byť tiež odpadový produkt, takže je veľmi ťažké určiť príslušné množstvo.

Krok 5: Aká je (sú) skutočná (-é) koncentrácia (-e) expozície? Odpoveď na túto otázku sa nazýva predpovedaná environmentálna koncentrácia (*predicted environmental concentration - PEC*). Expozíciu je možné hodnotiť meraním koncentrácií v prostredí. Môže byť predpovedaná aj modelom, keď sú známe emisie. Použitie modelov je nevyhnutné vo väčšine prípadov buď preto, že uvažujeme o novej chemickej látke, alebo preto, že hodnotenie koncentrácií v životnom prostredí si vyžaduje veľké množstvo meraní na stanovenie časových a priestorových odchýlok koncentrácií. Poskytuje aj ďalšiu istotu na porovnanie výsledkov modelu s meraniami, čo znamená, že sa vždy odporúča vyvinúť model a vykonať aspoň niekoľko meraní koncentrácií v zložkách ekosystému, kedykoľvek a kdekoľvek sa očakáva, že môže nastať najvyššia koncentrácia.

Krok 6: Aký je pomer PEC / PNEC? Tento pomer sa často nazýva riziko poškodenia ekosystému (rizikový kvocient). Nemalo by sa to považovať za absolútne hodnotenie rizika, ale skôr za relatívne hodnotenie rizík. Pomer menší než 1: riziko je nízke, > 1 riziko poškodenia ekosystému je významné

Krok 7: Ako sa klasifikuje riziko? Na základe hodnotenia rizika sa rozhoduje o znížení rizika (krok 9). Sú definované dve úrovne rizika: (1) horná hranica, to znamená maximálna prípustná úroveň (*maximum permissible level – MPL*), a (2) spodná hranica, to znamená zanedbateľná úroveň (*negligible level – NL*). Môže byť tiež definovaná ako percento MPL (napríklad 1 % alebo 10 % MPL).

Krok 8: Aký je vzťah medzi rizikom a prínosom? Táto analýza zahŕňa preskúmanie socio-ekonomických, politických a technických faktorov, ktoré presahujú rámec tejto publikácie. Analýza nákladov a prínosov je zložitá, pretože náklady a prínosy majú často rôznu povahu a dimenziu.

Krok 9: Ako možno znížiť riziko na prijateľnú úroveň? Odpoveď na túto otázku si vyžaduje dôkladné technické, ekonomické a legislatívne preskúmanie. Posúdenie alternatív je často dôležitým aspektom pri znižovaní rizika. Krok 9 je veľmi náročný, pretože by sa malo zvážiť niekoľko možných krokov na zníženie rizika vrátane metód úpravy, čistejšej technológie a náhradných látok, ktoré nahradia skúmanú chemikáliu.

4.1 Ekotoxikologické vlastnosti

Veľké množstvo vyrábaných chemikálií, ktoré ohrozujú alebo môžu ohrozovať životné prostredie pokrýva široké spektrum: chemikálie pre domácnosť, čistiace prostriedky, kozmetika, lieky, farbivá, pesticídy, medziprodukty, pomocné chemikálie v iných priemyselných odvetviach, prísady do širokej škály výrobkov, chemikálie na úpravu vody a pod.

Musíme poznať distribúciu chemikálií v piatich sférach: hydrosfére, atmosfére, litosfére, biosfére a technosfére. Vyžaduje to znalosť rozpustnosti vo vode, rozdeľovacieho koeficientu voda/lipidy, Henryho konštanty, tlaku pár, rýchlosti degradácie hydrolýzou, fotolýzou, chemickou oxidáciou a mikrobiologickými procesmi a adsorpčnej rovnováhy medzi vodou a pôdou – všetko ako funkcia teploty. Musíme zistiť interakcie medzi živými organizmami a chemickými látkami, čo znamená, že by sme mali poznať biologický koncentračný faktor (BCF), zvýšenie koncentrácie v potravinovom reťazci, rýchlosť absorpcie a rýchlosť vylučovania organizmami a kde v organizmoch sa chemikálie koncentrujú. Musíme tiež poznať účinky na širokú škálu rôznych organizmov. To znamená, že by sme mali byť schopní nájsť hodnoty LC_{50} a LD_{50} , MAC a NEC (tabuľka 1), vzťah medzi rôznymi možnými subletálnymi účinkami a koncentráciami, vplyv chemickej látky na plodnosť a karcinogénne a teratogénne vlastnosti. Mali by sme poznať aj vplyv na úroveň ekosystému.

Tab. 1 Ekotoxikologické vlastnosti a ich definície

<i>Parameter (vlastnosť)</i>	<i>Definícia</i>
LC_{50}	Letálna koncentrácia; 50 označuje % úmrtnosti (môže sa použiť aj iné percento úmrtnosti). Často je tiež indikovaná doba trvania experimentu, ktorá je zvyčajne 48 alebo 96 hodín.
LD_{50}	Letálna dávka; 50 označuje % úmrtnosti (môže sa použiť aj iné percento úmrtnosti). Často je tiež indikovaná doba trvania experimentu, ktorá je zvyčajne 48 alebo 96 hodín.
MAC	Maximálna prípustná koncentrácia (<i>maximum allowable concentration</i>)
EC	Koncentrácia účinku. Účinok je indikovaný, napríklad žiadny rast a tiež % postihnutých organizmov.
NC	Účinok narkotickej koncentrácie. Uvádza sa % postihnutých testovaných organizmov.
NEC	Koncentrácia nulového účinku

Tabuľka 2 poskytuje prehľad najdôležitejších fyzikálno-chemických vlastností organických zlúčenín a ich interpretáciu z hľadiska správania v prostredí, ktoré by sa mali v modeli prejaviť.

Tab. 2 Najrelevantnejšie environmentálne vlastnosti organických zlúčenín

<i>Vlastnosť</i>	<i>Interpretácia</i>
<i>Rozpustnosť vo vode</i>	Vysoká rozpustnosť vo vode zodpovedá vysokej mobilite.
<i>K_{ow} Pomer rozpustnosti v zmesi oktanol / voda</i>	Je definovaný ako podiel koncentrácie rozpustených látok v oktanole a koncentracii látok vo vode. Vysoká hodnota K _{ow} znamená, že zlúčenina je lipofilná a teda má vysokú tendenciu k bioakumulácii a sorbcii na pôdny kal a sediment.
<i>Biologická odbúrateľnosť</i>	Miera toho, ako rýchlo sa zlúčenina rozkladá na jednoduchšie molekuly. Vysoká miera biodegradácie znamená, že sa zlúčenina nebude hromadiť v životnom prostredí, zatiaľ čo nízka rýchlosť biodegradácie môže spôsobiť environmentálne problémy súvisiace so zvyšujúcou sa koncentráciou v životnom prostredí a možnosťami synergického účinku s inými zlúčeninami.
<i>Prchavosť</i>	Vysoká miera prchavosti (vysoký tlak pár) znamená, že zlúčenina spôsobí problém so znečistením ovzdušia.
<i>Henryho konštanta, H_e</i>	Určuje distribúciu medzi atmosférou a hydrosférou – udáva rozpustnosť plynu v kvapaline.
<i>Biologická dostupnosť</i>	Závisí od mnohých faktorov, vrátane toho, či je zlúčenina voľná alebo viazaná a od schopnosti zlúčeniny prechádzať biologickými membránami – ako ľahko môže byť látka absorbovaná v tele.

ERA tiež vyžaduje informácie o vlastnostiach chemických látok, pokiaľ ide o ich interakcie so živými organizmami. Možno nebude potrebné poznať vlastnosti s veľmi vysokou presnosťou, ktorú je možné dosiahnuť meraním v laboratóriu, ale bolo by užitočné poznať vlastnosti s dostatočnou presnosťou, aby bolo možné využiť modely na riadenie a na hodnotenie rizík. Tu môže byť zaujímavé diskutovať o zrejmej otázke: **Prečo stačí odhadnúť vlastnosť chemikálie v ekotoxikologickom kontexte s 20 %, alebo niekedy s 50 % alebo vyššou neistotou?** Ekotoxikologické hodnotenie zvyčajne poskytuje neistotu rovnakého rozsahu, čo znamená, že indikovaná neistota môže byť z hľadiska modelovania dostatočná, ale je možné výsledky s takouto neistotou vôbec použiť? Odpoveď je často „áno“, pretože vo väčšine prípadov sa chceme ubezpečiť, že sme (veľmi) ďaleko od škodlivej alebo veľmi škodlivej úrovne. Keď sa zaoberáme veľmi škodlivými účinkami, ako je úplný kolaps ekosystému alebo zdravotné riziko pre veľkú ľudskú populáciu, nevyhnutne vyberieme veľmi vysoký bezpečnostný faktor. Kolaps ekosystému alebo zdravotné riziko pre veľkú ľudskú populáciu je tiež úplne neprijateľné. Mali by sme teda používať faktory bezpečnosti v ekotoxikologickom modelovaní, aby sme zohľadnili neistotu. Vzhľadom na zložitosť systému, súčasnú prítomnosť mnohých zlúčenín

a naše súčasné znalosti alebo skôr nedostatok vedomostí by sme mali, ako je uvedené vyššie, použiť 10 až 100 alebo niekedy dokonca 1 000 ako bezpečnostný faktor. Ak použijeme príliš vysoké bezpečnostné faktory, existuje iba riziko, že životné prostredie bude menej kontaminované, možno s vyššími nákladmi. Okrem toho neexistujú žiadne alternatívy k použitiu bezpečnostných faktorov. Môžeme krok za krokom rozširovať svoje ekotoxikologické vedomosti, ale bude trvať desaťročia, kým sa to prejaví na podstatne nižších bezpečnostných faktoroch. Meranie všetkých procesov a komponentov je nemožné z dôvodu vysokej zložitosti ekosystémov. To neznamená, že by sme nemali používať informácie o nameraných vlastnostiach, ktoré sú dnes k dispozícii. Namerané údaje budú takmer vždy presnejšie ako odhadované údaje.

4.2 Prieskumná analýza problémov životného prostredia

Skôr než začneme používať diagnostické nástroje, je užitočné poukázať na to, ako je možné kvantitatívne vytvoriť prieskum zdrojov s aspoň kvalitatívnym porozumením vplyvu súvisiaceho s environmentálnym problémom. Odporúča sa zabezpečiť potrebný prieskum zdrojov podľa nasledujúcich bodov:

1. Uviesť zoznam všetkých zdrojov – v tejto fáze je potrebné zahrnúť aj všetky podozrivé (možné) zdroje.
2. Uviesť, či sú zdroje bodovými zdrojmi alebo nie.
3. Uviesť, či sú zdroje prerušované alebo kontinuálne, alebo ešte lepšie, zdroje ako funkciu času.
4. Kvantifikovať všetky zdroje.
5. Aký je vplyv na ekosystém (životné prostredie) alebo zdravie ľudí ako funkcia rozsahu environmentálneho problému? Je vplyv úmerný veľkosti problému v oblasti životného prostredia?
6. Dopad je často výsledkom, ktorý je určený interakciou rôznych zlúčenín pochádzajúcich z rôznych zdrojov. Príkladom je eutrofizácia, kde kľúčovou otázkou je, ktorá živina je limitná, respektíve ktorú živinu je ľahko možné urobiť limitnou.
7. Trvanie zdroja a tým aj zodpovedajúci vplyv, sú často rozhodujúce pre konečný účinok environmentálneho problému.

5 Ekologické (environmentálne) modely ako diagnostické nástroje

Ľudstvo vždy tvorilo viac alebo menej popisné modely životného prostredia, ktoré sa často používali na riešenie problémov alebo na získanie poznatkov o fungovaní prírody. Keď sa v popise prírody použije matematika, hovoríme o matematických modeloch, na rozdiel od fyzikálnych modelov, ktoré sa snažia napodobniť fyzický vzťah modelovaného objektu (napríklad model lode). Model poskytuje zjednodušený obraz o realite a nikdy nebude schopný obsiahnuť všetky vlastnosti skutočného systému, pretože by to potom bol samotný skutočný systém. Je však dôležité, aby model obsahoval charakteristiky systému, ktoré sú nevyhnutné v kontexte manažérskeho alebo vedeckého problému, ktorý sa má vyriešiť alebo pochopiť. Existujú modely jazier, ktoré sa používajú na manažment eutrofizácie alebo prekyslenia jazier, modely jazier, ktoré poskytujú informácie o udržateľnom rybolove, modely jazier, ktoré sa zameriavajú na kyslíkový profil, atď. Ak chceme zvládnuť priemernú eutrofizáciu veľkého jazera, pravdepodobne nie je potrebné rozlišovať medzi úrovňami eutrofizácie v rôznych častiach jazera, čo by však bolo nevyhnutné, ak chceme zabezpečiť minimálnu úroveň eutrofizácie vo všetkých častiach jazera. Zahŕnutie príliš veľkého množstva nepodstatných detailov by narušilo hlavné ciele modelu. **Model** môže byť **fyzický**, ktorý sa dá nazvať mikrokozmos, alebo **matematický**, ktorý matematicky popisuje hlavné charakteristiky ekosystému a súvisiace problémy.

Oblasť ekologického modelovania sa za posledné viac ako tri desaťročia rýchlo rozvíjala hlavne vďaka trom faktorom:

1. Rozvoj výpočtovej techniky, ktorá nám umožnila zvládnuť veľmi zložité matematické systémy.
2. Všeobecné chápanie problémov životného prostredia vrátane toho, že nie je možné úplné odstránenie znečistenia, ale že správna kontrola znečisťovania s obmedzenými dostupnými ekonomickými zdrojmi si vyžaduje podrobné zváženie vplyvov znečistenia na ekosystémy.
3. Naše vedomosti o environmentálnych a ekologických problémoch sa výrazne zvýšili. Obzvlášť sme získali viac poznatkov o kvantitatívnych vzťahoch v ekosystémoch a medzi ekologickými vlastnosťami a faktormi životného prostredia.

Modely možno považovať za syntézu toho, čo vieme o ekosystéme, s ohľadom na uvažovaný problém, na rozdiel od štatistickej analýzy, ktorá odhalí iba vzťahy medzi údajmi. Model je schopný zahrnúť všetky naše znalosti o systéme:

- Ktoré zložky sa interagujú s inými zložkami, napríklad že sa zooplanktón živí fytoplanktónom?
- Naše vedomosti o procesoch sú často formulované ako matematické rovnice, ktoré sa všeobecne osvedčili.
- Dôležitosť procesov s ohľadom na problém.

Modely sú postavené na všetkých dostupných vedomostiach vrátane poznatkov získaných štatistickými analýzami údajov, fyzikálno-chemicko-ekologických poznatkov, prírodných zákonov, zdravého rozumu, atď. To je výhoda modelovania.

5.1 Modely ako manažmentové nástroje

Naše problémy sú okrem iných faktorov čoraz zložitejšie a komplexnejšie aj vďaka globalizácii. Preto je čoraz ťažšie preskúmať všetky faktory, ktoré môžu mať vplyv na problémy. Veda používa analýzu problému a často v laboratóriu oddeľuje problém a niekoľko faktorov, ktoré na problém majú vplyv, no mnoho problémov z reálneho života je príliš zložitých na to, aby sa dali vyriešiť touto vedeckou metódou. Je potrebná syntéza mnohých faktorov a ich vzájomného pôsobenia, čo znamená, že musíme vyvinúť model, aby sme dokázali preskúmať mnoho možností. Niektoré interakcie a procesy môžu byť známe z vedy, ale pri skutočných problémoch vrátane problémov životného prostredia existuje veľa interakcií, ktoré fungujú súčasne. Našťastie boli vyvinuté modely, ktoré sa zaoberajú vysokou zložitou. Dnes máme bohaté skúsenosti s vývojom **ekologických modelov**. Počas posledných takmer štyroch desaťročí bolo zverejnených mnoho tisíc modelov. Budovanie modelu nám teda pomáha vnímať vzájomné prepojenia a spájať predchádzajúce skúsenosti so súčasnými pozorovaniami a simulovať, čo by sa stalo v budúcnosti. Vývoj modelu si často vyžaduje multidisciplinárny prístup, pretože procesy a vzájomné prepojenia mnohých disciplín môžu byť neoddeliteľnou súčasťou problému. Skúsenosti s vývojom ekologických modelov nám ukázali jasné výhody, ktoré sú dnes modely schopné ponúknuť ekológii a environmentálnemu manažmentu:

- Modely sú syntézou všetkého, čo poznáme – pozorovaní, teoretických poznatkov, poznatkov o mierkach a veľkosti, znalosti o zložkách potravy.
- Modely sú nástroje poskytujúce prehľad komplexných systémov.
- Modely umožňujú kvantifikáciu pomocou matematických formulácií a počítačov. Je potrebné zdôrazniť, že všetky modely možno považovať za syntézu všetkého, čo vieme o probléme a systéme.

5.2 Komponenty modelovania

Modely majú päť typov komponentov.

1. **Externé (vynútiteľné) funkcie** alebo externé premenné, ktoré sú funkciami alebo premennými vonkajšej povahy ovplyvňujúce stav systému. Problém, ktorý sa má vyriešiť, možno často formulovať nasledovne: ak sa určité externé premenné menia, aký vplyv bude mať táto zmena na stav ekosystému? Model sa používa na predpovedanie toho, čo sa zmení v systéme, keď sa externé premenné menia s časom. Externé premenné kontrolované človekom sa často nazývajú kontrolované premenné (funkcie). Kontrolovanými funkciami v ekologických modeloch môžu byť napríklad vstupy toxických látok do ekosystémov a v eutrofizačných modeloch sú kontrolnými funkciami vstupy živín. Prirodzené externé premenné na rozdiel od kontrolovaných sú napríklad klimatické premenné, ktoré ovplyvňujú biotické a abiotické zložky a rýchlosť procesu.
2. **Stavové premenné** popisujú, ako naznačuje názov, stav systému. Výber stavových premenných je pre štruktúru modelu kritický, ale je často zrejmý. Ak napríklad chceme modelovať bioakumuláciu toxikkej látky v ekosystéme, stavovými premennými by mali byť organizmy v najdôležitejších potravinových reťazcoch a koncentrácie toxikkej látky v organizmoch. V eutrofizačných modeloch budú stavovými premennými koncentrácie živín a fytoplanktónu.
3. **Matematické rovnice** sa používajú na vyjadrenie biologických, chemických a fyzikálnych procesov. Celkový súbor rovníc popisuje vzťah medzi vynútiteľnými funkciami a stavovými premennými.
4. **Parametre** sú koeficienty v matematickom znázornení procesov. Môžu sa považovať za konštantné pre konkrétny ekosystém alebo časť ekosystému. V kauzálnych modeloch bude mať parameter vedeckú definíciu, napríklad rýchlosť vylučovania toxikkej látky z ryby. Mnoho parametrov nie je v literatúre označených ako konštanty, ale ako rozsahy, ale aj to má pri odhade parametrov veľkú hodnotu. Naše obmedzené znalosti o parametroch sú jedným z najslabších miest v ekologickom modelovaní. Aplikácia parametrov ako konštant v našich modeloch je navyše nereálna z dôvodu množstva spätnej väzby v mnohých skutočných ekosystémoch. Flexibilita ekosystémov nie je v súlade s uplatňovaním konštantných parametrov v modeloch. Nová generácia modelov, ktorá sa pokúša využívať rôzne parametre podľa niektorých ekologických princípov, sa javí ako možné riešenie problému, ale je nevyhnutne potrebný ďalší vývoj

v tomto smere, kým dosiahneme vylepšený postup modelovania odrážajúci procesy v skutočných ekosystémoch.

5. Vo väčšine modelov sa používajú aj **univerzálne konštanty**, ako napríklad univerzálna plynová konštanta a atómové hmotnosti. Mnoho ekologov zistilo aké silné sú ekologické modely na testovanie vedeckých hypotéz o reakciách ekosystémov. Ekosystémy sú zložité systémy, a preto nie je ľahké vo väčšine prípadov robiť priame experimenty s celými ekosystémami. Je však možné vykonať zmeny napríklad v externých premenných a pozorovať reakciu ekosystémov ako zmeny stavových premenných. V takýchto prípadoch bude potrebné vyvinúť model ústredného ekosystému so zapojenými externými a stavovými premennými, aby bolo možné posúdiť, či sú pozorovania v súlade s navrhovanou teóriou alebo hypotézou. Tieto možnosti sa otvorili pre širšie využitie ekologických modelov v ekológii, najmä v systémovej ekológii.

5.3 Proces modelovania

Proces modelovania pozostáva zo šiestich krokov (obrázok 3). Prvým krokom pri tvorbe všetkých modelov je **definovanie problému**. Aj to si často vyžaduje multidisciplinárny tím, pretože je dôležité kvantifikovať všetky zdroje problému. Systém je definovaný spolu s problémom, pretože problém ovplyvňuje buď antropogénny alebo prírodný systém. Problém sa samozrejme nedá vyriešiť, pokiaľ sa nezohľadnia procesy, reakcie a vzájomné prepojenia v skutočnom systéme. Neznamená to, že pri vývoji modelu by sa mali brať do úvahy všetky podrobnosti spojené s problémom a systémom. V počiatočnej fáze vývoja modelu je dôležité, aby bolo všetkým členom modelového tímu objasnené, že dôraz je kladený na systém – nie na podrobnosti, pričom treba pamätať na to, že systém je viac ako súčet jeho častí. Na druhej strane je dôležité zahrnúť do modelu všetky dôležité zdroje problému pre ekosystém.

Druhým krokom je **zostavenie koncepčného diagramu**, ktorý zohľadňuje dostupné údaje. Kvôli kalibrácii modelu (krok 4) sa všeobecne odporúča zahrnúť iba stavové premenné, na ktorých boli vykonané pozorovania. V niekoľkých prípadoch je možné zahrnúť jednu alebo dve stavové premenné, ktoré sa nepozorovali, ak je ťažké získať pozorovania a je zrejmé, že tieto stavové premenné súvisia s ostatnými pozorovanými stavovými premennými.

Tretí krok obsahuje **matematickú formuláciu**. Je formulovaná diferenciálna rovnica. Pre každú stavovú premennú platí: akumulácia = vstupy – výstupy. Tretí krok zahŕňa aj **verifikáciu** (overenie) a **analýzu citlivosti**. Overenie je testom vnútornej logiky modelu. Typické otázky

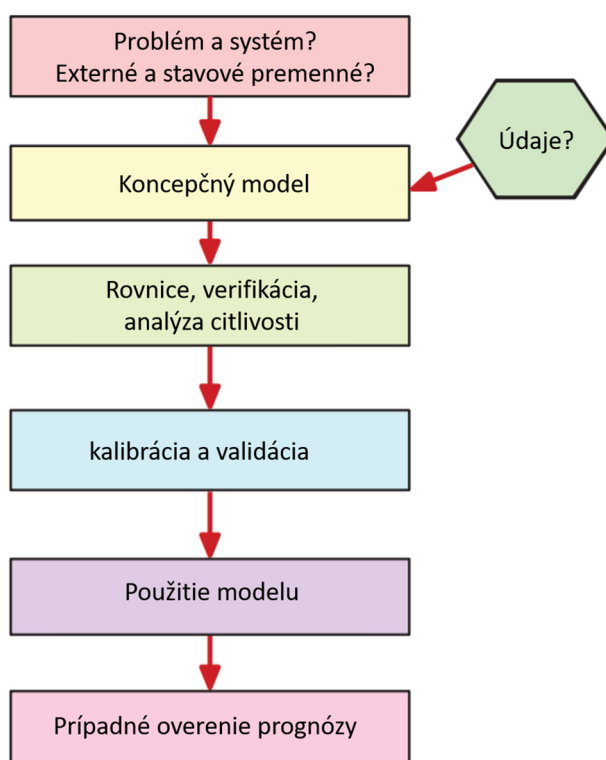
vo fáze overovania sú: Reaguje model podľa očakávania? Je model dlhodobo stabilný? Dodržiava model zákon zachovania hmoty? Je použitie jednotiek konzistentné? Znamená to, že pri všetkých rovniciach by sa malo kontrolovať konzistentné používanie jednotiek. Overovanie je do istej miery subjektívnym hodnotením správania modelu. K overeniu dôjde vo veľkej miere počas používania modelu pred fázou kalibrácie. Po overení nasleduje analýza citlivosti. Prostredníctvom tejto analýzy sa získa dobrý prehľad o najcitlivejších komponentoch modelu. Analýza citlivosti sa teda pokúša poskytnúť mieru citlivosti buď parametrov, externých premenných alebo čiastkových modelov na stavové premenné, o ktoré je v modeli najväčší záujem. Ak chce modelár vyvinúť model schopný predpovedať koncentráciu toxických látok v mäsožravom hmyze v dôsledku použitia insekticídov, samozrejme si vyberie túto najdôležitejšiu premennú stavu, možno okrem koncentrácie toxikkej látky v rastlinách a bylinožravom hmyze.

Štvrtý krok modelovania zahŕňa **kalibráciu a validáciu**. Účelom kalibrácie je zlepšiť odhad parametrov. Niektoré parametre v kauzálnych ekologických modeloch možno nájsť v literatúre, nie nevyhnutne ako konštanty, ale ako približné hodnoty alebo intervaly. Aby sme pokryli všetky možné parametre pre všetky možné ekologické modely vrátane ekotoxikologických modelov, musíme poznať viac ako 10 miliárd parametrov. Je preto zrejmé, že pri modelovaní existuje osobitná potreba metód odhadu parametrov. Za každých okolností je veľkou výhodou poskytnúť aspoň približné hodnoty parametrov pred začatím kalibrácie, pretože je oveľa jednoduchšie hľadať napríklad hodnotu medzi 1 a 4, ako medzi 0 a 8. Ak nie je možné model správne kalibrovať, nemusí to byť nevyhnutne kvôli nesprávnemu modelu, ale kvôli nedostatočnej kvalite údajov. Kvalita údajov je pre kalibráciu zásadná. Ďalej je veľmi dôležité, aby pozorovania odrážali skutočnú dynamiku systému. Ak je cieľom modelu dobrý opis jednej alebo niekoľkých stavových premenných, je samozrejme zvlášť dôležité, aby údaje mohli ukazovať dynamiku iba týchto vnútorných premenných. Frekvencia zberu údajov by preto mala odrážať dynamiku premenných ohniskového stavu. Toto pravidlo sa bohužiaľ v modelovaní často porušuje. Dôrazne sa odporúča, aby sa pred podrobným určením programu zberu údajov zvažila dynamika všetkých stavových premenných. Niektoré stavové premenné majú často obzvlášť výraznú dynamiku v konkrétnych obdobiach – často na jar – a môže byť veľkou výhodou mať v tomto období hustý zber údajov.

Z týchto odporúčaní možno odvodiť odporúčania týkajúce sa uskutočniteľnosti vykonania kalibrácie modelu v ekológii:

1. Vyhl'adať z literatúry čo najviac parametrov. Aj široká škála parametrov by sa mala považovať za veľmi cennú, pretože sú naliehavo potrebné približné počiatočné odhady pre všetky parametre.
2. Ak niektoré parametre v literatúre nenájdeme, čo je časté, mali by sa použiť metódy odhadu. Pre rozhodujúce parametre môže byť lepšie určiť ich experimentmi *in situ* alebo v laboratóriu.
3. Mala by sa vykonať analýza citlivosti s cieľom určiť, ktoré parametre sú najdôležitejšie s vysokou istotou.
4. Na zabezpečenie lepšieho odhadu najdôležitejších parametrov by sa malo zvážiť použitie intenzívneho zberu údajov pre najdôležitejšie stavové premenné. Všeobecne nie je možné odhaliť dynamiku stavových premenných pozorovaniami s príliš malou frekvenciou, ktoré neodrážajú dynamiku systému. Napríklad, ak model zohľadňuje denné variácie fotosyntézy a dýchania rastlín alebo sú denné variácie najdôležitejšie pre hlavný problém modelu, je nevyhnutné vytvoriť model na základe pozorovaní niekoľkokrát za 24 hodín.

Piaty a šiesty krok modelovania zahŕňajú samotné použitie modelu a prípadné overenie prognózy.



Obr. 3 Proces modelovania

5.4 Prehľad dostupných ekologických modelov

V literatúre venujúcej sa modelovaniu je možné nájsť **modely 17 ekosystémov**: 1. jazerá, 2. ústia riek, 3. rieky, 4. pobrežné zóny, 5. pobrežné lagúny, 6. ekosystémy na otvorenom mori, 7. pastviny, 8. savany, 9. lesy, 10. polárne ekosystémy, 11. horské ekosystémy, 12. korálové útesy, 13. mokrade (rôzne druhy mokradí, mokré lúky, močiare, močiare, zalesnené mokrade, močiare a nivy), 14. púšte, 15. poľnohospodárske systémy, 16. akvakultúry a 17. systémy odpadových vôd.

Ďalej je možné nájsť **modely** zamerané na nasledujúce **environmentálne problémy**:

1. vyčerpanie kyslíka, 2. eutrofizácia, 3. okyslenie, 4. znečistenie toxickými organickými zlúčeninami vrátane farmaceutických látok a látok narúšajúcich endokrinný systém, 5. znečistenie ťažkými kovmi, 6. kontrola rybolovu, 7. znečistenie podzemných vôd, 8. krajinné plánovanie, 9. globálne otepľovanie a zmeny podnebia, 10. rozklad ozónovej vrstvy a jeho účinky, 11. znečistenie podzemných vôd, 12. šírenie požiaru a 13. znečistenie ovzdušia.

Modely ekosystémov (1 až 17) môžeme rozdeliť do piatich skupín podľa toho, koľko rôznych modelov je možné nájsť v literatúre:

1. Ekosystémy, ktoré boli intenzívne modelované a existuje ich niekoľko stoviek: rieky, jazerá, lesy a poľnohospodárske systémy.
2. Ekosystémy, pre ktoré je možné nájsť rádovo sto rôznych modelov: ústia riek, mokrade a trávnaté porasty.
3. Ekosystémy, ktoré boli modelované mnohokrát, ale stále bolo vyvinutých menej ako sto rôznych modelov: systémy odpadových vôd a systémy akvakultúry.
4. Ekosystémy, ktoré boli modelované viac ako 10 krát, ale menej ako 25 až 30 krát: korálové útesy.
5. Ekosystémy, ktoré boli modelované niekoľkokrát: polárne ekosystémy, savany a horské ekosystémy nad hranicou lesa.

Aj modely problémov so znečistením môžeme rozdeliť do piatich skupín:

1. Intenzívne modelované problémy so znečistením: vyčerpanie kyslíka, eutrofizácia, organické toxické látky vrátane farmaceutických látok v životnom prostredí, problémy so znečistením ovzdušia a globálne otepľovanie vrátane dopadov zmien podnebia.
2. Environmentálne problémy, ktoré boli modelované približne stokrát: problémy s ťažkými kovmi, acidifikácia a znečistenie podzemných vôd.
3. Problémy životného prostredia, ktoré boli modelované mnohokrát, ale bolo vyvinutých menej ako sto rôznych modelov: šírenie ohňa a nadmerný rybolov.

4. Environmentálne problémy, ktoré boli modelované viac ako 10-krát, ale menej ako 25 až 30 krát: endokrinné disruptory.
5. Problémy životného prostredia, pre ktoré je možné nájsť najviac pár alebo niekoľko modelov: použitie geneticky modifikovaných organizmov (GMO).

6 Ekologické indikátory ako diagnostické nástroje

Myšlienka aplikovať hodnotenie zdravia ekosystémov (*Ecosystem Health Assessment – EHA*) v environmentálnom manažmente sa objavila na konci 80. rokov 20. storočia. Paralela s hodnotením ľudského zdravia je veľmi zrejímavá. Ekologické ukazovatele sa vo všeobecnosti zameriavajú na štruktúru, resp. fungovanie ekosystému, pričom zohľadňujú určitý aspekt alebo zložku, napríklad koncentráciu živín, tok vody, rozmanitosť bezstavovcov a stavovcov, rozmanitosť a produktivitu rastlín, príznaky erózie a niekedy aj ekologickú integritu na úrovni systému. Snažia sa poskytnúť kvantitatívne zobrazenie síl, ktoré riadia ekosystém, reakcií na externé parametre alebo minulé, súčasné alebo budúce stavy ekosystému a očakáva sa od nich, že odhalia podmienky a trendy, ktoré pomôžu pri vývoji plánovacích rozhodovacích procesov. Nie je možné nájsť jeden alebo niekoľko indikátorov, ktoré sa dajú všeobecne použiť. Samozrejme existujú všeobecné ekologické ukazovatele, ktoré sa takmer vždy používajú, keď musíme posúdiť zdravie ekosystému; nikdy však nestačia na poskytnutie úplnej diagnózy – všeobecné ukazovatele musia byť vždy doplnené ďalšími ukazovateľmi. Ak ekológ spozoruje mŕtve ryby, ale čistú vodu, bude mať podozrenie na prítomnosť toxikkej látky v ekosystéme, zatiaľ čo mŕtve ryby a veľmi kalnú vodu bude spájať s úbytkom kyslíka. V týchto dvoch prípadoch použije dva rôzne súbory ukazovateľov, aj keď v oboch prípadoch môžu byť použité niektoré všeobecné ukazovatele.

Niektorí odborníci čakali, že **EHA** do istej miery nahradí ekologické modelovanie, pretože to bola nová metóda na **kvantifikáciu „choroby“ ekosystému**. Je možné hodnotiť zdravie ekosystému na základe ukazovateľov získaných iba z pozorovaní. Napriek tomu, aj keď ekologické ukazovatele môžu pomôcť pri vytváraní užitočného spojenia medzi empirickým výskumom a modelovaním, niektoré z nich sa dajú použiť ako orientačné prvky v ekologických modeloch. Indikátory je ťažké použiť na prognózy a neposkytujú prehľad o ekologických zložkách a ich interakciách ako model. EHA a ekologické modelovanie sú skôr dva rôzne a navzájom sa doplňujúce nástroje, ktoré poskytujú lepší obraz o možnostiach environmentálneho manažmentu, ako keby sa EHA alebo ekologické modelovanie používali nezávisle. V súčasnosti sa modely čoraz viac využívajú ako nástroj na vykonávanie EHA. Modely sa používajú aj na stanovenie prognózy vývoja vybraných ekologických ukazovateľov pri dodržaní presne stanoveného plánu environmentálneho manažérstva.

Z praktického hľadiska environmentálneho manažérstva bolo navrhnutých 7 kritérií pre použitie ekologických ukazovateľov:

1. ľahko použiteľné a ľahko pochopiteľné laikmi,

2. relevantné v kontexte,
3. vedecky zdôvodniteľné,
4. kvantitatívne,
5. prijateľné z hľadiska nákladov,
6. pokrývajúce všetky relevantné a skutočné problémy,
7. citlivé na možné zmeny.

Z vedeckého hľadiska by mali byť zohľadnené nasledujúce kritériá:

1. ľahkosť manipulácie,
2. citlivosť na malé zmeny environmentálneho stresu,
3. nezávislosť od referenčných stavov,
4. použiteľnosť v rozsiahlych geografických oblastiach a v čo najväčšom počte spoločenstiev alebo ekologických prostredí,
5. možná a spoľahlivá kvantifikácia.

Pretože nie je ľahké splniť všetky tieto požiadavky, všeobecnosť často používaných ekologických ukazovateľov je iba obmedzená. Výber by mal obsahovať skôr veľa ako príliš málo ukazovateľov, pretože je jednoduchšie vyhodnotiť nadbytočné ukazovatele po ich použití. Do výberu ukazovateľov by mali byť zvyčajne zapojené všetky zainteresované strany (zaujímajúce sa o udržateľný rozvoj ekosystému). Po výbere niekoľkých alebo viacerých ukazovateľov by sa každý z nich mal otestovať podľa vyššie uvedených siedmich kritérií, čo pravdepodobne bude znamenať zníženie počtu vybraných ukazovateľov.

Vezmime si ako príklad niekoľko najbežnejších problémov v oblasti životného prostredia:

1. Eutrofizácia vodných ekosystémov: priehľadnosť, ktorú ľahko určia aj laici, by sa mala doplniť údajom o koncentrácii fytoplanktónu ako biomasa mg.l^{-1} alebo ako množstvo chlorofylu v mg.m^{-3} , čo je priame meradlo eutrofizácie. Tiež maximálna primárna produkcia ako mg C.m^{-3} (alebo m^{-2}). 24 h^{-1} alebo ako g C.m^{-3} (alebo m^{-2}). rok^{-1} môže byť veľmi informatívna, aj keď pre laikov to pravdepodobne nie je najzrozumiteľnejší ukazovateľ. Okrem toho koncentrácie živín (najmä samozrejme N a P) vyjadrujú potenciál eutrofizácie. Pomer medzi koncentráciou zooplanktónu a fytoplanktónu je v niektorých prípadoch tiež relevantný, pretože relatívne vysoká koncentrácia zooplanktónu môže naznačovať, že eutrofizácia je pod kontrolou.
2. Toxické látky: koncentrácia toxických látok vo vode alebo vo vzduchu v sedimente alebo v pôde a v organizmoch na konci potravinového reťazca. Sediment a pôda majú často oveľa vyššiu koncentráciu látky ako voda alebo vzduch, ale dôležitosť týchto

koncentrácií závisí od rozpustnosti vo vode a tlaku pár toxickéj látky. Z dôvodu biomagnifikácie sa odporúča kvantifikovať koncentráciu v organizmoch na rôznych trofických úrovniach, konkrétne u makroobratlovcov, mäsožravých rýb a vtákov, kedy je koncentrácia látky vo vode nízka, a preto veľmi neistá. Okrem meraní koncentrácie sa používajú metódy biologických účinkov, a to biomarkery a biologické testy, ktoré pomáhajú pri integrácii chemických a biologických informácií a poskytujú napríklad celkový pohľad na kvalitu vodného útvaru. Biomarkery a biologické testy boli uznané ako potenciálne dôležité na určenie vzťahov medzi príčinami a účinkami pri hodnotení ekologickej kvality. Zlepšujú schopnosť zisťovať príčiny zlyhávajúceho ekologického stavu, najmä vo vodných ekosystémoch, a to, či sú jeho príčinou znečisťujúce látky.

3. Acidifikácia ekosystémov: pH (kyslosť a zásaditosť) vodných ekosystémov a tiež dažďovej vody.
4. Introdukcia a invázia exotických druhov: koncentrácia introdukovaných druhov a všetkých druhov, ktoré sú priamo ovplyvňovanými introdukovanými druhmi.

6.1 Klasifikácia ekologických indikátorov (indikátorov zdravia ekosystému)

Ekologické ukazovatele, ktoré sa dnes používajú v rôznych kontextoch, pre rôzne ekosystémy a pre rôzne problémy, možno klasifikovať do deviatich úrovní od najredukcionistických po najholistickejšie ukazovatele. Ekologické ukazovatele pre EHA nezahŕňajú ukazovatele klimatických podmienok.

Úroveň 1 zvažuje **použitie ekotoxikologických nástrojov** schopných poskytnúť včasné varovné signály, ktoré umožňujú preventívne opatrenia skôr, ako dôjde k ekologickému poškodeniu, so zameraním na dva typy nástrojov biologického hodnotenia, biomarkery a biologické testy

Úroveň 2 pokrýva **prítomnosť** alebo **neprítomnosť konkrétnych druhov**. Najznámejšou aplikáciou tohto typu indikátora je sapróbny systém, ktorý klasifikuje toky do štyroch tried podľa ich znečistenia organickými látkami, ktoré spôsobuje vyčerpanie kyslíka: oligosapróbna voda (neznečistená alebo takmer neznečistená), beta-mezosapróbna (mierne znečistená), alfa-mezoprobické (znečistené) a polysapróbne vody (veľmi znečistené). Táto klasifikácia bola pôvodne založená na pozorovaní druhov, ktoré boli prítomné alebo neprítomné. Druhy, ktoré sa použili na hodnotenie triedy znečistenia, sa rozdelili do štyroch skupín: organizmy charakteristické pre neznečistenú vodu, druhy dominujúce v znečistenej vode, indikátory znečistenia a neutrálne druhy.

Úroveň 3 využíva **pomer medzi triedami organizmov**.

Úroveň 4 je založená na **koncentracii chemických zlúčenín**. Príkladom je hodnotenie úrovne eutrofizácie na základe celkovej koncentrácie fosforu za predpokladu, že fosfor je limitujúcim faktorom pre eutrofizáciu.

Úroveň 5 uplatňuje ako ukazovatele koncentráciu celých trofických úrovní, napríklad ako ukazovateľ eutrofizácie jazier sa používa koncentrácia fytoplanktónu (ako chlorofyl alebo ako biomasa na m^3). Vysoká koncentrácia rýb sa tiež použila ako indikátor dobrej kvality vody alebo vtáky ako indikátor zdravého lesného ekosystému.

Úroveň 6 používa ako indikáciu **rýchlosti procesov**, napríklad stanovenia primárnej produkcie sa používajú ako indikátory eutrofizácie buď ako maximum $\text{g C.m}^{-2}.\text{deň}^{-1}$, $\text{g C.m}^{-3}.\text{deň}^{-1}$, $\text{g C.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$ alebo $\text{g C.m}^{-3}.\text{rok}^{-1}$. Vysoký ročný prírastok stromov v lese sa používa ako indikátor zdravého lesného ekosystému a vysoký ročný nárast vybranej populácie ako indikátor zdravého životného prostredia. Vysokú úmrtnosť v populácii možno na druhej strane použiť ako indikátor nezdravého prostredia. Vysoká miera respirácie môže naznačovať, že vodný ekosystém má tendenciu vyčerpávať kyslík.

Úroveň 7 zahŕňa **zložené ukazovatele**. Príklady sú dýchanie/biomasa, dýchanie/produkcia, produkcia/biomasa a pomer primárneho producenta/konzumenta. Tieto zložené ukazovatele sa používajú na posúdenie, či je ekosystém v ranom štádiu vývoja alebo je vyspelým ekosystémom. Predpokladá sa, že vyspelé ekosystémy majú väčšiu odolnosť voči zmenám.

Úroveň 8 obsahuje **holistické ukazovatele**, ako sú rezistencia, reziliencia, biodiverzita, všetky formy diverzity, veľkosť a prepojenie ekologickej siete, miera fluktuácie uhlíka, dusíka atď. a energia. Vysoká odolnosť, vysoká reziliencia, veľká rozmanitosť, veľká ekologická sieť, normálna fluktuácia, toto všetko sú ukazovatele zdravého ekosystému.

Úroveň 9 predstavujú **termodynamické premenné**, ktoré môžeme nazvať superholistické indikátory. Snažia sa vidieť les cez stromy a zachytiť celkový obraz ekosystému bez zahrnutia podrobností. Týmto ukazovateľmi sú exergia (množstvo pracovnej energie), deštrukcia exergie (množstvo pracovnej energie stratenej ako tepelná energia), produkcia entropie (veľčina, ktorá meria neusporiadanosť (náhodnosť, mieru neurčitosti systému), sila, hmota, resp. retenčný čas energetického systému. Do tejto úrovne patrí aj ekonomický ukazovateľ náklady/prínosy (zahŕňa všetky ekologické výhody, nielen ekonomické výhody pre spoločnosť).

6.2 Biomarkery a biologické testy

Biomarkery a biologické testy majú byť citlivé (včasné varovanie), rýchle a nákladovo efektívne v porovnaní s monitorovaním reakcií na úrovni spoločenstva. Sú koncipované ako monitorovacie nástroje na zisťovanie potenciálneho rizika poškodenia ekosystému kontaminantmi prítomnými v danej zložke životného prostredia.

Biomarker umožňuje kvantitatívne meranie zmien, ku ktorým dochádza na bunkovej, biochemickej, molekulárnej alebo fyziologickej úrovni, ktoré je možné merať v bunkách, telesných tekutinách, tkanivách alebo orgánoch v organizme a ktoré môžu naznačovať xenobiotickú expozíciu, resp. účinok. Biomarker je možné definovať ako „biochemickú, resp. fyziologickú zmenu (zmeny) v organizmoch vystavených kontaminujúcim látkam, a predstavuje tak prvotné reakcie na narušenie životného prostredia a kontamináciu“.

Biomarkery používané pri monitorovaní životného prostredia sú rozdelené do dvoch hlavných kategórií: biomarker expozície a účinku. Definíciu týchto kategórií poskytla Svetová zdravotnícka organizácia (*WHO*): biomarkerom expozície je „exogénna látka alebo jej metabolit alebo produkt interakcie medzi xenobiotickým činidlom a určitou cieľovou molekulou alebo bunkou, ktorá sa meria v zložke v rámci organizmu“ a biomarker účinku je „merateľná biochemická, fyziologická, behaviorálna alebo iná zmena v organizme, ktorú možno v závislosti od rozsahu rozpoznať ako súvisiacu so stanoveným alebo možným poškodením alebo ochorením“. Príkladom dobre zavedených biomarkerov expozície je indukcia proteínov ako metalotioneínov, ktoré reagujú po expozícii určitým druhom kovov alebo systém monooxygenázy cytochrómu P450 indukovaný po expozícii organickým znečisťujúcim látkam, ako sú aromatické uhl'ovodíky, polychlórované bifenyle alebo dioxíny. Biomarkery účinku sú napríklad: enzým dehydratáza kyseliny delta-aminolevulínovej (*ALAD*), inhibovaný aj pri malých množstvách olova; enzýmy cholinesterázy (*ChE*) inhibované po vystavení účinkom organofosfátov a pesticídov založených na karbamátoch a tiež niektorým neesenciálnym kovom.

Biologická skúška (test) je biologická metóda, alternatívna alebo doplnková k chemickej analýze, určená na detekciu a meranie prítomnosti látky. Chápe sa ako postup, pri ktorom sa pomocou živého materiálu stanovuje vzťah medzi úrovňami chemických látok a ich nepriaznivými účinkami na populáciu, spoločenstvá a ekosystémy a identifikuje ohrozené biologické zdroje. Vo všeobecných toxikologických štúdiách je zameraná na kvantifikáciu toxicity jednotlivých chemikálií alebo zmesí známeho zloženia vystavením celých živých organizmov za štandardizovaných podmienok počas určitého časového obdobia, takzvaných

experimentov dávka – odpoveď. V environmentálnych štúdiách pozostávajú ekotoxikologické biologické skúšky z vystavenia testovaných organizmov v kontrolovaných podmienkach environmentálnym matriciam (voda, sediment), ktorých toxicitu chceme posúdiť a z merania ekologicky relevantných kvantitatívnych reakcií. Aby sa získali výsledky relevantné na úrovni ekosystému, mali by mať namerané odpovede vplyv na biologickú zdatnosť jednotlivca (napr. úmrtnosť, rast, reprodukcia, miera výživy). Pretože environmentálne podmienky ekosystému sa v laboratóriu ťažko replikujú, poskytujú biologické testy *in situ* realistickejší expozičný scenár ako tie, ktoré sa uskutočňujú v laboratórne kontrolovaných podmienkach, a to integráciou hlavných prírodných fluktuujúcich environmentálnych premenných, čo je obzvlášť dôležité pre ekosystémy, v ktorých sú podmienky životného prostredia veľmi premenlivé.

7 Ekosystémové služby ako diagnostické nástroje

Miléniové hodnotenie ekosystémov (MA) definuje ekosystémové služby ako výhody, ktoré ľudia získavajú z ekosystémov. Ekosystémové služby možno rozdeliť do štyroch širokých kategórií: zásobovanie, ako je výroba potravín a vody; reguláciu, ako je napríklad kontrola podnebia a chorôb; cykly živín a opelenie plodín; kultúrne, ako napríklad estetické a rekreačné výhody.

Medzi služby v jednotlivých štyroch kategóriách patria tieto položky:

1. Zásobovacie služby: „Produkty získané z ekosystémov“:

- potraviny (vrátane morských plodov a diviny), plodiny a korenie,
- suroviny (vrátane reziva, koží, palivového dreva, organických látok, krmiva a hnojív),
- genetické zdroje (vrátane génov na vylepšenie plodín a zdravotnej starostlivosti),
- voda,
- minerály,
- liečivá (vrátane liekov, farmaceutických výrobkov, chemických modelov a testovacích organizmov),
- chemické zdroje (počet potenciálne užitočných chemikálií je obrovský),
- energia (vodná energia, palivá z biomasy),
- okrasné zdroje (vrátane módy, remeselnej výroby, šperkov, domácich zvierat, dekorácií a suvenírov, ako sú kožušiny, perie, slonovina, orchidey, motýle, akváriové ryby, mušle atď.).

2. Regulačné služby: „Výhody plynúce z regulácie ekosystémových procesov“:

- sekvestrácia uhlíka a regulácia podnebia,
- rozklad odpadu a detoxikácia,
- čistenie vody a vzduchu,
- ničenie škodcov a chorôb,
- pufrovanie (zadržiavanie) vody (čím sa znižuje počet povodní a sucha),
- moderovanie všeobecných extrémov počasia,
- udržiavanie rozmanitosti,
- zachovanie množstva (zníženie erózie) a kvality (udržanie úrodnosti) pôdy.

3. Podporné služby: „Ekosystémové služby, ktoré sú potrebné na výrobu všetkých ostatných ekosystémových služieb“:

- distribúcia a cyklus živín,

- distribúcia osiva,
 - prvovýroba,
 - opelenie plodín a prirodzenej vegetácie.
4. **Kultúrne služby:** „*Nemateriálne výhody, ktoré ľudia získavajú z ekosystémov prostredníctvom estetického obohatenia a zážitkov, reflexie a rekreácie*“:
- kultúrne a estetické (príroda ako zdroj inšpirácie a motívov v umení, folklóre, národných symboloch, architektúre, reklame atď.),
 - historické (vrátane využívania prírody ako náboženskej hodnoty alebo hodnoty kultúrneho dedičstva),
 - rekreačné zážitky (vrátane ekoturistiky, outdoorových športov a rekreácie),
 - veda a vzdelávanie (vrátane využívania prírodných systémov pre školské exkurzie a vedecké objavy).

7.1 Klasifikácia ekosystémov

Ekosystémy možno rozdeliť do piatich tried, počnúc triedou, ktorú človek najviac využíva z hľadiska najväčšieho množstva služieb:

1. **Pobrežné zóny, jazerá, rieky:** regulácia, zásobovanie vodou, spracovanie odpadu, rekreácia, genetické zdroje, opelenie, cykly živín, biologická kontrola, výroba potravín, refúgium, doprava, suroviny, čistenie vzduchu, zmiernenie extrémov počasia, kultúrne.
2. **Mokrade:** regulácia, zásobovanie vodou, spracovanie odpadu, rekreácia, suroviny, genetické zdroje, opelenie, kolobeh živín, biologická kontrola, refúgium, kultúrne, tlmivé množstvá vody.
3. **Otvorené more, ústie riek, koralové útesy:** iba regulácia podnebia a plynu, veľmi malé spracovanie odpadu, oveľa menej rekreácie ako 1 a 2, suroviny, genetické zdroje, opelenie, cykly živín, (malá) biologická kontrola, refúgium (málo), kultúrne.
4. **Lesy, trávne porasty a (púšte):** hlavne suroviny, príliš málo genetických zdrojov, opelenie, cykly živín, biologická kontrola, refúgium (málo), kultúrne, rekreačné.
5. **Orná pôda:** iba výroba surovín (hlavne potravín).

8 Aplikácia environmentálnej technológie v environmentálnom manažmente

Environmentálna technológia je založená na technologickej metóde znižovania znečistenia; znamená to čistenie odpadových vôd, dymu a tuhého odpadu a pod. **Environmentálna technológia** je najvhodnejšia na riešenie problémov so znečistením z bodových zdrojov, pretože umožňuje použiť technologickú metódu priamo na bodovom zdroji, čo znamená, že množstvo odpadových vôd a tuhého odpadu je obmedzené a koncentrované. Je preto možné vyvinúť technologickú metódu, ktorá je vo väčšine prípadov schopná znížiť koncentráciu znečisťujúcich látok s vysokou účinnosťou. Environmentálna technológia si v mnohých prípadoch vyžaduje pomerne vysoké investície a prevádzkové náklady sú tiež často vysoké; aj keď existuje aj veľa príkladov relatívne nízkych prevádzkových nákladov. Po vývoji ďalších nástrojov na riešenie problémov so znečistením je zrejmé, že environmentálna technológia musí byť často kombinovaná s ostatnými nástrojmi, aby sa našlo najefektívnejšie a najhospodárnejšie riešenie, aj keď existuje aj niekoľko prípadov, keď je environmentálna technológia jedinou vhodnou metódou. Týka sa to najmä problémov priemyselného znečistenia, keď environmentálna technológia môže dokonca ponúkať možnosti zhodnotenia alebo recyklácie surovín.

8.1 Aplikácia environmentálnej technológie na problémy s odpadovými vodami

Vypúšťanie odpadových vôd z bodových zdrojov má negatívny vplyv na vodné ekosystémy. V mnohých situáciách je však možné ho kontrolovať a to buď odvádzaním alebo čistením odpadových vôd. Výsledkom odklonu vody však je znečistenie ďalšieho vodného útvaru po prúde. Správne čistenie odpadových vôd by sa preto malo považovať za všeobecne prijateľnejšie riešenie problému.

Problémy so znečistením vody spojené s komunálnymi a priemyselnými odpadovými vodami zahŕňajú ich obsah:

- živiny spôsobujúce eutrofizáciu,
- biologicky odbúrateľná organická hmota spôsobujúca úbytok kyslíka,
- baktérie a vírusy ovplyvňujúce hygienickú kvalitu vody, čo je obzvlášť dôležité, ak sa voda používa na rekreáciu a pitie,

- ťažké kovy, hlavne olovo, zinok a kadmium z odkvapových žľabov a kanálov, ťažké kovy z fungicídov a iných poľnohospodárskych chemikálií a široká škála ďalších ťažkých kovov v menších koncentráciách,
- perzistentné organické látky pochádzajúce z priemyselných odvetví, nemocníc a používania pesticídov, ba dokonca z použitia širokého spektra domácich potrieb.

Priemyselné odpadové vody môžu spôsobiť rovnaké problémy so znečistením vody ako komunálne odpadové vody ako aj ďalšie súvisiace s toxickými organickými, resp. anorganickými zlúčeninami (najmä ťažké kovy a perzistentné organické znečisťujúce látky). Je však potrebné riešiť problémy spojené s priemyselnými odpadovými vodami, ktoré sa ťažko dajú vyriešiť metódami čistenia komunálnych odpadových vôd priamo pri zdroji. Legislatíva, stanovuje, že priemyselné odvetvia sú povinné čistiť odpadové vody pred vypustením do verejnej kanalizácie. Hlavná časť toxických látok je preto dnes v priemysle odstránená, minimálne v priemyselných krajinách.

Dôrazne sa odporúča odstránenie najmä vysokých koncentrácií biologicky odbúrateľných organických látok pri zdroji, pretože zvyčajne je to oveľa nákladovo efektívnejšie. Vysoká koncentrácia biologicky odbúrateľných organických látok sa nachádza v odpadových vodách z bitúnkov, škrobární, rybárskeho priemyslu, mliekarní a konzervárenských závodov.

Tabuľka 3 poskytuje prehľad širokého spektra metód čistenia odpadových vôd.

Tab. 3 Všeobecne používané metódy čistenia odpadových vôd

<i>Metóda</i>	<i>Uplatnenie</i>
<i>mechanické čistenie</i>	odstránenie tuhých nečistôt, zníženie BSK ₅
<i>biologické čistenie</i>	zníženie BSK ₅
<i>flokulácia (vločkovanie)</i>	odstránenie fosforu (P), zníženie BSK ₅
<i>chemické zrážanie</i>	odstránenie P, zníženie koncentrácie ťažkých kovov, zníženie BSK ₅
<i>oddelenie (odčerpávanie) amoniaku</i>	odstránenie amoniaku
<i>nitrifikácia</i>	premena amónnych solí na dusičnany pomocou baktérií
<i>denitrifikácia</i>	odstránenie dusíka (N)
<i>výmena iónov</i>	zníženie BSK ₅ , odstránenie (zníženie koncentrácie) P a N
<i>chemická oxidácia</i>	oxidácia toxických zlúčenín
<i>extrakcia</i>	ťažké kovy a toxické zlúčeniny
<i>reverzná osmóza</i>	odstránenie polutantov (efektívna, ale drahá metóda)
<i>metódy dezinfekcie</i>	zníženie množstva organizmov
<i>ozonácia + aktívna adsorpcia C</i>	odstránenie perzistentných látok

Uvedené spôsoby sa často používajú v kombináciách dvoch alebo viacerých krokov na získanie celkovej účinnosti odstraňovania požadovanej z hľadiska nákladovo optimálneho riešenia. Metódy možno použiť aj v kombinácii s ekotechnológiou a čistejšou technológiou.

Mnoho existujúcich komunálnych čistiarní odpadových vôd bolo postavených pred rokmi alebo desaťročiami a nemusia spĺňať dnešné štandardy. Napriek tomu je možná modernizácia existujúcich čistiarní odpadových vôd, ktorá môže byť menej nákladná ako výstavba nových a byť prínosom pre životné prostredie. Atraktívnym riešením je často zavedenie terciárneho čistenia chemickým vyvrážaním a flokuláciou v existujúcej mechanicko-biologickej čistiarni s prídavkom chemikálií a flokulantov pred primárnou sedimentačnou fázou. Inštalčné náklady na toto riešenie sú malé a ďalšie prevádzkové náklady sú obmedzené na náklady na chemikálie. Výsledkom je 85 až 95 % odstránenie fosforu. Podobne je možné realizovať nitrifikáciu a denitrifikáciu zabezpečujúcu 80 až 85 % odstránenie dusíka inštaláciou dodatočnej kapacity na biologické čistenie, ktorá je podstatne lacnejšia ako inštalácia úplne novej čistiarne. Pretože čistenie odpadových vôd je nákladné, nemali by sa najvyššie prípustné koncentrácie stanovovať výrazne nižšie, ako je tolerovateľná koncentrácia pre ekosystém prijímajúci odpadové vody. V tejto súvislosti je potrebné zvážiť zákaz fosfátových detergentov, znižovať koncentrácie fosforu vo vodách vypúšťaných z komunálnych čistiarní odpadových vôd spolu so zvýšenou účinnosťou detergentov. Náklady na čistenie je možné výrazne znížiť zavedením detergentov neobsahujúcich fosfor. Správne plánovanie v počiatočnej fáze a zohľadnenie všetkých predvídateľných problémov ponúka najširšiu škálu nákladovo efektívnych možností. Prevencia znečisťovania v ranom štádiu je lepšia ako odstraňovanie znečistenia v neskoršom štádiu.

Dôležité zdroje znečistenia sa môžu znížiť, ak sa zabráni alebo minimalizuje skládkovanie kvapalného odpadu a kalu. Pre mestské oblasti sa používajú dve možnosti na zníženie zaťaženia ČOV:

1. znižovanie spotreby vody,
2. oddelovanie dažďovej vody od komunálneho domového odpadu.

Jedným z výsledkov týchto možností je, že je možné udržať menšiu kapacitu čistiarní odpadových vôd, čím sa dosiahne značná úspora nákladov. V súvislosti s udržateľným rozvojom sa objavili nové prístupy. Napríklad v niektorých lokalitách sa uvažuje o separačných toaletách. Zhromažďujú moč oddelene od výkalov, čo umožňuje využitie moču ako hnojiva a fekálie po vhodnej úprave použiť ako kompost.

Kombináciou dostupných metód čistenia je možné recyklovať komunálne odpadové vody – to znamená vyrábať pitnú vodu z komunálnych odpadových vôd. Recyklácia takpovediac trvá od toalety po vodovodný kohútik asi 8 až 10 dní. Štandardne trvá priemerne pár tisíc rokov prírode

recyklovať vodu, čo je samozrejme oveľa lepšie, aby sa zabezpečila dobrá kvalita vody. Recyklácia odpadových vôd sa uplatňuje v Pretórii v Južnej Afrike a vo Windhoeku v Namíbii z dôvodu nedostatočného zásobovania pitnou vodou. V Pretórii sa používa recyklácia pozostávajúca z nasledujúcich krokov: mechanicko-biologické čistenie, prevzdušňovanie, zrážanie vápna, odstraňovanie amoniaku, piesková filtrácia, chlórovanie, adsorpcia na aktívnom uhlí a druhé chlórovanie. Vo Windhoeku sa uplatňujú rovnaké kroky, okrem odstraňovania amoniaku.

8.2 Znižovanie znečistenia ovzdušia environmentálnymi technológiami

Najdôležitejšie problémy so znečisťovaním ovzdušia sú znečisťovanie tuhými časticami, znečistenie oxidom uhoľnatým, hydridmi uhlíka, oxidom siričitým, dusíkatými plynmi a ťažkými kovmi. Navyše, niektoré plyny ako oxid uhličitý, metán a oxidy dusíka majú skleníkový efekt. Prirodzeným zdrojom znečisťovania tuhými časticami sú piesočné búrky, lesné požiare a sopečná činnosť. Hlavnými zdrojmi v mestách sú vozidlá, spaľovanie fosílnych palív na vykurovanie a výrobu elektriny a priemyselná činnosť. Mnoho častíc je vysoko toxických (napr. azbest) a kovy (napr. berýlium, olovo, chróm, ortuť, nikel a mangán). Častice sú navyše schopné absorbovať plyny (vrátane oxidu siričitého, oxidov dusíka, oxidu uhoľnatého atď.), čo zvyšuje účinky týchto zložiek.

Znečistenie tuhých znečisťujúcich látok sa dá regulovať úpravou rozptylu – vyššími komínmi. Táto metóda v zásade predstavuje zastaranú filozofiu znižovania znečistenia, stále sa však často používa na zníženie koncentrácie znečisťujúcich látok na úrovni pôdy, a tým na minimalizáciu účinkov znečistenia ovzdušia. Technológia kontroly tuhých znečisťujúcich látok môže ponúknuť širokú škálu metód zameraných na odstraňovanie tuhých častíc z plynu. Ide o tieto metódy: usadzovacie komory, cyklóny, filtre, elektrostatické odlučovače, mokré pračky plynu a modifikácia charakteristík častíc. Všeobecne sú elektrostatické odlučovače najdrahším riešením a používajú sa hlavne na veľké množstvo vzduchu. Mokré pračky tiež patria k nákladnejším zariadeniam, zatiaľ čo usadzovacie komory a odstredivky (cyklóny) sú cenovo najefektívnejšie riešenia.

Motorové vozidlá sú tiež hlavným zdrojom znečistenia oxidom uhoľnatým. Hydridy uhlíka sú hlavnými zložkami ropy a zemného plynu a neúplné spaľovanie bude vždy zahŕňať ich emisie. Legislatíva hrá hlavnú úlohu pri kontrole emisií hydridov uhlíka a oxidu uhoľnatého. Pretože motorové vozidlá sú hlavným zdrojom týchto znečisťujúcich látok, metódy kontroly by sa mali

zjavne zameriavať na možnosti znižovania emisií z vozidiel. Metódy, ktoré sú v súčasnosti k dispozícii, sú:

1. technické metódy úpravy motorov,
2. dodatočné (prídavné) spaľovanie,
3. alternatívne zdroje energie.

Aj keď sú fosílna palivá hlavným zdrojom oxidu siričitého, niekoľko priemyselných procesov produkuje emisie obsahujúce oxid siričitý, napríklad ťažba, úprava rúd obsahujúcich síru a výroba papiera z buničiny. Celkové svetové emisie oxidu siričitého sa za posledných 30 rokov znižovali v dôsledku inštalácie zariadení na znižovanie znečistenia, najmä v Severnej Amerike, Európskej únii a Japonsku a v dôsledku používania nafty s nízkym obsahom síry. Oxid siričitý sa v atmosfére oxiduje na oxid sírový, ktorý vo vode vytvára kyselinu sírovú. Znečistenie oxidom siričitým preto nepriamo spôsobuje koróziu železa a iných kovov a je schopné okysľovať vodné ekosystémy. Zákony o čistom ovzduší boli zavedené vo všetkých priemyselných krajinách v priebehu 70. a 80. rokov 20. storočia. Prístupy použité na splnenie požiadaviek, ktoré sú zakotvené v normách, možno zhrnúť nasledovne:

1. prechod na palivo s nízkym obsahom síry,
2. úprava rozptylu – použitie vysokých komínov,
3. rušenie starých elektrární, ktoré majú obzvlášť vysoké emisie,
4. čistenie spalín.

Je známych sedem rôznych zlúčenín kyslíka a dusíka: N_2O , NO , NO_2 , NO_3 , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5 – často označované sumárne ako NO_x . Z hľadiska znečistenia ovzdušia sú zaujímavé hlavne NO (oxid dusnatý) a NO_2 (oxid dusičitý). Hlavnými zdrojmi týchto dvoch plynov sú spaľovanie benzínu a ropy (NO) a spaľovanie ropy, vrátane nafty (NO_2). Emisie z motorových vozidiel možno znížiť rovnakými metódami, aké sú uvedené pre hydridy uhlíka a oxid uhoľnatý. Dnes sa používa dvojité katalytický prídavný spaľovací systém. Aplikácia alternatívnych zdrojov energie je, podobne ako v prípade hydridov uhlíka a oxidu uhoľnatého, veľmi užitočnou metódou kontroly dusíkatých plynov v neskoršej fáze. Dusíkaté plyny pri reakcii s vodou vytvárajú dusičnany, ktoré sú odplavované dažďovou vodou. V niektorých prípadoch to môže byť významný zdroj eutrofizácie.

Ťažké kovy, ktoré možno definovať ako kovy so špecifickou hmotnosťou $> 5,00 \text{ kg.l}^{-1}$, obsahujú 70 prvkov. Väčšina z nich sa však nachádza len zriedka ako znečisťujúca látka. Väčšina ťažkých kovov nie je vo väčšine prostredí príliš biologicky dostupná. Znečisťujúce látky predstavujú najmä olovo, kadmium a ortuť kvôli ich extrémne vysokej toxicite. Ťažké kovy sú emitované do atmosféry výrobou energie a mnohými technologickými procesmi

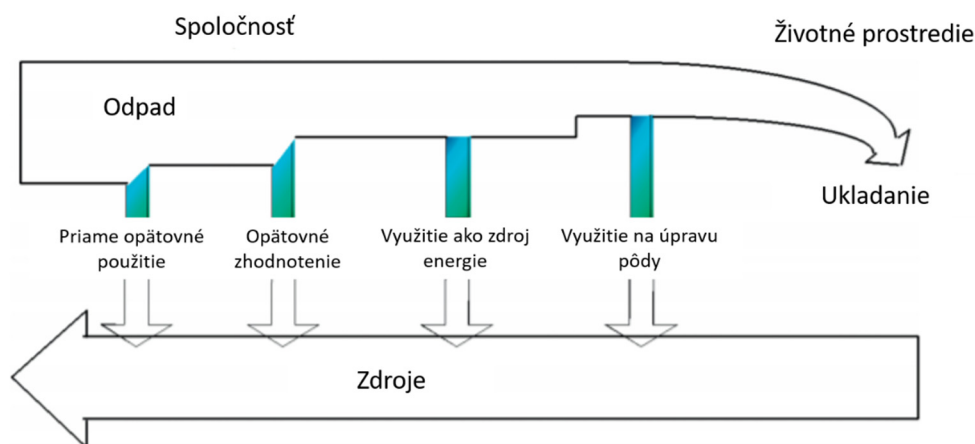
(spaľovanie ropy, benzínu, odpadu z uhlia a olejov, kovopriemysel, pesticídy). Atmosférické usadzovanie ťažkých kovov pochádzajúce z ľudskej činnosti je dominantným zdrojom znečistenia vegetácie. Obsah ťažkých kovov v kaloch a hnojivách hrá dôležitejšiu úlohu pre poľnohospodársku pôdu, kde tiež môžu vstupy ťažkých kovov zavlažovaním, prírodnými hnojivami a použitím chemikálií vrátane pesticídov prispieť k celkovej úrovni znečistenia. Atmosféra aj hydrosféra majú dobre vyvinutú schopnosť „samočistenia“ (napr. sedimentáciou). Litosféra má vysokú tlmiacu kapacitu voči účinkom väčšiny znečisťujúcich látok a má tiež schopnosť samočistenia, napríklad odtokom a absorpciou rastlinami, aj keď rozsahy sú zvyčajne oveľa nižšie ako v dvoch predchádzajúcich sférach.

Všetky druhy fosílnych palív budú pri spaľovaní produkovať oxid uhličitý, ktorý sa používa pri fotosyntetickej výrobe sacharidov. Oxid uhličitý ako taký je neškodný a nemá toxický účinok pri akýchkoľvek úrovniach koncentrácie, ale zvýšená koncentrácia oxidu uhličitého v atmosfére zvýši absorpciu infračerveného žiarenia a zmení sa tepelná bilancia Zeme. Emisie oxidu uhličitého súvisia s používaním fosílnych palív. Preto sa dajú riešiť iba použitím iných zdrojov energie.

8.3 Riešenie problémov s tuhým odpadom environmentálnou technológiou

Medzi tuhé odpady patrí neuveriteľné množstvo materiálov, čo znemožňuje určiť jedno jednoduché riešenie problému. Je potrebné aplikovať široké spektrum riešení problémov podľa zdroja a povahy odpadu.

Analýza začína preskúmaním hmotnostných tokov s cieľom zistiť, či existuje ekonomický základ pre opätovné použitie (napr. fľaše), zhodnotenie cenných surovín (napr. papier a kovy) alebo využitie organických látok na úpravu pôdy alebo na výrobu energie (obrázok 4).



Obr. 4 Princípy recyklácie ilustrované hmotnostnými tokmi

Analýza hmotnostných tokov zohľadňuje ekonomické a environmentálne problémy. Na dosiahnutie cieľov riadenia sú však potrebné právne predpisy a ekonomické prostriedky. Napríklad použitie vratných fliaš sa dá dosiahnuť buď zákazom používania nevratných fliaš, alebo zavedením dane z nákupu na nevratné fľaše a nie na vratné fľaše. Metódy založené na depozícii budú vyžadovať komplexné znalosti o vplyvoch životného prostredia na príslušné ekosystémy. Úplný rozklad na neškodné komponenty nie je pre väčšinu tuhých odpadov možný. Napríklad pri spaľovaní vznikne troska, ktorá by mohla spôsobiť problém s usadzovaním a dym, ktorý znečisťuje ovzdušie.

8.4 Metódy spracovania tuhého odpadu

Riešenie problémov s tuhým odpadom možno často klasifikovať podľa zdroja:

1. kal,
2. odpady z domácností,
3. priemyselný, banský a nemocničný odpad,
4. poľnohospodársky odpad.

Metódy používané pre tieto štyri triedy sú do istej miery odlišné, aj keď medzi nimi existuje určitý prienik.

1. Kal. Pri čistení odpadových vôd sa nečistoty skutočne neodstránia, ale skôr sa skoncentrujú vo forme kalu. Skutočné odstránenie nečistôt nastane až vtedy, keď dôjde k chemickej reakcii, napríklad chemickou alebo biochemickou oxidáciou organických látok na CO_2 a H_2O alebo denitrifikáciou dusičnanu na plyný dusík. Kal z priemyselných čistiarní odpadových vôd vo väčšine prípadov vyžaduje pred konečnou likvidáciou jeho koncentrovanie. V mnohých prípadoch sa na koncentrovanie kalu používajú dvoj alebo dokonca až trojstupňové procesy. Úprava kalu je proces, ktorý mení vlastnosti kalu tak, aby umožňoval ľahšie odstránenie vody. Cieľom je premeniť amorfný gélovitý kal na porézny materiál, ktorý uvoľňuje vodu. Úprava kalu sa dá dosiahnuť chemickými alebo fyzikálnymi prostriedkami. Chemické ošetrovanie zvyčajne spočíva v pridaní koagulantov alebo flokulantov do kalu. Amorfná gélová štruktúra kalu je odstránená aj zahrievaním. Na dosiahnutie vysokej koncentrácie sušiny (30 – 45 %) v kale je použiteľných niekoľko typov filtrov, ktoré výrazne znížia náklady na prepravu. Odstreďovanie sa tiež môže použiť na odstránenie vody z kalov. Účelom sušenia kalu je pripraviť ho na použitie na úpravu pôdy (hnojenie) alebo na spálenie. Pokiaľ kal obsahuje biologicky odbúrateľný organický materiál, môže byť výhodné pred zahustením tento kal upraviť aeróbnym alebo anaeróbnym rozkladom. Anaeróbny rozklad je zďaleka najbežnejšia

metóda. Vytvára dobré podmienky pre rast mikroorganizmov. Konečnými produktmi sú oxid uhličitý a metán. Vlastnosti aeróbne rozloženého kalu sú podobné ako u anaeróbne rozloženého kalu. Výhodou je, že sa predíde niektorým prevádzkovým problémom súvisiacim s anaeróbnym rozkladom, ale nevýhodou je, že tento proces je nákladnejší, pretože musí byť poskytnutý kyslík a nie je možné spätné získavanie energie z metánu.

2. Zloženie odpadu z domácností sa v jednotlivých krajinách líši. V jeho zložení sa do istej miery odráža environmentálna legislatíva a ekonomická úroveň krajiny. Množstvo domového odpadu na obyvateľa sa zvyšuje. Vo väčšine rozvinutých krajín bol rast od polovice 50. rokov 20. storočia do roku 1963 2 až 4 %, v období od polovice 70. rokov 20. storočia do roku 2010 bol 1 až 2 %.

Často je výhodné vykonať komplexnú analýzu domáceho odpadu s cieľom odhadnúť ekonomické a ekologické dôsledky rôznych stratégií environmentálneho manažmentu vrátane výberu najrelevantnejších metód spracovania. Analýza bude v tomto prípade obsahovať nasledujúce položky: (1) potravinový odpad, (2) papier, (3) textil, (4) koža a guma, (5) plasty, (6) drevo, (7) železo, (8) hliník, (9) iné kovy, (10) sklo a keramické výrobky, (11) popol a prach, (12) kameň, (13) záhradný odpad a (14) ostatný druh odpadu.

Separáciu pevného odpadu je možné dosiahnuť buď v centrálnom závode, alebo organizovaným separovaným zberom papiera, skla, kovov a iných druhov domového odpadu. Skládky boli predtým najbežnejšou metódou nakladania s tuhým odpadom. Dnes sa používa skládkovanie hlavne v menších mestách, často po drvení alebo stlačení, ktoré znižujú objem o 60 až 80 %.

Ukladanie tuhého odpadu na skládku je nenákladná metóda, má však množstvo nevýhod:

1. možné znečistenie podzemných vôd,
2. spôsobuje nepríjemnosti spôsobené zápachom,
3. láka nežiaduce organizmy (muchy a potkany),
4. rozklad biologicky odbúrateľného materiálu,
5. chemická oxidácia anorganických zlúčenín,
6. rozpúšťanie a premývanie materiálu,
7. difúzne procesy.

Kompostovanie sa často používa na úpravu poľnohospodárskeho odpadu. Normy pre kal sa uplatňujú aj pre kompost.

Spaľovanie domáceho odpadu a tuhého odpadu je všeobecne z hygienického hľadiska veľmi atraktívne, ale je to veľmi nákladný spôsob, ktorý má určité environmentálne nevýhody. Cenný materiál, ako je papier, sa nerecykluje, vzniká troska, ktorú je potrebné ukladať a vznikajú

problémy so znečistením ovzdušia. Napriek tomu je spaľovanie v mnohých, najmä väčších mestách preferovanou metódou. Tento vývoj možno vysvetliť rastúcim množstvom horľavého materiálu v odpade z domácností a možnosťami kombinácie spaľovní s diaľkovým vykurovaním. Pyrolýza je rozklad organických látok pri zvýšenej teplote bez prítomnosti kyslíka. Pri tomto procese sa vyrába plyn a troska, z ktorých sa dajú ľahko oddeliť kovy.

Pyrolýza je pomerne nákladný proces, aj keď zvyčajne o niečo lacnejší ako spaľovanie. Problémy s dymom sú rovnaké ako pri spaľovaní. Vyrobený plyn má zloženie blízke uhoľnému plynu a vo väčšine prípadov sa môže použiť priamo v systéme distribúcie plynu bez ďalšieho spracovania. Na tonu tuhého odpadu sa vyprodukuje približne 500 m³ plynu, ale na udržanie teploty sa v procese pyrolýzy použije 300 až 400 m³.

3. Priemyselný, banský a nemocničný odpad. Tento druh odpadu spôsobuje osobitné problémy, pretože môže obsahovať toxické látky v relatívne vysokých koncentráciách. Nemocničný odpad je obzvlášť podozrivý z dôvodu kontaminácie patogénmi a špeciálnymi odpadovými produktmi, ako sú jednorazové ihly a striekačky a rádioizotopy používané na detekciu a terapiu. Odpad z priemyslu a ťažby sa v jednotlivých miestach značne líši. Ak to zloženie umožňuje, možno ho skládkovať, ale ak obsahuje toxické látky, je potrebné špeciálne ošetrovanie. Väčšina nemocničného odpadu sa dnes spaľuje, čo je v mnohých prípadoch prijateľným riešením. Ak však tuhý odpad obsahuje toxické látky, malo by sa s ním nakladať ako s hazardným odpadom. S odpadom z nemocničných laboratórií by sa malo zaobchádzať minimálne rovnako ako s ostatnými druhmi chemického odpadu. S priemyselným a banským odpadom obsahujúcim toxické látky, ako sú ťažké kovy alebo toxické organické zlúčeniny, by sa malo nakladať oddelene od ostatných druhov tuhého odpadu. Mnoho krajín vybudovalo špeciálne závody na spracovanie tohto druhu odpadu, ktorý by sa dal nazvať chemický odpad. Nakoniec sa odporúča preskúmať možnosti zhodnotenia plastov. Hlavný problém s recykláciou plastov je spojený so širokou škálou chemicky odlišných typov plastov. Zmes rôznych druhov plastov, ktoré sa dajú zužitkovať, nemá rovnaké vlastnosti ako jednotlivé typy plastov a môže sa preto použiť iba tam, kde pevnosť a farba majú malý význam, napríklad pre plastové vrecká.

4. Poľnohospodársky odpad. Recyklácia sa vo veľkej miere využíva pri mnohých druhoch poľnohospodárskeho odpadu. Napríklad maštalný hnoj a hnojovica sa používajú ako hnojivo. Problém je v tom, že ak sa používajú bez dostatočnej kontroly a príliš intenzívne, budú nevyhnutne znečisťovať rieky a jazerá a dokonca aj pobrežné oblasti organickými látkami a živinami. Preto v mnohých krajinách existujú obmedzenia na aplikáciu maštalného hnoja na jeden ha. V poslednej dobe sa maštalný hnoj čoraz viac používa na výrobu bioplynu, čo je prakticky rovnaký princíp ako vyššie opísaný anaeróbny rozklad kalu. Slama, ktorá zostala

na poli po zbere obilnín sa v minulosti pálila priamo na poli, ale v mnohých krajinách to už nie je povolené kvôli nebezpečenstvu požiaru. Slama sa čoraz viac používa ako palivo na vykurovanie. Možnosťou je samozrejme aj zaorávanie slamy do pôdy ako kompenzácia straty organickej hmoty (zelené hnojenie).

9 Aplikácia ekologického inžinierstva v environmentálnom manažmente

Ekologické inžinierstvo je inžinierstvo v tom zmysle, že zahŕňa navrhovanie umelo vytvorených alebo prírodných ekosystémov alebo častí ekosystémov. Rovnako ako všetky inžinierske disciplíny je založené na základných vedách, v tomto prípade na ekológii a systémovej ekológii.

Ekologické inžinierstvo bolo zavedené na začiatku 60. rokov 20. storočia ako využitie prírodných zdrojov energie na riadenie a kontrolovanie environmentálnych systémov.

Ekologické inžinierstvo sa v súčasnosti praktizuje pod rôznymi názvami, vrátane ekotechnológie, obnovy ekosystémov, umelej ekológie, biomanipulácie, rehabilitácie ekosystémov, prírodného inžinierstva (v Holandsku) a pod.

Ekologické inžinierstvo by sa nemalo zamieňať s bioinžinierstvom alebo biotechnológiou.

Biotechnológia spočíva v manipulácii s genetickou štruktúrou buniek, na vytvorenie nových organizmov schopných vykonávať určité funkcie. **Ekotechnológia** nepracuje na genetickej úrovni, ale využíva ekosystémy, spoločenstvá, organizmy a ich bezprostredné abiotické prostredie a funguje ako samostatne sa vyvíjajúci systém, ktorý sa dokáže prispôsobiť zmenám vyvolaným vonkajšími silami, kontrolovaný ľuďmi alebo prirodzenými silami. Ekologické inžinierstvo nie je to isté ako environmentálne inžinierstvo. Všetky aplikácie ekotechnológií sú založené na kvantifikácii – to znamená, že sa uskutočňuje diagnóza pred výberom riešenia environmentálneho problému. Ekologické inžinierstvo čoraz viac využíva modely na uskutočňovanie návrhov konštrukcie ekosystémov alebo na kvantifikáciu výsledkov aplikácie konkrétnych metód ekologického inžinierstva na porovnanie s alternatívnymi použiteľnými metódami.

Ekotechnológia zahŕňa výstavbu umelých mokradí, obnovu riek, rekonštrukciu biotopov alebo rehabilitáciu území ovplyvnených banskou činnosťou.

9.1 Klasifikácia ekologického inžinierstva a ekotechnológie

Ekotechnológia môže byť založená na jednom alebo viacerých z nasledujúcich štyroch typov alebo tried:

1. Využitie ekosystémov na zníženie alebo odstránenie znečistenia. Typickým príkladom je využitie mokradí na čistenie odpadových vôd.

2. Napodobňovanie (kopírovanie) ekosystémov vytváraním umelých ekosystémov. Príkladom sú rybníky a umelé mokrade na čistenie odpadových vôd (malého množstva) alebo rozptýleného znečistenia.
3. Obnova ekosystémov po významnom narušení. Príkladom je rekultivácia uhoľných baní a obnova jazier a riek.
4. Využívanie ekosystémov v prospech ľudstva bez narušenia ekologickej rovnováhy, to znamená využívanie ekosystémov ekologicky šetrným spôsobom. Typickým príkladom je využitie integrovaného poľnohospodárstva a ekologicky vhodné krajinné plánovanie.

Názorné príklady všetkých štyroch tried ekologického inžinierstva možno nájsť v situáciách, keď sa ekologické inžinierstvo nahrádza ekologickým inžinierstvom, pretože metódy ekologického inžinierstva ponúkajú ekologicky prijateľnejšie riešenie a keď je ekologické inžinierstvo jedinou metódou, ktorá môže ponúknuť správne riešenie problém.

Ekologické inžinierstvo typu 1 je možné ilustrovať na mokradiach využívaných na znižovanie rozptýleného zaťaženia jazier živinami. Tento problém nie je možné vyriešiť pomocou environmentálnej technológie. Spracovanie kalu by sa dalo vyriešiť environmentálnou technológiou, konkrétne spaľovaním, ale ekologické inžinierske riešenie zneškodňovania kalu na poľnohospodárskej pôde, ktoré spočíva vo využití organického materiálu a živín v kale je z ekologického hľadiska podstatne prijateľnejšou metódou.

Aplikácia konštrukčných mokradí na zvládnutie difúzneho znečistenia je dobrým príkladom ekologického inžinierstva typu 2. Tento problém sa opäť nedá vyriešiť environmentálnou technológiou. Alternatíva v podobe environmentálneho inžinierstva je mechanicko-biologicko-chemická úprava, avšak tá je nákladná v pomere k množstvu odpadových vôd (kanalizácia, prečerpávacie stanice atď.). Riešenie vyžadujúce menej zdrojov bude vždy ekologicky vhodnejšie.

Obnova pôdy kontaminovanej toxickými chemikáliami je možná pomocou environmentálnej technológie. Vyžaduje si to však prevoz pôdy do prevádzky na úpravu pôdy, kde dochádza k biologickej biodegradácii kontaminantov. Ekologické inžinierstvo umožňuje čistenie *in situ* pomocou mikroorganizmov a/alebo rastlín. Táto metóda je nákladovo oveľa efektívnejšia a odpadne znečistenie súvisiace s transportom pôdy. Obnova jazier biomanipuláciou, inštalácia nádrží, odstránenie alebo pokrytie sedimentov, odčerpanie hypolimnetickej vody bohatej na živiny sú ďalšími príkladmi ekologického inžinierstva typu 3.

Typ 4 ekologického inžinierstva je do značnej miery založený na prevencii znečisťovania využívaním ekosystémov. V tomto prípade je ťažké nájsť alternatívy environmentálneho

inžinierstva, ale je zrejmé, že obozretná miera ťažby obnoviteľných zdrojov, či už dreva alebo rýb, je najlepšou dlhodobou stratégiou z ekologického a ekonomického hľadiska. Príkladom integrovaného poľnohospodárstva môže byť súbežný chov rýb a dobytky. Ryby môžu byť kŕmené rezíduami z fariem, ako sú listy, stopky alebo iné biologické odpady. Okrem toho sa planktón, ktorý je hlavným krmivom pre ryby, môže vyživovať pomocou maštalného hnoja od hospodárskych zvierat. V blízkosti chovu rýb sa dajú chovať aj priadky morušové. Kukly priadky morušovej sa potom môžu použiť na kŕmenie rýb. Bahno z rybníka je zase vynikajúce hnojivo pre poľnohospodárske plodiny.

Ďalšími príkladmi ekologického inžinierstva typu 4 je agrolesníctvo a permakultúra. **Agrolesníctvo** je spôsob hospodárenia na poľnohospodárskej alebo lesnej pôde, ktorý zámerne kombinuje pestovanie drevín s niektorou formou poľnohospodárskej produkcie na jednom pozemku. Ide teda o kombinovanie lesných alebo ovocných drevín s pestovaním poľnohospodárskych plodín a/alebo chovom hospodárskych zvierat. Dreviny sú účelovo pestované, nejedná sa teda o zalesňovanie poľnohospodárskej pôdy. Dreviny môžu byť vysádzané vo vnútri pôdnych blokov líniovo alebo v skupinách, kopírujúce terén alebo na ich okrajoch ako vetrolamy, živé ploty či hranice pozemkov.

Pôvodný význam pojmu **permakultúra** (*permaculture*) bol permanentné poľnohospodárstvo, t. j. poľnohospodárstvo schopné fungovať udržateľne na danom mieste donekonečna. Postupne boli zahrnuté všetky sociálne aspekty udržateľného rozvoja a jej význam bol rozšírený na permanentnú kultúru. Permakultúra vytvára a udržuje poľnohospodársky produktívne ekosystémy, ktoré majú rozmanitosť, stabilitu a odolnosť prírodných ekosystémov.

9.2 Využívanie ekotechnológie pri obnove jazier

K najdôležitejším metódam obnovy jazier patria:

- Pokrytie sedimentu inertným materiálom je alternatívou k odstráneniu sedimentov. Cieľom je zabrániť výmene živín (alebo toxických látok) medzi sedimentom a vodou. Všeobecná použiteľnosť metódy je obmedzená z dôvodu vysokých nákladov, aj keď môže byť menej nákladná ako odstránenie sedimentu.
- Odsávanie hypolimnetickej vody je z hľadiska nákladov vhodnejšie. Môže sa používať dlhšie obdobie. Účinok však závisí od významného rozdielu medzi koncentraciami živín v epilimnion a hypolimnion.

- Prevzdušňovanie jazier a nádrží je priamejšou metódou na zabránenie vzniku anaeróbnych podmienok. Používa sa aj prevzdušňovanie vysoko znečistených riek a potokov.
- Regulácia hydrológie sa rozsiahle využíva na prevenciu povodní. V poslednej dobe sa tiež považuje za uskutočniteľnú metódu na zmenu ekológie jazier, nádrží a mokradí. Ak sa retenčný čas v jazere alebo nádrži zníži pri rovnakom ročnom príjme živín, eutrofizácia sa zníži v dôsledku znížených koncentrácií živín. Táto forma ekotechnológie sa nazýva ekohydrológia. Integruje hydrologický rámec a ekologické ciele na zlepšenie kvality vody a ekosystémových služieb pomocou technických metód, ako sú hrádze, biomanipulácia, (znovu) zalesňovanie a ďalšie manažmentové stratégie.
- Tienenie pomocou stromov pri brehu je nákladovo efektívna metóda, ktorá však môže poskytnúť prijateľný výsledok iba pre malé jazerá.
- Reguláciu hnojív na zníženie množstva živín vstupujúceho do životného prostredia.
- Aplikácia mokradí alebo sedimentačných nádrží (pascí živín) by sa mohla považovať za použiteľnú metódu všade tam, kde sú významné nebodové zdroje znečistenia. Využívanie mokradí sa uplatnilo aj ako priama metóda čistenia odpadových vôd. Pravdepodobne je to najefektívnejšie riešenie strát živín z poľnohospodárskych oblastí. Živiny sú v mokradiach do značnej miery denitrifikované, adsorbované na sedimente alebo využité na rast rias a makrofytov. Manažment takýchto mokradí alebo nádrží si vyžaduje, aby sa veľká časť živín odstránila mechanicky zberom makrofytov. Mokrade sú dôležité nielen ako pasce živín, ale aj na udržanie druhovej diverzity a na zabezpečenie ekologicky vhodnej hydrológie v regióne.

9.3 Využívanie ekotechnológie na sanáciu (remediáciu) pôdy

Existuje široká škála dostupných metód na sanáciu kontaminovanej pôdy. Rozlišujeme medzi metódami založenými na odstránení kontaminovanej pôdy a metódami úpravy na mieste. Prvá skupina metód je zvyčajne nákladnejšia, pretože znamenajú pomerne nákladnú prepravu, ktorá sama osebe produkuje znečistenie. Tieto metódy sú čiastočne environmentálnymi technologickými metódami, sú však zahrnuté v tejto kapitole, pretože ich možno čiastočne považovať za metódy ekologického inžinierstva. Z ekologického hľadiska je potrebné uprednostniť metódy *in situ*, ktoré sa však nedajú použiť vo všetkých možných situáciách. Ošetrovanie kontaminovanej pôdy *in situ* sa javí atraktívnejšie z ekonomického aj ekologického hľadiska, pretože eliminácia prepravy pôdy znamená, že sú eliminované aj náklady

a znečistenie spojené s jej prepravou. Okrem toho má ošetrovanie *in situ* výhodu v tom, že je známe zloženie znečisťujúcich látok, čo umožňuje prispôbiť spôsob úpravy tomuto konkrétnemu zloženiu.

Niekoľko rastlinných druhov (napr. peniažtek modrastý (*Thlaspi caerulescens*)) sa dá použiť ako **bioakumulátory** (hyperakumulátory). Keď rastú v kontaminovanej pôde, sú schopné dosiahnuť mnohonásobne vyššiu (10 až 100 násobnú) koncentráciu ťažkých kovov ako bežné druhy rastlín. **Hyperakumulátory** sú zvyčajne rastliny, ktoré pomaly rastú, a preto pomaly odstraňujú ťažké kovy. Rýchlorastúce dreviny (topole, vrby) nie sú tak dobrými hyperakumulátormi ako mnoho iných druhov, ale vďaka svojmu rýchlemu rastu sú nádejnými fyto-remediátormi a využívajú sa na stabilizáciu kontaminantov v pôde, čím zabraňujú ich distribúcii do širšieho územia.

10 Zoznam použitej literatúry

- Advanced Permaculture Practicum. 2021. [online], [cit. 2021-09-20]. Dostupné na internete: <https://www.wildabundance.net/classes/advanced-permaculture-practicum/>
- AGNOLETTI, M. – SERNERI, S. N. (eds.). 2014. *The Basic Environmental History*, vol. 4. Switzerland : Springer International Publishing. 253 s. ISBN 978-3-319-09179-2.
- Agroforestry for Water and Energy. Center For Collective Intelligence MIT. 2021. [online], [cit. 2021-09-21]. Dostupné na internete: <https://www.climatecolab.org/contests/2016/energy-water-nexus/c/proposal/1330704#:~:text=Agroforestry%20is%20a%20land%20use,and%20sustainable%20land%20use%20systems.>
- ALLEN, F. H. – GIAMPIETRO, M. – LITTLE, A. M. 2003. Distinguishing ecological engineering from environmental engineering. In *Ecological Engineering*, vol. 20, p. 389 – 407. ISSN 0925-8574.
- ARROW, K. – BOLIN, B. – COSTANZA, R. – DASGUPTA, P. – FOLKE, C. – HOLLING, C. S. – JANSSON, B. O. – LEVIN, S. – MALER, K. G. – PERRINGS, C. – PIMENTEL, D. 1995. Economic growth, carrying capacity and the environment. In *Science*, vol. 268, pp. 520-521. ISSN 0036-8075.
- AYRES, R. U. – WARR, B. 2009. *The economic growth engine. How energy and work drive material prosperity*. Cheltenham : Edward Elgar. 411 p. ISBN 978-18498-0435-6.
- BARTOLETTO, S. 2012. Energy and economic growth in Europe. The last two centuries. In Chiarini B, Malanima P (eds.) *From Malthus' stagnation to sustained growth*. Palgrave Macmillan, Basingstoke, pp. 52–70.
- BERETTA, G. P. 2007. World energy consumption and resources: an outlook for the rest of the century. In *International Journal of Environ Technol Manag*, vol. 7, pp. 99–112. ISSN 1466-2132.
- BERKELEY WALTER, F. 2008. *Catastrophes: une histoire culturelle*. Paris : Editions du Seuil.
- BROWN, G. 1997. Environmental science under siege in the US Congress. In *Environments*, vol. 39, no. 2, pp. 12-31. ISSN 2076-3298.
- CHEN, X. – LI, F. – DU, H. – LIU, X. – LIU, S. – ZHANG, J. 2021. Fuzzy health risk assessment and integrated management of toxic elements exposure through soil-vegetables-farmer pathway near urban industrial complexes. In *Science of The Total Environment*, vol. 764, pp. 1-12. ISSN 1879-1026.

EHRLICH, P. R. – RAVEN, P. H. 1969. Differentiation of populations. In *Science*, vol. 165, pp. 1228-1232.

ENVIROMAGAZIN. 2012. Indikátorové správy v oblasti hodnotenia životného prostredia [online] [cit. 2021-01-20]. ISSN 1335-1877. Dostupné na internete: https://www.enviromagazin.sk/enviro2012/enviro2/24_indikatorove.pdf

FUTUREYOU CAMBRIDGE, 2021. What is bioavailability? [online], [cit. 2021-01-20]. Dostupné na internete: <https://futureyouhealth.com/about-bioavailability>

GRIFFIN, A. 2018. *Integrated Management Systems for Construction. Quality, Environment and Safety*. London : Routledge. 480 p. ISBN 978-13158-4711-5.

Integrated Farming. 2021. [online], [cit. 2021-09-20]. Dostupné na internete: <https://www.gktoday.in/gk/integrated-farming/>

IZAKOVIČOVÁ, Z. 2005. Integrovaný manažment krajiny – príklad implementácie na lokálnej úrovni. In *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae*, roč. 13, č. 1, s. 47–58. ISSN 1335-0285.

JORDAN, A. 1998a. The construction of a multi-level environmental governance system. In *Environment and Planning C*, vol. 17, iss. 1, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1068/c170001>.

JORDAN, A. 1998b. Step change or stasis? EG environmental policy after the Amsterdam summit. In *Environmental Politics*, vol. 7, no. 1, pp. 227-235. ISSN 0964-4016.

JØRGENSEN, S. E. – MARQUES, J. C. – NIELSEN, S. N. 2016. *Integrated Environmental Management: A Transdisciplinary Approach (Applied Ecology and Environmental Management)*. Boca Raton: CRC Press. 383 p. ISBN-13: 978-0367871680.

KARMIS, M. (ed.). 2001. *Mine health and safety management*. Littleton : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. 217 p. ISBN 0-87335-200-9.

KOSTIC, M. 2004. Work, power, and energy. In: *Encyclopedia of energy*, vol. 6. Amsterdam : Elsevier. pp. 527–538. ISBN 978-18497-2504-0.

KOSTIC, M. 2007. Energy: global and historical background. In *Encyclopedia of engineering*, New York : Francis & Taylor. 256 p. ISBN 978-00714-3952-7.

MARRIS, C. – LANGFORD, I. – O' RIORDAN, T. 1998. A quantitative test of the cultural theory of risk perceptions: comparison with the psychometric paradigm. In *Risk Analysis*, vol. 18, no. 3, pp. 190-205. ISSN 1539-6924.

MARTINÍK, A. – LOJKA, B. – EHRENBERGEROVÁ, L. et al. 2020. *Když se řekne agrolesnictví*. Brno : Mendelova univerzita v Brně. 66 s. ISBN 978-7509-748-4.

MITSCH, W. J. 1996. *Ecological Engineering: A New Paradigm for Engineers and Ecologists*. [online], [cit. 2021-01-20]. Dostupné na internete:

- MOLLYSON, B. – SLAY, R. M. 1994. *Úvod do permakultúry*. Prešov : Grafotlač Prešov. 2 upravené vydanie. 228 s. ISBN 80-968132-0-X.
- O' RIORDAN, T. (ed.). 2014. *Environmental Science for Environmental Management*. 2. vyd. London : Routledge Taylor and Francis Group. 97 s. ISBN 978-0-582-35633-7.
- SANZ-CALCEDO, J. G. – GONZÁLEZ, A. G. – LÓPEZ, O. – SALDAGO, D. R. – CAMBERO, I. – HERRERA, J. M. 2015. Analysis on Integrated Management of the Quality, Environment and Safety on the Industrial Projects. In *Procedia Engineering*, vol. 132, pp. 140-145. ISSN 1877-7058.
- Sarkar, D. – Datta, R. – Mukherjee, A. – Hannigan, R. (eds.). 2015. *An Integrated Approach to Environmental Management*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 624 p. ISBN: 978-1-118-74435-2.
- SHACKLEY, S. – WYNNE, B. 1995. Global climate change: the mutual construction of an emergent science policy domain. In *Science and Public Policy*, vol. 2, no. 4, pp. 218-230. ISSN 0302-3427.
- STEPHENSON, R. L. – HOBDAY, A. J. – CVITANOVIC, C. – ALEXANDER, K. A. – BEGG, G. A. – BUSTAMANTE, R. H. – DUNSTAP, P. K. et al. 2019. 'A practical framework for implementing and evaluating integrated management of marine activities'. In *Ocean and Coastal Management*, vol. 177, pp. 127-138. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2019.04.008.
- Theodore, M. K. – Theodore, L. 2010. *Introduction to Environmental Management*. Boca Raton: CRC Press. 556 p. ISBN: 978-1-4200-8907-3.
- WALKER, J. S. 2004. *Three Mile Island: a nuclear crisis in historical perspective*. CA : University of California Press.
- WIKIPEDIA. 2021a. Manažment. [online], [cit. 2021-01-20]. Dostupné na internete: [https://sk.wikipedia.org/wiki/Mana%C5%BEment_\(%C4%8Dinnos%C5%A5\)](https://sk.wikipedia.org/wiki/Mana%C5%BEment_(%C4%8Dinnos%C5%A5))
- WIKIPEDIA. 2021b. Biomarker. [online], [cit. 2021-01-20]. Dostupné na internete: https://en.wikipedia.org/wiki/Ecological_engineering.
- WYNNE, B. – MEYER, S. 1993. How science fails the environment. In *New Scientist*, vol. 5, pp. 33-35. ISSN 0262-4079.
- Zákon č. 17/1992 Zb. Zákon o životnom prostredí v znení č. 127/1994 Z. z., 287/1994 Z. z., 171/1998 Z. z., 211/2000 Z. z., 332/2007 Z. z.

Názov: INTEGROVANÝ MANAŽMENT ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA
Autori: Ing. Martin Hauptvogel, PhD.
doc. Ing. Martin Prčík, PhD.
Ing. Mariana Eliašová, PhD.
Vydavateľ: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Rok vydania: 2021
Vydanie: Prvé
Forma: online
Počet strán: 73
AH – VH: 4,36 – 4,5

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.

Za odbornú náplň vydania zodpovedajú autori.



ISBN 978-80-552-2411-4

DOI: <https://doi.org/10.15414/2021.9788055224114>