

Ekoremediacije



IZVLEČEK

Ekoremediacije so biotehnološke metode, ki za zaščito in sanacijo okolja uporabljajo naravne in sonaravne procese in sisteme. Poleg ekoremediacij sta v širši rabi še sorodna pojma bioremediacije in fitoremediacije. Gre za učinkovite, hitre, enostavne, stroškovno manj zahtevne in preizkušene okoljske tehnologije. Podrobneje sta predstavljena dva primera tovrstnih sistemov, uporabna za izboljševanje vodnega okolja: rastlinske čistilne naprave in blažilna območja.

KLJUČNE BESEDE:

ekoremediacije, zaščita okolja, saniranje okolja, rastlinske čistilne naprave, blažilna območja.

ABSTRACT

The ecoremediations - the unknown acquaintances of the environment preservation and sanitation
The ecoremediations are biotechnological methods using natural and co-natural processes for the environment preservation and sanitation. Beside ecoremediations, allied terms are in common use: bioremediations and phytoremediations. They are usually evaluated as effective, fast, uncomplicated, financially acceptable and practice-tested environmental technologies. Two examples of this kind of systems, useful for the water environment improvement are presented in the article (i.e. constructed wetlands and buffer zones).

KEY WORDS:

ecoremediation, environmental preservation, environmental rehabilitation, constructed wetlands, buffer zones.

Avtor:

BOGDAN MACAROL, Limnos - podjetje za aplikativno ekologijo d.o.o., Ljubljana, Slovenija
E-pošta: bogdan.macarol@guest.arnes.si

neznane znanke pri zaščiti in obnovi okolja

Problematika kakovosti in količine voda je na začetku 21. stoletja povsem drugačna in bolj zaskrbljujoča, kot je bila v preteklosti. Problemi kakovostne vodooskrbe so še pred nekaj desetletji pomembno vplivali na razvoj pionirskih okoljevarstvenih strategij, programov in tehnologij. Prvotni pristop, ki je temeljil na parcialnem obravnavanju posameznih vodnih virov s strani posameznih uporabnikov, nič več ne zadovoljuje potreb po celovitem (integralnem) varovanju in rabi voda, niti ne omogoča sodobnega trajnostnega razvoja, s katerim si prizadevamo doseči uravnoteženo zadovoljevanje okoljskih, gospodarskih in družbenih ciljev.

Ena od največjih prednosti Slovenije je obilje sicer neenakomerno razporejenih voda, kar pa žal ne moremo trditi za njihovo kakovostno stanje in smotrnost njihove rabe. Eden od glavnih vzrokov njihovega čezmernega onesnaženja so točkovni izpusti komunalnih in tehnoloških odpadnih voda, ki neposredno ogrožajo površinske vode, posredno pa tudi zaloge podzemnih voda, ki so marsikje namenjene vodooskrbi. Stanje še poslabšujejo razpršeni viri onesnaževanja, zlasti kmetijstvo, ter linijski viri onesnaževanja, med katerimi je v ospredju promet.

Za izvajanje celostnega in trajnostnega upravljanja z vodami so zadolžene javno-upravne ustanove na državni in lokalni ravni, ki si delijo odgovornost za (ne)izvajanje okoljske politike. Pri usklajevanju različnih interesov rabe in varovanja voda je pomembna tudi vloga drugih gospodarskih in negospodarskih institucij, nevladnih organizacij in celotne javnosti. Operativni program odvodnjavanja in čiščenja komunalnih odpadnih voda s programom projektov vodooskrbe (MOP, 1999) navaja, da je potrebno večino sanacij virov onesnaženja voda izvesti najkasneje med letoma 2008 in 2017, da bi bilo tako na kanalizacijsko omrežje z drugo ali tretjo stopnjo čiščenja odpadnih voda priključenih 91 % prebivalstva Republike Slovenije.

Kaj so ekoremediacije?

Do pred nekaj desetletji so v praksi prevladovala konvencionalne remediacijske metode za onesnažena tla (izkop in sežig) in podtalnico (izčrpavanje in obdelava), ki so običajno počasne in drage, obenem pa povečujejo število ogroženih lokacij ter ogroženost ljudi. Zaradi potreb po razreševanju teh problemov so v zadnjih desetletjih po svetu razvili tehnologije, ki temeljijo na razstrupljanju in razgradnji oziroma uničenju onesnaževal. Torej ne gre le za njihovo odstranitev, kar je značilnost večine konvencionalnih tehnologij odpravljanja onesnaženja. Ključno vlogo ima prav skupina biotehnologij, ki jih združujemo v raznovrstno skupino ekoremediacij.

Bolj kot pojem ekoremediacije (ERM) sta bila do pred kratkim znana izraza bioremediacija (mikrobno razstrupljanje oziroma proces, pri katerem mikroorganizmi, zlasti glive in bakterije, spremenijo okoljsko onesnaženost do neškodljivih končnih produktov; 16) in fitoremediacija (rastlinsko razstrupljanje; 15). Oba procesa sta ožji strokovni področji in zato podvrsti ERM. Posamezne biotehnološke remediacije so že vključene v študijske programe na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani ter na Politehniko, Fakulteti o okoljskih vedah v Novi Gorici.

Dandanes so ERM čedalje pomembnejša in v razvitem svetu neizogibna prvina strategij varovanja okolja, saj pomenijo možnost udejanjanja ciljev varovanja in obnavljanja vodovja, prstene odeje,

ozračja, posledično pa tudi živega sveta, ker:

- temelji proces zaščite na naravno oziroma sonaravno potekajočih biogeokemijskih procesih;
- je cilj obnove razgradnja, stabilizacija in/ali imobilizacija naravnih oziroma umetnih onesnaževal;
- so cenejše, saj v primerjavi z večino drugih postopkov saniranja skrajšujejo čas čiščenja in zahtevajo manjša naložbena sredstva, tako ob urejanju samega sistema kot tudi za njegovo obratovanje in vzdrževanje.

ERM so uporabne tako za obnovo kot tudi zaščito različnih vodnih, obvodnih in nanje navezanih ekosistemov. Poleg gosteje naseljenih predelov jih lahko uporabimo tudi za redko naseljena območja, majhne in med seboj oddaljene zaselke ter podeželje nasploh, kjer se praviloma pojavljajo količinsko majhne, a stalne odpadne vode, in kjer so običajno za njihovo sanacijo na voljo le skromna sredstva.

V vodnem okolju so pomembne zlasti naslednje funkcije ERM (17):

- zadrževanje vode (na primer poplavnega vala) vzdolž celotnega vodotoka ob ohranjanju oziroma obnavljanju prvotnih značilnosti ali renaturiranju zadrževalnih (retenzijskih) območij,
- ohranjanje in povečevanje samočistilne sposobnosti vodotokov,
- ohranjanje in izboljševanje bivališčnih (habitatnih) razmer različnih organizmov.



Slika 1: Nekatere lesne rastline so s svojim gostim in globokim koreninskim sistemom sposobne prestreči velike količine vode in v njej raztopljenih snovi. Prikazana je uporaba dreves za saniranje degradiranega območja odlagališča odpadkov na Ljubljanskem barju (foto: Bogdan Macarol).

Rastlinske čistilne naprave

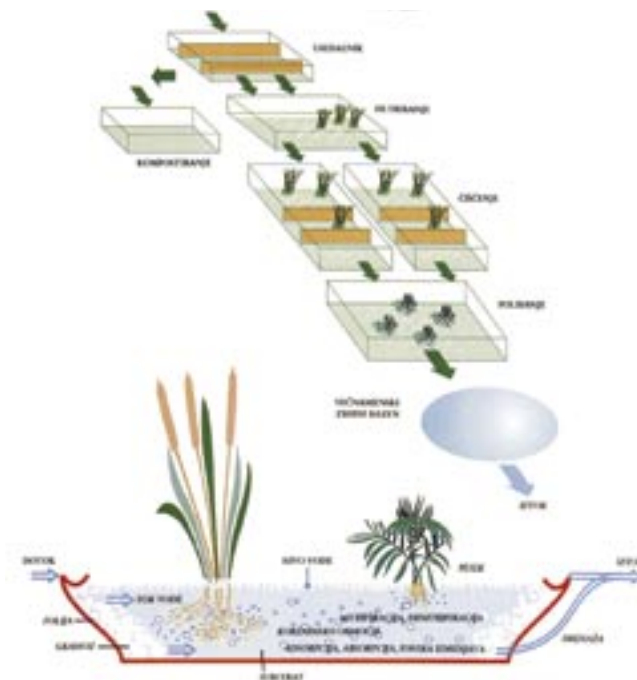
Za čiščenje onesnaženih voda obstajajo različni sistemi, v katerih mehanski, fizikalno-kemijski in biološki procesi delujejo bodisi posamezno ali v medsebojni povezanosti. Med biološkimi sistemi se uveljavljajo nekatere nove rešitve, ki skušajo v kar največji meri posnemati naravne procese. To velja tudi za rastlinske čistilne naprave (RČN). Gre za čistilne naprave za odpadne vode, ki posnemajo samočistilne procese v naravnih močvirskih ekosistemih. Pri njihovem načrtovanju in vzpostavljanju je pomembno zagotoviti čim večjo učinkovitost čiščenja na čim manjšem območju.

V te sisteme so vključene močvirske rastline, različni substrati in nanje vezani mikroorganizmi, ki iz odpadne vode odstranjujejo onesnaževala. Glede na vrsto odpadnih voda (komunalne, tehnološke, padavinske) in njihovo različno sestavo so RČN projektirane tako, da je zagotovljena kar največja učinkovitost čiščenja. RČN omogočajo tudi ponovno uporabo očiščene odpadne vode, možnost vzpostavitve oziroma ohranitve pomembnih močvirskih habitatov in s tem povečevanje pestrosti okolja, ob vsem tem pa so tudi estetsko neproblematične.

Kako čistimo vodo v RČN?

Vsi omenjeni procesi se dogajajo tudi v RČN, seveda v nadzorovanih okoliščinah (prostor, čas, učinkovitost). RČN lahko izboljšajo kakovost vode ob pomoči širokega spektra bioloških in fizikalno-kemijskih procesov, ki se naravno pojavljajo v močvirskih okoljih. Mikroorganizmi, ki živijo na vodnih rastlinah in na substratu, pretvarjajo organsko snov in nutiente v odpadni vodi v hranilno snov, ki pestri močvirski združbi zagotavlja ugodne življenjske razmere. Rastline v njej so dejavne pri odvzemu razpoložljivega dušika, fosforja in drugih spojin (tudi težkih kovin) iz odpadne vode.

Ob pravilni konstrukciji in primerni uporabi lahko RČN iz komunalnih in industrijskih odpadnih voda učinkovito odstranijo večino onesnaževalcev. Še zlasti učinkovite so pri odstranjevanju oziroma



Slika 2: Shematski prikaz rastlinske čistilne naprave s podenotami in funkcijami.

zniževanju vsebnosti suspendiranih trdnih delcev, dušika, fosforja, ogljikovodikov, biološke potrebe po kisiku (BPK) in tudi kovin.

Znani so različni podatki glede učinkovitosti zmanjšanja onesnaževanja z RČN: pri suspendiranih snoveh za od 80 do 95 %, celokupnem fosforju od 70 do 90 %, celokupnem dušiku od 70 do 90 %, BPK5 od 70 do 85 %, KPK od 70 do 85 %, za kovine (kot so kadmij, krom, cink in živo srebro) od 50 do 90 %, svinec od 80 do 95 % ter koliformne bakterije in bakterije fekalnega izvora celo do 99 %.

Ob pravilnem vzdrževanju in upravljanju so RČN učinkovita, zanesljiva in poceni tehnologija. Uporabljati jih je mogoče v najrazličnejših geografskih okoljih, vključno s sušnimi, tropskimi in gorskimi pokrajinami. Čistijo lahko tudi s hranilnimi snovmi bogate odpadne vode v ekstremnih vremenskih razmerah, na primer v času zmrzali. Njihove dimenzije se lahko prilagajajo velikosti, obliki in lokaciji onesnaževanja, pri čemer je glavni omejitveni dejavnik razpoložljiva velikost zemljišča. Tuje izkušnje poročajo tudi o učinkovitem delovanju RČN v visokogorju. Zaradi ohranjene talne mikrobne aktivnosti zagotavljajo visoko učinkovitost čiščenja celo pozimi, ko so prekrite s snegom.

Oblikovanje in ureditev RČN

Čistilni sistem sestavljajo vodni zadrževalniki, naprave za mehansko predčiščenje, sedimentacijski bazeni in sistem gred RČN, lahko pa tudi bazen, ki kot končni člen v verigi omogoča tudi večnamensko rabo vode (na primer za zalivanje, gašenje požarov, oživiljanje kalov kot pomembne pokrajinske prvine). Po mehanskem predčiščenju se voda steka v sistem s posebno folijo izoliranih vodotesnih gred, kjer se vodoravno ali navpično pretaka po substratu, s katerim so napolnjene grede. V substrat, ki je navadno mešanica več vrst peska, so zasajene različne vlagoljubne rastline, najpogosteje navadni trst (*Phragmites australis*) in rogoz (*Thypha latifolia*). Zaradi koreninskega in rizomskega sistema vlagoljubnih rastlin ter mikroorganizmov je v substratu ugodna struktura rizosfere, ki je pri čiščenju še posebno učinkovita. Ureditev naprave je zelo enostavna, prav tako je enostavno in ceneno njeno obratovanje in vzdrževanje. Skozi sistem se voda pretaka gravitacijsko, zato za njegovo obratovanje običajno nista potrebna ne strojna oprema ne dodatna energija. Napravo sestavlja več podenot z različnimi funkcijami (na primer filtracija, anaerobno in aerobno čiščenje, poliranje itd.), zato je lahko razgibano oblikovana, upoštevajoč značilnosti zemljišča oziroma vrsto odpadnih voda.

Za doseganje učinkovitega čiščenja sta najbolj pomembna pravilna oblikovanost posameznih gred RČN in pravilno načrtovanje prostornine sistema glede na spreminjajoče se količine odpadne vode in njeno neenako onesnaženost. V Sloveniji imamo pri RČN najboljše izkušnje s podpovršinskim tokom vode, kar med drugim onemogoča razvoj insektov (na primer komarjev) in preprečuje oziroma omili morebitne neprijetne vonjave.

Trenutno deluje v Sloveniji 28 RČN, projektiranih pa jih je bilo več kot 80. Njihova raba je največkrat namenjena čiščenju:

- komunalnih odpadnih voda celotnih naselij,
- komunalnih odpadnih voda posameznih gospodinjstev in gostinskih objektov,
- nevarnih izcednih voda iz odlagališč komunalnih odpadkov,
- določenih tehnoloških odpadnih voda (npr. iz živilske industrije),
- rudniških odpadnih voda,
- odpadne vode s cestišč in parkirišč,
- odpadne vode iz živinorejskih farm,
- voda, ki pritekajo iz velikih čistilnih naprav, v katerih se izvaja le mehansko čiščenje.

Z njimi se odpravlja tudi onesnaženost vode, ki jo povzročajo netočkovni viri, zlasti pretirano gnojenje obdelovalnih zemljišč, učinkovite pa so tudi tam, kjer so količinske obremenitve neenakomerne, na primer pri turističnih (npr. kampingih) in gostinskih objektih.



Slika 3: Rastlinske čistilne naprave so preizkušena, cenovno ugodna in estetska okoljska tehnologija za čiščenje različnih vrst odpadnih voda. Prikazana je uporaba RČN za izcedne vode na odlagališču odpadkov na Ljubljanskem barju (foto: Bogdan Macarol).

Blažilna območja

Blažilna območja so zaščitne in sanacijske cone z različnimi rastlinami in drugimi organizmi, običajno urejena na robnem območju emisij oziroma drugih negativnih okoljskih vplivov. Značilen primer blažilnih območij (BO) so pregrade, ki razdvajajo na primer območja s kmetijsko, mestno ali prometno rabo in vode z odprto vodno gladino. BO izboljšujejo kakovost vode, varujejo zrak in prsti ter zaradi izboljšanih prehrabnih in bivališčnih lastnosti (boljše svetlobne, kisikove in toplotne razmere) obvodnega habitata povečujejo biološko pestrost. Pomembna je tudi njihova sposobnost čiščenja onesnažene vode in prsti. Terenske raziskave dokazujejo, da so dnevno sposobne zadržati tudi do 13 g N/m² in do 9 g P/m², kar na primer pri vrbah v enem letu pomeni od 80 do 100 kg dušika na hektar. Letno lahko na hektarju zadržijo tudi do 20 g kadmija. V tovrstnih tehnobioloških sistemih je letni prirast rastlin izražen kot suha snov tudi do 14,4 t na hektar. Poraba vode in v njej raztopljenih snovi je neposredno odvisna od hitrosti prirasta biomase. Pri toplih se ocenjuje, da se na enoto priraščene biomase porabi od 600 do 1000 enot transpirirane čiste vode, ki s prehajanjem v ozračje posredno izboljšuje tudi podnebne razmere v bližnji in daljni okolici. Ker se prevzem snovi spreminja s starostjo rastlin, je smiselno izvajati njihovo pomlajevanje, posekano lesno biomaso pa porabiti kot trajnosti vir kuriva.



Slika 4: Blažilna vegetacijska območja so običajno sestavljena iz več podenot. Prva je praviloma cona avtohtone vegetacije. Naslednja cona je od vode nekoliko odmaknjena in lahko ima tudi lesno proizvodno vlogo, medtem ko je za tretjo cono značilen mehak prehod do običajno intenzivneje rabljenih kmetijskih ali ostalih zemljišč v soseščini. Prikazana je primerna raba varovalnega obrežja Drave med Ptujem in Ormožem (foto: Bogdan Macarol).

NARAVNA MOČVIRJA KOT IDEJA ZA VZPOSTAVLJANJE RČN

Čistilno sposobnost rastlin in pomen močvirij so poznali že stari Egipčani in Azteki, ki so v rekah vodo za pitje zajemali samo med plavajočimi rastlinami. Ekologi so si enotni, da so močvirja eden od najpomembnejših ekosistemov na Zemlji, saj delujejo kot "ledvica pokrajine", pri čemer ne le uravnava pretok površinskih voda, ampak z zadrževanjem sedimentov in odstranjevanjem hranil izboljšujejo tudi njihove biološke in kemijske lastnosti, tako da lahko postanejo potencialni vir pitne vode. V porečju z od 5 do 10 % močvirskih zemljišč je v primerjavi s porečjem brez močvirij mogoče doseči tudi polovično zmanjšanje količine poplavnih voda. Učinke poplav zmanjšujejo z zadrževanjem vodnih viškov na poplavnih ravninah in zadrževanjem vode v manjših umetnih vodnih telesih. Zamočvirjeno območje ob vodotoku stabilizira njegove bregove, saj ravno površje zagotavlja ugodno rastišče za rastline, ki z gostim koreninskim spletom utrjujejo tla. Rastline imajo tudi pomembno vlogo v prehranjevalni verigi in pri ohranjanju biološke raznovrstnosti.

Zaradi raznovrstne uporabe so BO primerna tako za prestrežanje onesnaževanja iz:

- razpršenih virov (ob vodotokih ali na obrežjih jezer, obdanih s kmetijskimi zemljišči),
- linijskih virov (cest),
- točkovnih virov (posamezna gospodinjstva in različno velika naselja, razni industrijski in obrtni izpusti ter izpusti iz živinorejskih farm, izcedki iz odlagališč odpadkov ipd.).

Čprav se BO v okviru fitoremediacije bolj ali manj načrtno uporabljajo povsod po svetu, se z njimi najbolj zagnano ukvarjajo v skandinavskih državah in Združenih državah Amerike, kjer je tudi največ tovrstnih objektov.

Slovenija in ekoremediacije

Slovenija je s sprejetjem programskih dokumentov primorana nemudoma pričeti z izvajanjem trajne zaščite stoječih, tekočih in podzemnih voda ter bolj prizadevno čistiti odpadne vode. To pomeni, da je ob dejstvu, da ne spada med najbogatейše države, potrebno uveljavljati zlasti stroškovno manj zahtevne metode, ki so enostavne in učinkovite.

Ekoremediacije so prav gotovo ena izmed najbolj realnih slovenskih perspektiv za doseganje časovno in kakovostno ostrih normativov.

Sodobne razvojne rešitve morajo biti v prid obnove in varovanja okolja trajnostno naravnane, to pa so le takrat, kadar se enakopravno vključujejo trije glavni

segmenti našega obstoja in delovanja, to je družba, gospodarstvo in okolje. V tej trajnostno naravnani dimenziji je povsem logično, da se nekontrolirano onesnaževanje voda (zlasti z dušikovimi in fosfornimi hranili) omejuje z blažilnimi območji, tamkajšnji prirast lesne biomase pa se kot obnovljivi trajnostni energent lahko uporabi za krajevne potrebe.

Človeštvo kopiči znanje, izkušnje in védenje šele zadnjih nekaj tisočletij, pri čemer se sistema ekoremediacij nezavedno poslužuje že ves čas svojega obstoja.

Marsikateri vzor za delovanje antropogenih sistemov je mogoče najti in po potrebi izboljšati po naravnih zgledih, ki so, izključno zaradi učinkovitosti in gospodarnosti, na našem planetu v samouporabi že več milijard let.



Literatura

1. Bulc, T., Macarol, B., Vrhovšek, D., Zupančič, M., 2002: Alternativni načini reševanja problema odpadnih voda v razpršeni poselitvi na območju MO Ljubljana, Mestna občina Ljubljana, Ljubljana.
2. Bulc, T., 2002: Metoda čiščenja z močvirskimi rastlinami, Tehnika in narava št. 4/2002, ČZD Kmečki glas, Ljubljana.
3. Harper, D., 1992: Eutrophication of Freshwaters, Principles, problems and restoration, Chapman & Hall, London.
4. Haycock, N. E., Burt, T. P., Goulding, K. W. T., Pinay, G. (uredniki), 1997: Buffer Zones, Their processes and Potential in Water Protection, Quest Environmental, Foundation for Water Research, Oxford.
5. Home, A. J., Goldman, C. R., 1994: Limnology, 2nd edition, McGraw-Hill International Editions, Biological Science Series, London.
6. Waste Water Tehnology, 1989: Origin, Collection, Treatment and Analysis of Waste Water, Fresenius W. (urednik). Springer Verlag, Berlin.
7. Kadlec, R. H., Knight, R. L., 1996: Treatment wetlands, Lewis Publishers, CRC Press, Inc., Boca Raton.
8. Koudelkova, B., 1999: Effects of the hydropower peaking on distribution of periphyton in the cross section of a regulated river, Dissertation abstract, Faculty of Sciences, Masaryk University in Brno, Department of Zoology and Ecology, Brno.
9. Kramer, P. J., Boyer, J. S., 1995: Water Relations of Plants and Soils, Academic Press, London.
10. Lanz, K., Scheuer, S., 2001: EEB Handbook on Water Policy under the Water Framework Directive.
11. Licht, L. A., 1993: Ecolotree cap densely rooted trees for water management on landfill covers, 86th annual Air & waste management association meeting and exhibition, Denver.
12. Moshiri, G. A., 1993: Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, Lewis Publisher, Boca Raton.
13. Panjan, J., 2002: Osnove zdravstveno hidrotehnične infrastrukture, Univerza v Ljubljani, Ljubljana.
14. Perttu, K. L., Kowalik, P. J., 1997: Salix vegetation filters for purification of waters and soils, Biomass and Bioenergy 1/12, Pergamon Press, str. 9-19.
15. Raskin, I., Ensley, B. D., 2000: Phytoremediation of toxic metals, Using plants to clean up the environment, John Wiley & Sons, New York.
16. Scragg, A., 1999: Environmental biotechnology, Longman, Harlow.
17. Vrhovšek, D., 2003: Ekoremediacija - ko kanali spet postanejo potoki, Delo, priloga Znanost za razvoj, 16. junij 2003, Ljubljana, str. 6-7.
18. Welch, D. J., 1991: Riparian forest buffers, Function and design for protection and enhancement of water resources, United States Department of Agriculture, Washington.
19. Medmrežje: <http://www.environmental.usace.army.mil/environmental/IT/itphyto.html> (18.07.2003).
20. Medmrežje: <http://www.bfro.uni-lj.si/zoo/studij/dodipl/eko/varoksp/esej1.htm> (18.07.2003).
21. Medmrežje: <http://www.bf.uni-lj.si/cpvo/geologija/njvidic.html> (18.07.2003).
22. Medmrežje: <http://solkan.ses-ng.si/png/slo/izobrazevanje/fzo/ugrad/program/index.html-I2> (18.07.2003).