



EKOREMEDIACIJE

Alenka Sajovic



Srednje strokovno izobraževanje: NARAVOVARSTVENI TEHNIK
Modul: EKOSISTEMI, IZVAJANJE DEJAVNOSTI V PROSTORU IN
EKOREMEDIACIJE

Naslov: EKOREMEDIACIJE

Gradivo za 1. letnik

Avtorica: Alenka Sajovic, dipl. geog. in soc.

Strokovni/-a recenzent/-ka: prof. dr. Ana Vovk Korže, dipl geog. in zgod.

Lektor/-ica: Manca Mirnik, univ. dipl. slov. in nov.

Založnik: Biotehniška šola Maribor

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

502.174(075.3)

SAJOVIC, Alenka, 1980-

Ekoremediacije [Elektronski vir] : gradivo za 1. letnik / Alenka Sajovic. - El. knjiga. - Maribor : Biotehniška šola, 2010. - (Srednje strokovno izobraževanje Naravovarstveni tehnik. Modul Ekosistemi, ekoremediacije in izvajanje dejavnosti v prostoru)

Način dostopa (URL): www.konzorcij-bss.bc-naklo.si/login/index.php. - Projekt Biotehniška področja, šole za življenje in razvoj

ISBN 978-961-93426-1-9 (pdf)

264012800

Celje, 2010

© Avtorske pravice ima Ministrstvo za šolstvo in šport Republike Slovenije.

Gradivo je sofinancirano iz sredstev projekta Biotehniška področja, šole za življenje in razvoj (2008-2012).

Operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007 – 2013, razvojne prioritete: Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja, prednostna usmeritev Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.

Vsebina tega dokumenta v nobenem primeru ne odraža mnenja Evropske unije. Odgovornost za vsebino dokumenta nosi avtor.

PREDGOVOR

Prostor na planetu si delimo z drugimi živimi organizmi, od najdrobnejših bakterij do največjega sesalca. Ti organizmi tvorijo združbe, ki živijo v ravnovesju. Zunanji posegi lahko naravno ravnovesje porušijo. Mnogi naravni ekosistemi na svetu so za uravnovešeno stanje potrebovali več tisoč let in lahko brez nenadnih sprememb v podnebjju ostanejo v ravnovesju še na tisoče let. Toda človek s svojimi dejavnostmi in dejanji pogosto poruši takšna uravnovešena okolja.

Človekovo vmešavanje v naravo je zelo problematično, lahko pa tudi usodno. Na našem planetu vsak dan izumre več deset vrst rastlin in živali. Za to skrb vzbujajoče dogajanje je v veliki meri odgovoren tudi človek s svojimi nepremišljenimi in škodljivimi dejavnostmi. Od začetka 20. stoletja naprej človeštvo z industrializacijo, naseljevanjem različnih območij in z vse zajemajočim onesnaževanjem okolja ne ogroža samo življenja posameznih vrst organizmov, temveč obstoj celotnih ekosistemov.

Ob razvijanju globalne zavesti o pomenu ohranjanja okolja in narave se preizkušajo nove zasnove in prijemi, ki v prvi vrsti temeljijo na poznavanju naravnih procesov in zakonitosti v naravi ter omogočajo sobivanje človeka z njegovim naravnim okoljem. Te pristope imenujemo ekoremediacije. Ekoremediacije ponujajo ekosistemski pristop k reševanju okoljskih problemov ter trajnostno upravljanje z naravnimi viri ter ekosistemi, tako vodnimi kot tudi kopenskimi. Izhajajo iz temeljnih principov delovanja ekosistemov, ki imajo izredno pufersko, samočistilno, samoobnovitveno sposobnost ter biotsko raznovrstnost, ki zagotavlja naravno ravnovesje v ekosistemu.

Učno gradivo je pripravljeno tako, da izhaja iz poglobitnih okoljskih problemov, ki nas spremljajo ob hitrem gospodarskem razvoju – onesnaženost vodnih virov, nepravilno upravljanje z vodnimi ekosistemi, onesnaženost in degradiranost tal itd. Okoljski problemi tako predstavljajo konkretno učno situacijo – raziskovalni problem, ki ga dijaki s pomočjo usmerjevalne literature poskušajo razumeti ter poiskati rešitve zanj. V nadaljevanju vsakega poglavja, ki je usmerjeno v konkretni okoljski problem, dijaki spoznajo ekoremediacijske pristope kot rešitve za posamezni okoljski problem. Pri tem lahko s pomočjo dodatne literature ovrednotijo pomen in ustreznost uporabe posameznih ekoremediacijskih metod. Učna gradiva hkrati vsebujejo vaje, ki so podlaga za terensko in eksperimentalno delo in dijaka vodijo, usmerjajo in spodbujajo k raziskovanju, kritičnemu presojanju, samostojnemu delu in učenju.

Učno gradivo je namenjeno osvajanju vsebin o ekoremediacijah v okviru modula »Ekosistemi, izvajanje dejavnosti v prostoru in ekoremediacije« za dijake srednjega poklicnega izobraževanja v programu naravovarstveni tehnik.

Uspešno raziskovanje in učenje!

Alenka Sajovic

KAZALO

1. EKOREMEDIACIJE – ZDRAVLJENJE NARAVE Z NARAVO	8
1.1. Razumevanje pojma ekoremediacije	8
1.2. Narava nosi v sebi milijone let izkušenj – princip delovanja ekoremediacij	8
1.3. Ekoremediacije – ekosistemski pristop k reševanju okoljskih problemov	10
1.4. Vrste ekoremediacijskih pristopov	12
1.5. Delitev ekoremediacij	12
1.6. Povzetek	13
2. REVITALIZACIJE – EKOLOŠKE OBNOVE DEGRADIRANIH EKOSISTEMOV	14
2.1. Človek je spremenil naravne vodotoke v »mrtve reke«	14
2.2. Ekoremediacije v celostnem upravljanju z vodami	16
2.3. Revitalizacija – ekološka obnova degradiranih vodotokov	18
2.3.1. Oblikovanje in zasadnja brežin	16
2.3.2. Vrbovi popleti za utrditev brežin	20
2.3.3. Umetni zalivi in zajede	20
2.3.4. Brzice	21
2.3.5. Tolmuni	22
2.3.6. Prodišča in otoki	22
2.3.7. Pragovi	23
2.3.8. Stranski rokav	23
2.3.9. Stranska struga	23
2.3.10. Umetna mokrišča	23
2.4. Povzetek	27
3. RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE – ZNANJA IZ NARAVNIH MOKRIŠČ .	31
3.1. Odpadne vode – grožnja našim vodam	31
3.2. Čiščenje odpadnih voda – rešitev za naše vode	32
3.3. Rastlinske čistilne naprave – znanje iz naravnih mokrišč	34
3.3.1. Struktura in funkcija rastlinskih čistilnih naprav	35
3.3.2. Kako se čisti voda v rastlinski čistilni napravi?	37
3.3.3. Vloga mikroorganizmov v rastlinski čistilni napravi	38
3.3.4. Vloga rastlin v rastlinski čistilni napravi	39
3.3.5. Vloga substrata v rastlinski čistilni napravi	40
3.3.6. Vrste rastlinskih čistilnih naprav	41
3.3.7. Uporabnost rastlinskih čistilnih naprav v Sloveniji	43
3.3.8. Prednosti in dodana vrednost rastlinskih čistilnih naprav	45
3.3.9. Izgradnja in vzdrževanje rastlinskih čistilnih naprav	46
3.4. Povzetek	47
4. BIOREMEDIACIJA IN FITOREMEDIACIJA	50
4.1. Onesnaženost in degradiranost tal	50
4.2. Bioremediacija onesnaženih tal	51
4.3. Fitoremediacija onesnaženih tal	52
4.3.1. Fitoekstrakcija	54
4.3.2. Fitostabilizacija	55
4.3.3. Fitovolatilizacija	55
4.3.4. Rizodegradacija	56
4.3.5. Rizofiltracija	56

4.4.	Hidravlično zadrževanje vode	56
4.5.	Izbira rastlin za čiščenje tal	57
4.6.	Povzetek	60
5.	BLAŽILNE CONE.....	62
5.1.	Onesnaževanje okolja iz netočkovnih virov onesnaževanja – kmetijstvo, promet ..	62
5.2.	Blažilne cone – zeleni koridorji	64
5.2.1.	Blažilna območja.....	64
5.2.2.	Vegetacijski pasovi	65
5.2.3.	Obrečni vegetacijski pasovi	66
5.2.4.	Načrtovanje vzpostavitve vegetacijskih pasov	66
5.2.5.	Vzpostavitev in vzdrževanje vegetacijskih pasov	67
5.3.	Veterne bariere	68
5.4.	Večnamenski melioracijski jarki	68
5.5.	Naravna mokrišča.....	69
5.6.	Povzetek	70
6.	TRAJNOSTNE SANACIJE DEPONIJ	75
6.1.	Problematika odlagališč odpadkov.....	75
6.2.	Sistem trajnostne sanacije deponije.....	75
6.3.	Struktura sistema trajnostne sanacije deponije.....	75
6.4.	Koraki sanacije deponije	76
6.5.	Povzetek	79
7.	SLOVARČEK.....	80
8.	VIRI IN LITERATURA.....	83

KAZALO SLIK IN PREGLEDNIC

Kazalo slik

Slika 1. Krater vulkana nekaj desetletij po izbruhu.	9
Slika 2. Osiromašen gozd (levo)	9
Slika 3. Obnovljen gozd (desno).....	9
Slika 4. Okoljski problemi, s katerimi se soočamo v Sloveniji – velike količine odpadnih voda (levo).....	10
Slika 5. Onesnaževanje okolja iz kmetijske dejavnosti (sredina)	10
Slika 6. Pogoste naravne ujme, kot so poplave (desno).....	10
Slika 7. Odras ekoremediacij – puferska, samočistilna in biodiverzitetna sposobnost.....	11
Slika 8. Potek rečne struge Drave nekoč (levo) in danes (desno).....	14
Slika 9. Naravna rečna struga na Planinskem polju (levo) in osiromašen kanaliziran vodotok (desno).....	15
Slika 10. Naravni tolmun(levo) in brzica (desno) v potoku.....	17
Slika 11. Prodišče (levo) in trstišče (desno) v rečni strugi.....	17
Slika 12. Stranski rokav na reki Dravi (levo) in naravna rečna struga z ohranjeno obrečno vegetacijo (desno)	18
Slika 13. Klasifikacija revitalizacijskih ukrepov.....	19
Slika 14. Zasaditev vegetacije.....	20
Slika 15. Oblikovanje umetnega meandra s pomočjo vrbovega popleta.	20
Slika 16. Zajezitve na vodotoku povečajo pestrost habitatov v primerjavi z izravnano regulirano strugo	21
Slika 17. Zajeda Slika 18. Shema izgradnje zajede.....	21
Slika 19. Brzica, s ključno vlogo obogatitve vode s kisikom	22
Slika 20. Tolmun – upočasnitev vodnega toka in s tem zadrževanje vode.....	22
Slika 21. Pomen prodišča lahko opišemo s pregovorom: “Voda gre skozi sedem kamnov in se očisti”	22
Slika 22. Mokrišče – naravni filter za zadrževanje in čiščenje vode	23
Slika 23. Kanaliziran (reguliran) vodotok (levo) in revitaliziran vodotok (desno)	24
Slika 24. Stranski rokav na reki Dravi	25
Slika 25. Regulirana struga Male Krke (levo), izgradnja bočne zajede na Mali Krki (desno) ..	26
Slika 26. Mokrišča so naravni filtri, v katerih se vode prečistijo in s tem dajejo pitno vodo in hrano milijardam ljudi.....	35
Slika 27. Shema rastlinske čistilne naprave	36
Slika 28. Peščeni filtri izhajajo iz pregovora: »Voda gre skozi sedem kamnov in se očisti« ..	38
Slika 29. Prerez skozi gredo rastlinske čistilne naprave	38
Slika 30. Navadni trst (levo), širokolistni rogoz (sredina) in vitki šaš (desno).....	40
Slika 31. RČN s površinskim tokom in prosto plavajočimi makrofiti	42
Slika 32. RČN s površinskim tokom in ukoreninjenimi emergentnimi makrofiti	42
Slika 33. Sistem z ukoreninjenimi emergentnimi makrofiti - horizontalni tok vode pod površino (levo) in sistem z ukoreninjenimi emergentnimi makrofiti - vertikalni tok vode pod površino (desno).....	42
Slika 34. Faze izgradnje rastlinske čistilne naprave (izkop bazenov, polaganje neprepustne folije, zapolnitev sistema s substratom, zasadnja rastlin).....	47
Slika 35. Shema prikaza procesa fitoekstrakcije.....	54
Slika 36. Najpogostejše rastlinske vrste za fitoremediacijo onesnaženih tla	58
Slika 37. Sončnice, topoli in vrbe najpogostejše vrste za čiščenje onesnaženih tal.....	58
Slika 38. Tla so tanek površinski del litosfere – »koža« Zemlje.....	62

Slika 39. Erozija tal	64
Slika 40. Vegetacijski pas je umeščen med virom in potencialnim sprejemnikom onesnaževanja.....	64
Slika 41. Osiromašen melioracijski jarek (levo) in revitalizirana melioracijski jarek, ki omogoča večnamembnost – zadrževanje vode, biodiverzitetu, čiščenje vode s pomočjo rastlin	68
Slika 42. Primer naravnega mokrišča – naravni filter, blažilna cona.....	69
Slika 43. Zgradba trajnostne sanacije deponije.....	76
Slika 44. Čiščenje izcedne vode iz odlagališč na rastlinski čistilni napravi ter vračanje vode nazaj na vegetacijski pokrov odlagališča	76

Kazalo preglednic

Preglednica 1. Funkcije naravnega tolmana in brzice v rečni strugi	17
Preglednica 2. Funkcije naravnega prodišča in trstišča v rečni strugi.	17
Preglednica 3. Funkcije stranskega rokava in obrečne vegetacije v/ob rečni strugi	18
Preglednica 4. Opis najpogostejše rastline, ki se uporabljajo za rastlinske čistilne naprave ...	40
Preglednica 5. Naselja in prebivalci Slovenije v razredih naselij od 1 do 1.999	43
Preglednica 6. Prednosti in slabosti fitoremediacijske metode čiščenja onesnaženih tal	53
Preglednica 7. Tipične rastline, ki se jih uporablja pri različnih fitoremediacijskih pristopih	58
Preglednica 8. Prednosti večnamenskih melioracijskih jarkov.....	69

1. EKOREMEDIACIJE – ZDRAVLJENJE NARAVE Z NARAVO

Učna vsebina:

- Razumevanje pojma ekoremediacije
- Princip delovanja ekoremediacij
- Struktura in funkcije ekoremediacij
- Ekoremediacije - ekosistemski pristop k reševanju okoljskih problemov
- Vrste ekoremediacijskih pristopov
- Delitev ekoremediacij

1.1. Razumevanje pojma ekoremediacij

Ekoremediacije so okoljske tehnologije, ki temeljijo na principu delovanja naravnih zakonitosti in procesov, ki se odvijajo znotraj ekosistemov. Izhajajo iz ekosistemskega pristopa, ki poudarja pomen obnove in varovanja ekosistemov za ohranjanje ekosistemskih storitev, trajnostno načrtovanje posegov v okolje in reševanje okoljskih problemov z namenom trajnostnega sobivanja človeka z naravo in okoljem.

Ekosistemi so naravne enote, kjer obstaja ravnovesje med neživimi dejavniki (biotopom) in živimi organizmi, ki tvorijo biocenozo ali življenjsko združbo.

Z ekonomskega, ekološkega in predvsem dolgoročnega vidika ekoremediacije predstavljajo enega izmed najuspešnejših načinov varovanja okolja.

Beseda ekoremediacija izhaja iz zloženke »**remediacija**«, kar pomeni obnova, in predpone »**eko**«, kar nam sporoča, da obnova okolja poteka s pomočjo naravnih sistemov in procesov (Vrhovšek, Vovk Korže, 2009).

Osnovni namen uporabe ekoremediacij pri načrtovanju posegov v okolje je večnamensko in trajnostno upravljanje z različnimi naravnimi viri (voda, zrak, tla) ter celostno gospodarjenje z **vodnimi** (vodotoki, jezera, mokrišča ...) in **kopenskimi** (gozd, travniki, kamnolomi ...) ekosistemi.

1.2. Narava nosi v sebi milijone let izkušenj – princip delovanja ekoremediacij

Z naraščajočim razvojem in znanjem o naravnih procesih in odnosih v ekosistemi so se razkrili neraziskani potenciali v naravi. Iz opazovanja narave in procesov, ki se odvijajo v njej, lahko ugotovimo, da so različni ekosistemi v milijonih let razvili izjemne obrambne in samočistilne sposobnosti, s katerimi se ščitijo pred nenadnimi ali premočnimi vplivi in odpravljajo njihove škodljive posledice. Govorimo o t.i. **stabilnosti** oziroma **prožnosti ekosistemov**, da se povrnejo v prvotno stanje po motnjah (npr. suši, zmrzali, poplavih, požarih itd.) ali večjih zunanjih vplivih, oziroma sposobnosti, da kljubujejo spremembam ob prisotnosti motenj. Prav zaradi te lastnosti ekosistemov je narava v svoji zgodovini doživela in preživela že marsikatero katastrofo.



Razmislite, kaj se zgodi z vegetacijo na pobočjih vulkana po njegovem izbruhu? Ali se le-ta obnovi? Kako imenujemo ta proces?



Slika 1. Krater vulkana nekaj desetletij po izbruhu (vir: www.ateistek.com, 2010).

Izkrčen gozd se v daljšem časovnem obdobju v procesu **sukcesije** - spremembe v stanju in razvoju ekosistema - obnovi in vzpostavi naravno ravnovesje ter lahko ponovno zagotavlja prvotne ekosistemske storitve (Gaberščik, 2008). Vodni in obvodni ekosistemi ter mokrišča, ki pomenijo prehod med vodnimi in kopenskimi ekosistemi, imajo veliko sposobnost uravnavanja vodnih udarov, pa tudi močnih in specifičnih fizikalno-kemijskih ter strupenih onesnaženj. V njih se nevtralizirajo strupi in uspešno zmanjšujejo količine različnih patogenih organizmov. Vsi ti primeri dokazujejo, da imajo ekosistemi sposobnost samovzdrževanja.



Slika 2. Osiromašen gozd (levo) (vir: <http://nfp-si.eionet.eu.int/sokol/>, 2010).



Slika 3. Obnovljen gozd (desno) (vir: <http://nfp-si.eionet.eu.int/sokol/>, 2010).

Na podlagi poznavanja nosilnih in samočistilnih sposobnosti ekosistemov se tako določajo in opredeljujejo tudi emisijski in upravljavski standardi, ki zagotavljajo varstvo našega okolja. Kot primer zakonske podlage opredeljujejo dopustne vrednosti vnosa različnih strupenih snovi v tla v okvirih samočistilne sposobnosti tal; količine odvzete vode iz vodotokov morajo biti v okviru samoobnovitvene sposobnosti vodotoka; izraba naravnih virov v okviru regenerativne kapacitete narave (npr. posek dreves) itd.



Ekosistemske storitve – darovi narave

Narava opravlja številne funkcije. Njena vloga je, da nam nudi raznovrstne koristi, kot so hrana, vlaknine, čista voda, zdrava zemlja in še mnogo več. Močvirja na primer nudijo naravno obrambo pred poplavami, saj kot gobe vpijejo odvečno vodo. Zemljišča, porasla s trstjem, pomagajo prečistiti umazano vodo, saj vsrkajo strupene snovi, čebele oprašujejo kmetijske pridelke, šotna barja pa naravno vežejo ogljikov dioksid, ki je glavni vzrok za globalno segrevanje. V prvi vrsti pa narava zagotavlja ključni vir dohodka za številne ljudi po svetu, ki trajnostno izkoriščajo njene naravne vire. Ali se tega sploh zavedamo? Ali jemljemo naravo kot samoumevno darovalko teh virov?



Razmislite, kakšne ekosistemске storitve nam nudi gozdni ekosistem. Kako lahko obvarujemo gozdni ekosistem, da bi ohranili njegove »storitve«?



Ekosistemске storitve delimo na podporne, preskrbovalne, regulatorne in kulturne (vir: Gaberščik, 2008). Razmislite, in poiščite k vsaki vrsti primere ekosistemskih storitev ter obrazložite njihov pomen.

Ali ste vedeli?

Monetova slika makovega polja je ocenjena na 5,5 milijonov EUR, pravo polje pa stane 5.000 EUR/ha. A znamo ceniti naravo?

1.3. Ekoremediacije – ekosistemski pristop k reševanju okoljskih problemov

Za reševanje okoljskih problemov je razvitih veliko pristopov, ki pogosto vključujejo visoko tehnologijo, vendar so ti pristopi, kljub njihovi učinkovitosti, predragi, operativno prezahtevni ter pogosto dolgoročno ne sledijo načelom trajnostnega razvoja. Z ekoremediacijami, ki delujejo na osnovi zakonitosti ekosistemov, lahko rešujemo vrsto okoljskih problemov, ki so rezultat človekovih dejavnosti ter nepravilnega poseganja v naravno okolje (Vrhovšek, 2007).



Razmislite, kateri so ključni okoljski problemi, s katerimi se soočamo na našem planetu. Se ti okoljski problemi pojavljajo tudi v Sloveniji?



Prelistajte dokument - Resolucija o Nacionalnem programu varstva okolja 2005-2012 (ReNPVO), Ur.l. RS, št. 2/2006 ter na kratko opišite, katere okoljske cilje si je zadala Slovenija na področju varstva okolja?

Ekoremediacijske tehnologije so uporabne pri odstranjevanju posledic onesnaževanja, kot tudi pri preprečevanju nadaljnje degradacije okolja. Z njimi lahko zmanjšujemo in preprečujemo **točkovne** (npr. industrijski obrati, naselja itd.), **linijske** (promet) in **netočkovne vire** (npr. kmetijstvo) onesnaževanja okolja.



Slika 4. Okoljski problemi, s katerimi se soočamo v Sloveniji – velike količine odpadnih voda (levo)

Slika 5. Onesnaževanje okolja iz kmetijske dejavnosti (sredina)

Slika 6. Pogoste naravne ujme, kot so poplave (desno) (vir: <http://nfp-si.eionet.eu.int/sokol/>, 2010).

Degradiranim ekosistemom, ki so nastali kot posledica enostranskih posegov človeka v okolje, kot npr. poglobitev in kanaliziranje strug vodotokov za preprečevanje poplav, izsuševanje mokrišč za pridobitev obdelovalnih površin, uničevanje gozdov za poselitev in vzpostavitev prometne infrastrukture itd., lahko s pomočjo ekoremediacijskih metod povrnemo prvotne funkcije, ki so prav tako tudi ključne funkcije ekoremediacij: **samočistilna**

spodobnost, visoka puferska sposobnost (zadrževanje vode) ter biotska pestrost (Vrhovšek, Vovk Korže, 2009).



Slika 7. Odras ekoremediacij – puferska, samočistilna in biodiverzitetna sposobnost (vir: arhiv Limnos)

Zelo velik potencial ekoremediacij pa se kaže tudi pri zmanjševanju, preprečevanju in odpravljanju posledic naravnih katastrof, kot so: poplave, suše, erozija tal, plazovi ter odpravljanju posledic klimatskih sprememb nasploh. Z izgubo biotske raznovrstnosti kot enega najbolj perečih okoljskih problemov na svetovni ravni ekoremediacije pomenijo velik prispevek k varovanju in zagotavljanju dobrega ekološkega stanja pomembnih habitatov kot tudi varovanju in ohranjanju ogroženih rastlinskih in živalskih vrst (Sajovic, 2009).

UPORABA EKOREMEDIACIJ

1. ZMANJŠEVANJE ALI PREPREČITEV OBREMENITEV OKOLJA

- točkovni,
- netočkovni viri onesnaževanja

2. OBNOVA DEGRADIRANIH EKOSISTEMOV

3. VZPOSTAVITEV NADOMESTNIH EKOSISTEMOV

4. PONOVA VZPOSTAVITEV EKOLOŠKEGA RAVNOVESJA V OBSTOJEČIH EKOSISTEMIH

5. TRAJNOSTNA RABA NARAVNIH VIROV (ekološko kmetijstvo, gozdarstvo, ribištvo, lov itd.)

Z ekosistemskim pristopom reševanja posameznega okoljskega problema tako vedno vpletemo celotne ekosistemske funkcije in dosežemo še druge ekosistemske storitve. Kot primer lahko izpostavimo preprečevanje erozije tal z golih njivskih površin z zasaditvijo grmovnih in drevesnih vrst v obliki mejic. Z zasaditvijo rastlin se bo močno zmanjšala jakost vetra in s tem iznos prašnih delcev z njivskih površin. Le-to bi lahko dosegli tudi s postavitvijo ograje zadostne višine, vendar ekoremediacijski ukrep, kot je v tem primeru vegetacijski pas, nudi še vrsto drugih ekosistemskih storitev (npr. zadrževanje vode, ponor CO₂, biodiverziteteta ...)



Razmislite o pomenu in vlogi dreves v urbanem okolju.

1.4. Vrste ekoremediacijskih pristopov

Možnost uporabe ekoremediacij za ohranjanje zdravega stanja ekosistemov je zelo široka. V posameznih primerih potrebujemo le manjši začetni poseg človeka, da dosežemo želeni cilj, glavno delovanje pa prepustimo naravi sami, drugič je potrebno vključiti dodatna znanja in spretnosti, ki jih poznamo na področjih vodnega gospodarstva, kmetijstva, gozdarstva, ribištva itd.

Najpogosteje se uporabljajo ekoremediacijske metode, kot so:

- rastlinske čistilne naprave za čiščenje različnih vrst voda:
 - komunalne odpadne vode,
 - industrijske odpadne vode,
 - onesnaženi viri pitne vode,
 - izcedne vode iz odlagališč odpadkov,
 - izcedne vode iz cestišč;
- revitalizacije degradiranih vodotokov, jezer, gramoznic, glinokopov, kalov itd.;
- sonaravne sanacije deponij komunalnih odpadkov in
- blažilne cone.

Poleg naštetega se ekoremediacije uporabljajo prav tako za:

- čiščenje odpadnih voda iz netočkovnih virov obremenjevanja okolja (meteorne vode, kmetijstvo),
- terciarno oz. dopolnilno čiščenje komunalnih, živinorejskih, industrijskih in drugih odpadnih voda,
- kondicioniranje vode za večnamensko uporabo (zalivanje, namakanje, itd.),
- zaščito naravovarstvenih območij, vodnih zajetij, vodovarstvenih območij,
- zaščito pred dotokom onesnaženih voda v jezera in morje,
- sonaravno vzdrževanje melioracijskih jarkov,
- izgradnjo oz. obnovo ekosistemov za redke in ogrožene vrste rastlin in živali itd.

Osnova za vzpostavitev vseh naštetih ekoremediacijskih metod so naravni ekoremediacijski (eko)sistemi, kot so mokrišča, tolmeni, prodišča, brzice, ipd., ki bodo predstavljeni v nadaljnjih poglavjih gradiva.

1.5. Delitev ekoremediacij

Glede na izvor ločimo **naravne** in **grajene (antropogene)** ekoremediacije. Med naravne ekoremediacije združujemo različne naravne ekosisteme (gozd, mokrišče, poplavna ravnica itd.) oz. oblike (tolmeni, slapovi, meandri, prodišča, brzice, mejice ...)

Med grajene ekoremediacije pa prištevamo **rastlinske čistilne naprave** za čiščenje različnih vrst odpadnih voda, **revitalizacije (renaturacije) degradiranih vodnih in kopenskih ekosistemov** (kamnolomov, peskokopov, reguliranih vodotokov, melioracijskih jarkov, mokrišč, onesnaženih tal, odlagališč odpadkov), **blažilne cone** za zaščito pred točkovnimi in netočkovnimi viri onesnaževanja (vegetacijski pasovi, protihrupne, protiprašne bariere, zeleni koridoriji itd.), **fitoremediacijske** in **bioremediacijske tehnologije** ter **trajnostne sanacije dponij** itd.

Glede na prevladujočo funkcijo ekoremediacij pa ločimo pet glavnih kategorij (Mitsch, Jørgensen, 2004), in sicer:

- uporabo ekosistemov za zmanjševanje ali preprečevanje obremenitev okolja (tla, voda, zrak),
- ponovno vzpostavitev ekosistemov,
- obnovo ekosistemov po večjih motnjah ali degradaciji,
- spremembo obstoječih ekosistemov z upoštevanjem ekoloških vidikov za rešitev posameznega okoljskega problema in
- uporabo ekosistemov v korist človeku, ne da bi pri tem porušili ekološko ravnotežje.

Pri tem pa moramo vedeti, da se ponavadi soočamo s spletom okoljskih problemov, pri čemer moramo težiti k temu, da povrnemo zdravo stanje celotnemu ekosistemu oz. odstranimo vse okoljske probleme. Ekoremediacijski pristop tako ni usmerjen le na posamezno funkcijo, ampak na preplet le-teh.

1.6. Povzetek

Ekoremediacije (ERM) pomenijo uporabo naravnih in sonaravnih sistemov ter procesov, ki na trajnosten način varujejo in čistijo okolje. Ekoremediacija je uporabna za zaščito in obnovo tako kopenskih kot vodnih ekosistemov. Osnovni namen uporabe ERM je večnamensko in sonaravno gospodarjenje z vodotoki, jezeri, mokrišči, tlemi itd., kar omogoča celostni razvoj posameznih območij in prispeva k sožitju človeka in narave ter omili naravne ujme. Zato so ERM ekonomsko in ekološko, predvsem pa dolgoročno med najuspešnejšimi načini varovanja okolja.

Pomenijo:

- ekosistemski pristop k reševanju okoljskih problemov,
- obnovo ekosistemov za ohranjanje ekosistemskih storitev oz. načrtovanje trajnostnih posegov v prostor oz. okolje,
- posnemanje delovanja narave, ki se sicer odvija v daljšem časovnem obdobju,
- povezovanje človeka z njegovim naravnim okoljem v korist obeh,
- odraz prvotnih funkcij ekosistemov: puferske, samočistilne in habitatne sposobnosti.

Razmislite in odgovorite

Katerim ključnim značilnostim ekosistemov sledijo ekoremediacije?

S pomočjo literature poiščite primere naravnih katastrof, ki so v preteklosti prizadele naš planet.

Katere ekosistemske storitve nam nudijo tla?

S pomočjo dokumenta »Resolucija nacionalnega programa varstva okolja« opredelite ključne okoljske probleme, ki predstavljajo izziv za Slovenijo pri uresničevanju ciljev trajnostnega razvoja.

Na primeru obrazložite preventivno oz. kurativno vlogo ekoremediacijskih pristopov.

2. REVITALIZACIJE – EKOLOŠKE OBNOVE DEGRADIRANIH VODOTOKOV

Učna vsebina:

- Nepravilno upravljanje z vodami (tekočimi, stoječimi vodami)
- Degradacija vodnih ekosistemov (vodotokov)
- Ekoremediacije v celostnem upravljanju z vodami
- Naravne ekoremediacije v vodnih ekosistemih
- Revitalizacije

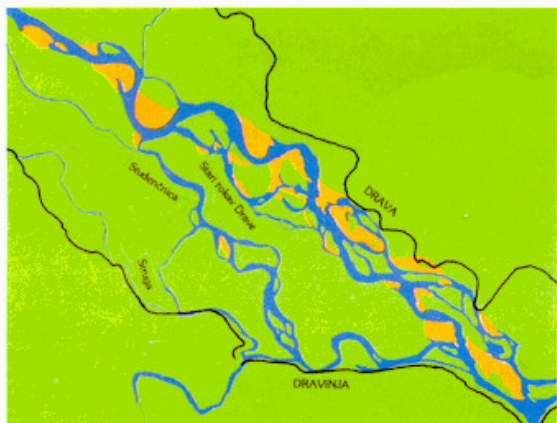
2.1. Človek je spremenil naravne vodotoke v »mrtve reke«

Človek je bil skozi zgodovino zaradi različnih dejavnosti usmerjen k nepravilni rabi vodotokov. Zaradi kmetijstva (melioracije, hidromelioracije) in urbanizacije so bili številni vodotoki močno spremenjeni. Zaradi preprečevanja poplav so bile številne rečne struge poglobljene in zravnane z namenom večjega odvodnavanja, hitrejšega odtoka vode dolvodno.

Na številnih vodotokih je bila odstranjena obrežna vegetacija, prekinjena povezava med vodnim ter kopenskim okoljem ter s tem porušeno naravno ravnovesje v vodotoku. Na območju reguliranih strug je prišlo do spremenjenega sestava organizmov, spremenili so se fizikalni in kemijski parametri vode ter morfološke in hidrološke značilnosti vodotokov. Posledice odstranitve naravne razgibanosti vodotokov in njihove povezave z obrežnimi ekosistemi so zmanjšale biotsko pestrost in s tem samočistilno sposobnost ter kapaciteto zadrževanja vode, hkrati pa tudi vzpodbudile različne druge procese, kot so erozija tal, pogostejše poplavljanje, pomanjkanje vode, zaraščanje itd. (Vrhovšek, Vovk Korže, 2008).

Študija primera

Nepravilno poseganje človeka v rečno strugo reke Drave - Šturmovci nekoč in danes



Tok reke Drave od Ptuja do pritoka Dravinje okrog leta 1900.

Levo in desno od glavnega rečnega korita se je voda pretakala po stranskih koritih, zastajala v mrtvicah, nanašala prodišča, jih zapuščala in se čez desetletja vračala. Tako je ustvarila nadvse pester, od človeka povsem neodvisen življenjski prostor.

Po nastanku akumulacijskega jezera. Po uravnavi stare Drave je veliko rečnih korit ostalo suhih in reka se je spremenila v potok. Od nekdanjega poplavnega gozda je v prvotni funkciji ostalo le nekaj hektarjev loke.

Slika 8. Potek rečne struge Drave nekoč (levo) in danes (desno) (Vir: <http://os-gorje.s5.net/projekti/Mak/Videm/Glavno/sturmovec.htm>, 2010).



Razmislite, zakaj je prišlo do tako izrazite uravnave rečne struge reke Drave? Kakšne so posledice takšnega posega v rečni ekosistem?

Naravno oblikovana struga z meandri zadržuje vodo, v njej potekajo samočistilni procesi in ima visoko biotsko pestrost. Na drugi strani je v kanaliziranih vodotokih izrazito zmanjšana puferska, samočistilna in habitatna sposobnost. V kanaliziranih vodotokih ob nalivu voda hitro odteče dolvodno, kar lahko v spodnjem delu vodotokov povzroča poplave, v zgornjem delu pa v sušnem obdobju sušo, saj se voda v pokrajini ne more zadrževati. Z nepravilnimi posegi v vodotoke je tako povzročena tudi velika ekonomska in ekološka škoda (Kroflič, Vrhovšek, 2007).



Slika 9. Naravna rečna struga na Planinskem polju (levo) in osiromašen kanaliziran vodotok (desno) (Vir: Atlas Slovenije, arhiv Limnos).



Na spletni strani Statističnega urada RS (www.surs.si) ugotovite, kolikšno ekonomsko škodo so povzročile v Sloveniji poplave v zadnjih letih.



Na kratko opišite razlike med naravno in umetno rečno strugo. Kakšen je pomen obrečne vegetacije?

Študija primera

Prekomerni odvzemi vode iz rečnih strug – ekološko sprejemljiv pretok

Izredno zaskrbljujoč problem so nenadzorovani odvzemi vode iz vodotokov z namenom uporabe te vode v hidroelektrarnah, ribogojnicah in podobno. Preveliki odvzemi vode iz vodotokov lahko močno ogrozijo ekološko ravnovesje (stanje) v vodotoku, zato je potrebno pravilno načrtovanje odvzemov vode in hkratio uvajanje omilitvenih ukrepov, ki omogočajo ohranjanje življenjskih pogojev v vodotoku.

Z odvzemi vode iz vodotokov se voda, ki je del ekosistema, spremeni v ekonomsko kategorijo, razkorak med naravo in gospodarstvom pa je lahko zelo velik. S tem namenom se je za ohranjanje dinamike naravnih procesov v vodotokih pojavila zahteva po zagotavljanju **ekološko sprejemljivega pretoka (Qes)**, ki je definiran kot količina in kakovost vode, ki zagotavlja ohranitev naravnega ravnovesja v vodotoku in ob njem. Z naravovarstvenega vidika pomeni Qes ohranitev zgradbe in delovanja ekosistema, ki se odraža v ohranjanju

vrstne pestrosti. Na osnovi bioloških, ekoloških, hidroloških, hidravličnih, fizikalno-kemijskih in morfoloških kriterijev poteka določanje Qes-a v Sloveniji interdisciplinarno – na osnovi hidrološke in ekološke metode za obstoječe in nove odvzeme vode (Smolar Žvanut, 2008).



Razmislite, kaj vse ogroža vodne ekosisteme v Sloveniji? Pri tem si pomagajte s poročili, ki jih najdete na spletni strani Agencije za okolje RS www.arso.si s področja varstva voda.



Razmislite, kakšni omilitveni ukrepi bi prišli v poštev pri prekomernih odvzemih vode iz strug vodotokov. Pri tem si pomagajte z vsebinami iz poglavja 2.3.

2.2. Ekoremediacije v celostnem upravljanju z vodami

Vodo si delijo ljudje in ekosistemi. **Voda je omejen in ranljiv vir**, ki vse pogosteje omejuje gospodarski in socialni razvoj. Potreba po celostnem upravljanju z vodnimi viri je posledica vse večjih pritiskov na vodne vire – onesnaženost tekočih in stoječih voda, regulacije vodotokov, izgradnje zadrževalnikov z namenom izgradnje hidroelektrarn ...

Celostno upravljanje z vodnimi viri je proces, ki omogoča usklajen razvoj in ravnanje z vodnimi in z njimi povezanimi naravnimi viri tako, da se gospodarsko in socialno blagostanje povečuje na način, ki ne ogroža obstoja življenjsko pomembnih ekosistemov. Cilj celostnega upravljanja z vodnimi viri je ujeti ravnotežje med rabo virov in zaščito ter varovanjem vira za ohranitev njegovih funkcij in značilnosti (Vrhovšek, 2003).



Naravni vodni in obvodni ekosistemi delujejo tako, da kljub močnim nalivom omilijo večje poplave, z veliko samočistilno sposobnostjo pa preprečujejo posledice ogromnega vnosa alohtonega materiala in človekove aktivnosti. Istočasno ti ekosistemi omogočajo življenjski prostor velikemu številu različnih vrst rastlin in živali, kar zagotavlja visoko biotsko raznovrstnost, ki prispeva k mnogim, danes še neznanim ali malo manj znanim procesom ravnovesja na Zemlji.

Naravne ekoremediacije v rečni strugi in njihove funkcije

V naravni rečni strugi številni naravni sistemi kot so: **tolmuni, brzice, prodnati nasipi, z vodnimi rastlinami porasla struga, številni stranski jarki in rokavi ter raznovrstna obrežna vegetacija** opravljajo zgoraj naštetе funkcije (Vrhovšek, 2006). Vloge posameznih naravnih sistemov v rečni strugi pa lahko izkoristimo pri načrtovanju obnove izrazito spremenjenih rečnih ekosistemov, t.i. revitalizacijah, ki so predstavljene v nadaljevanju gradiva.

Med naravnimi sistemi naj izpostavimo vlogo in funkcije sledečih sistemov, ki so predstavljeni v preglednicah: tolmun, brzica, prodni nanos, trstiče, stranski rokav in obrežna vegetacija.

Preglednica 1. Funkcije naravnega tolmana in brzice v rečni strugi (vir: Vrhovšek, 2003).

Tolmun	Brzica
	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ zadrževanje vode in kompenziranje (blaženje) vodnih viškov, ▪ usedanje delcev, ▪ odstranjevanje (zadrževanje) strupenih in hranilnih snovi. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Prezračevanje, ▪ zadrževanje vode, ▪ oblikovanje struge.
<p>Habitat: bivališče rastlin, dvoživk in rib ter vodnih in obrežnih nevretenčarjev</p>	<p>Habitat: bivališče redkih rastlinskih in živalskih vrst</p>

Slika 10. Naravni tolmun(levo) in brzica (desno) v potoku (vir: Sajovic, 2009).

Preglednica 2. Funkcije naravnega prodišča in trstišča v rečni strugi (vir: Vrhovšek, 2003).

Prodni nanos	Trstišče
	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ zadrževanje vode, ▪ čiščenje (filtriranje, zadrževanje snovi, razgrajevanje organskih in strupenih snovi, bogatenje s kisikom). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ čiščenje (dodajanje kisika, filtriranje, razgradnja snovi, odstranjevanje – vgradnja strupenih snovi).
<p>Habitat: bivališče alg, rastlin ter vodnih in obrežnih živali</p>	<p>Habitat: bivališče alg, rastlin, vodnih in obrežnih živali ter redkih rastlinskih in živalskih vrst; drstišča in gnezdišča</p>

Slika 11. Prodišče (levo) in trstišče (desno) v rečni strugi (vir: Sajovic, 2009).

Preglednica 3. Funkcije stranskega rokava in obrečne vegetacije v/ob rečni strugi (vir: Vrhovšek, 2003).

Stranski rokav	Obrečna vegetacija
	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ zadrževanje vode (razbremenitev glavne struge ob visokih vodah), ▪ čiščenje. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zadrževanje vode, ▪ čiščenje (filtriranje, zadrževanje snovi, razgrajevanje organskih in strupenih snovi, bogatenje s kisikom).
<p>Habitat: bivališče rastlin, vodnih in obrežnih živali, gnezdišča in skrivališča</p>	<p>Habitat: bivališče rastlin, vodnih in obrežnih živali, skrivališča in gnezdišča ptic</p>

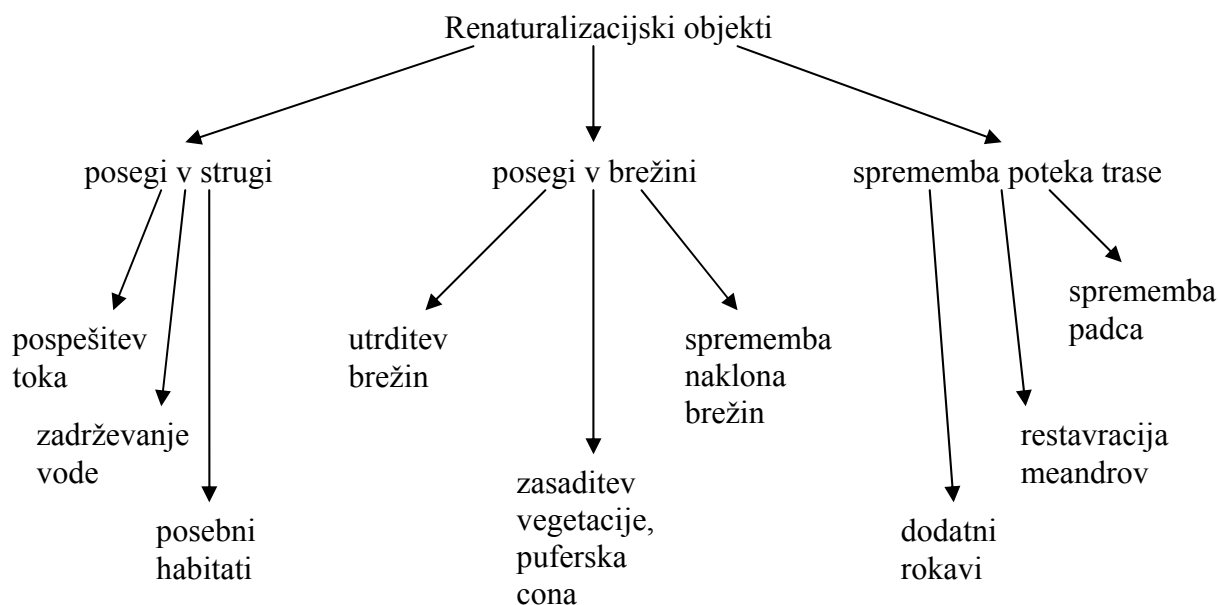
Slika 12. Stranski rokav na reki Dravi (levo) in naravna rečna struga z ohranjeno obrečno vegetacijo (desno) (vir: arhiv Limnos, 2007).

Z opazovanjem in znanjem o značilnostih in funkcijah naravnih ekoremediacij v vodnih okoljih lahko danes različne vodne vire ne le zaščitimo, temveč v veliki meri tudi obnovimo. Pri tem se moramo zavedati, da v uničenih in degradiranih ekosistemih ne bomo mogli nikoli več vzpostaviti prvotnega naravnega stanja, vendar se lahko z različnimi ekoremediacijskimi pristopi prvotnemu stanju približamo oziroma zagotovimo ponovno vzpostavitev ključnih funkcij ekosistemov – puferske, samočistilne in habitatne sposobnosti.

2.3. Revitalizacija – ekološka obnova degradiranih vodotokov

Revitalizacija obsega vrsto ekoremediacijskih pristopov za sanacijo oz. obnovo vodotoka, zaradi nepravilnih posegov človeka. Osnovni namen revitalizacij vodotokov je obnovitev določenega ekološkega ravnovesja z ustreznimi vodnogospodarskimi posegi. Tako ciljno in z določenim namenom obnovimo oziroma ohranimo zgradbo in funkcijo habitatov vodnega in obvodnega sveta (Vrhovšek, Vovk Korže, 2008). Način revitalizacije izbiramo glede na možnosti. Ponekod so zaradi omejenosti prostora možne le manjše spremembe, drugje pa je možno daljše odseke vodotokov v celoti prepustiti naravnim procesom, ki te odseke postopoma preoblikujejo v sonaravne vodotoke.

Obnove vodotokov lahko potekajo na nivoju obnove posameznih odsekov, povezav med odseki ali na nivoju celotnega porečja. Ukrepi se lahko izvajajo v rečni strugi, na brežinah ter izven rečne struge.



Slika 13. Klasifikacija revitalizacijskih ukrepov (vir: Vrhovšek, 2006).

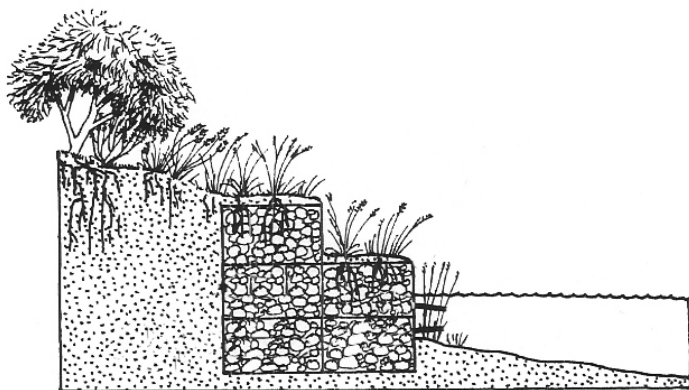
V nadaljevanju poglavja so na kratko predstavljene najpogostejše tehnike revitalizacije vodotokov, in sicer: **brzica, tolmun, prag, prodišča in otoki, vrbov poplet, zalivi in zajede, restavracije meandrov ter stranski rokavi, stranske struge (t.i. »by-pass«) in umetna mokrišča.**

Najpogostejši revitalizacijski ukrepi, ki obsegajo zgoraj naštetih tehnike, so tako: obnova oblikovanja obrežij (restavracija rečnih meandrov in okljukov), vzpostavitev brzic v rečni strugi, oblikovanje rečnih zalivov, stranskih rokavov, sonaravna utrditev brežin ter obnova oz. zasadnja obrečnih brežin.

Porečje je območje, s katerega se površinske vode izlivajo v določeno jezero, reko, morje ali ocean.

2.3.1. Oblikovanje in zasadnja brežin

Obrežna vegetacija reguliranih odsekov je ponavadi zelo osiromašena, predvsem na teh mestih manjkajo lesne vrste (vrba, jelša, dren itd.) Obrežje lahko revitaliziramo z obliko terasastih brežin, ki poleg preprečevanja erozije izboljšajo tudi habitat za obrežne organizme. V predelih obrežja nad vodno gladino z odstranitvijo zemlje oblikujemo terase, ki jih nato utrdimo ter zaščitimo z geotekstilom, čez geotekstil pa nasujemo zemljo ter zasadimo rastline. Podvodno del brežine utrdimo z zdrobljenim kamenjem, kar omogoča naselitev vodnih organizmov in rast korenin. Na mejo med geotekstilom in kamenjem lahko namestimo še hlod. Na polico pod hlodom zasadimo obrežne rastline, na polico nad hlodom pa trave ter grmovnate vrste. V najvišjih predelih brežin zasadimo drevesne vrste (Eiseltova, 2003).



Slika 14. Zasaditev vegetacije (Vir: Water and Rivers Commision. 1999)

Obrežne vegetacije ob vodotokih zaradi njenih osnovnih funkcij, kot so preprečevanje erozije, zadrževanje vode, samočistilne sposobnosti in ohranjanje biotske raznovrstnosti ni priporočljivo čistiti oziroma odstranjevati.

2.3.2. Vrbovi popleti za utrditev brežin

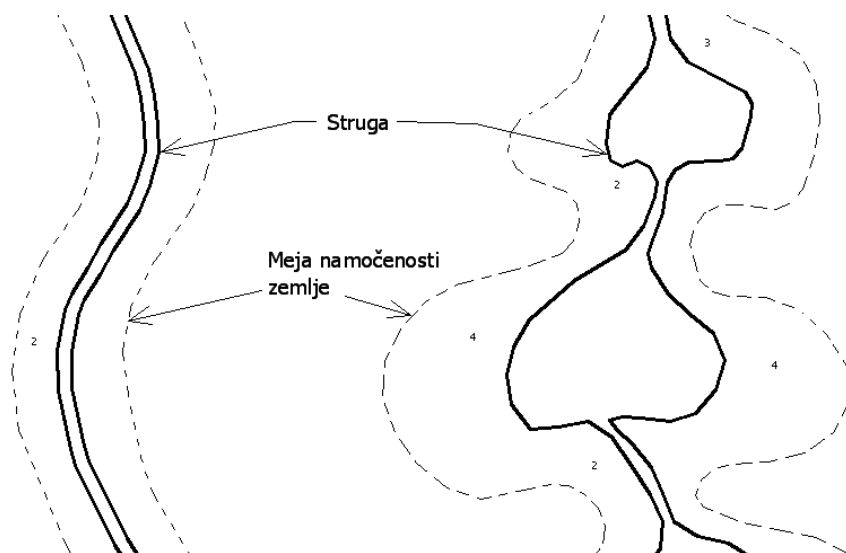
Vrbovi popleti so sonaraven način stabilizacije rečnih brežin, ki hkrati povzročajo umiritev vodnega toka ter posledično usedanje sedimentov. Z vrbovimi popleti ščitimo brežine vodotoka pred erozijo. Utrjene brežine omogočajo vegetacijsko zarast. Ta pomembno vpliva na stabilnost bregov in obogati biotsko pestrost v in ob potoku. Ob robu struge in v njej posadimo mlado avtohtono drevje in grmovje. Senca zasajenih dreves ugodno vpliva na živali v strugi, ker se voda bolj počasi segreva in ohlaja (Vrhovšek, Vovk Korže, 2008).



Slika 15. Oblikovanje umetnega meandra s pomočjo vrbovega popleta (vir: arhiv Limnos, 2006).

2.3.3. Umetni zalivi in zajede

Umetni zalivi, zajede in podobne razširitve so prvenstveno namenjene popestritvi habitatne strukture vodotoka. Z njimi lahko popestrimo naklon brežin, ustvarimo širšo strugo, pridobimo raznoliko vegetacijo ter zatočišče za ribe, zlasti v času visokih voda, ko zalivi in zajede omogočajo počasnejši vodni tok.



Slika 16. Zaježitve na vodotoku povečajo pestrost habitatov v primerjavi z izravnano regulirano strugo (vir: Kovač, 2006).

V zalivih vodotokov se voda dodatno zadržuje, zalivi imajo samočistilno funkcijo ter nalogo pribežališča za vodne organizme. Zalive je predvsem smiselno urediti ob poplavnih vodotokih ter tako zmanjšati vpliv visokih voda. Zadrževanje voda v času visokih vod je potrebno tudi za omilitev problemov nizkih voda v vodotokih. Za namene zadrževanja voda se poleg zalivov uporabljajo tudi stranski jarki in obvodna neuporabna zemljišča, ki tako v sušnih obdobjih bogatijo nizke pretoke in s tem zagotavljajo ekološko sprejemljiv pretok skozi celo leto (Stream corridor ..., 1998).



Slika 17. Zajeda (vir: RRC – Manual of River restoration techniques, 2002)

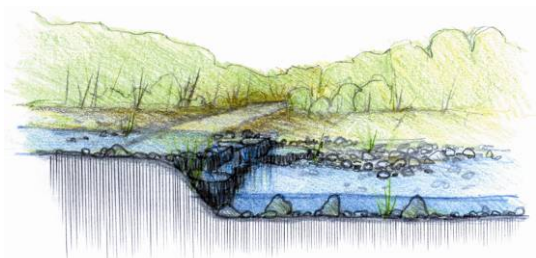


Slika 18. Shema izgradnje zajede (vir: Tratnik, 2006)

2.3.4. Brzice

Z izgradnjo brzic v strugi vzpostavimo v vodotoku sistem tolmun-brzica. Brzice omogočajo večji vnos kisika v vodo, v tolmunu se ustvarijo skrivališča za vodne živali, v celoti se hitrost toka upočasni in voda počasneje odteka iz pokrajine.

Prodna brzica je sestavljena iz proda oziroma kamenja velikosti, ki ni večje kot je globina srednje vode. Višina pregrade namreč naj ne bi povzročila večje zaježitve. Prod je nameščen tako, da se struga nekoliko zoži, tok vode se na mestu same brzice pospeši, voda se premeša in navzame kisika. Za brzico se tako ustvari manjši poglobljeni del (Kovač, 2006).

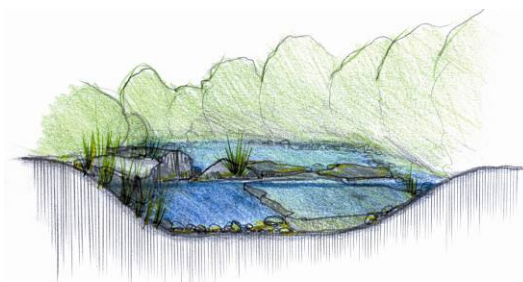


Slika 19. Brzica, s ključno vlogo obogatitve vode s kisikom (vir: arhiv Limnos)

Prodne brzice postavljamo predvsem na mestih, kjer je bil nekoč grobi prod, zaradi različnih razlogov odstranjen iz rečne struge. Gramoz mora biti takšne velikosti, da je stabilen ob nizkem in srednjem pretoku, ob visokih vodah, pa podvržen eroziji.

2.3.5. Tolmuni

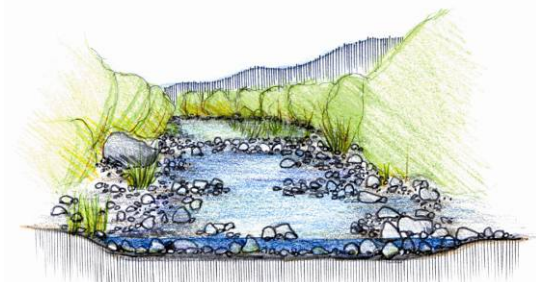
Tolmuni so poglobljeni deli vodnega toka in se izmenično pojavljajo v sekvenci z brzicami. V tolmunu se tok vode upočasni in povzroči: usedanje finih delcev (s polutanti in hranili), nastanek novih habitatov, povečan čas zadrževanja vode v vodotoku (bogatejši sušni vodostaji), povečan stik med vodo in brežino in s tem bolj namočena okolica, izboljša se estetska vrednost in raznolikost vodotoka. Tolmun se ponavadi izdolbe na dolvodni in gorvodni strani pragu, drče, na mestih zožitve toka z odbijačem in/ali na zunanji strani meandrov, tako kot ponavadi tudi tolmuni v naravnih rečnih strugah nastajajo.



Slika 20. Tolmun – upočasnitev vodnega toka in s tem zadrževanje vode (vir: arhiv Limnos).

2.3.6. Prodišča in otoki

Namen prodišč in otokov je ustvariti zatočišče za živali in izboljšati samočistilne sposobnosti vodotoka zaradi filtriranja vode skozi objekt in večje turbolentnosti – navzemanja kisika. Prodišča se lahko izvedejo s pomočjo kamnitih blokov, napoljenih s substratom in vegetacijo. Prodišča se nasujejo nad nivojem stalne vode in nudijo tudi stik človeka z vodo, preko zvoka šumenja vode ter preko lažjega dostopa do vodne površine.



Slika 21. Pomen prodišča lahko opišemo s pregovorom: “Voda gre skozi sedem kamnov in se očisti” (vir: Limnos)

2.3.7. Pragovi

Pragovi so prečni objekti z višino preliva do nekaj 10 cm, ki povzročajo lokalno zajezo pri nizkih in srednjih vodah. Pragovi, ki se najpogosteje zgradijo z namenom povečanja dinamike vode v reguliranem delu vodotoka, vodo obogatijo s kisikom, s čimer se poveča samočistilna sposobnost vodotoka. Pragovi, ki so narejeni kot podolgovati nosilni elementi iz lesa ali izdelani iz membrane, zadržujejo vodo, upočasnijo tok vode in prispevajo k pestrosti habitata.

2.3.8. Stranski rokav

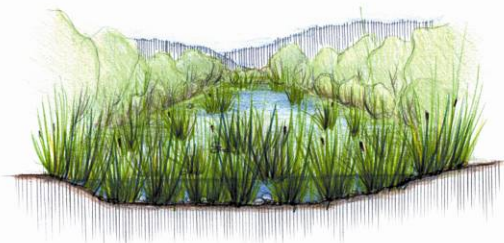
Z oblikovanjem stranskega rokava omogočimo zadrževanje vodnih viškov, kar preprečuje poplave v spodnjih delih vodotoka, v sušnih obdobjih pa iz zadrževalnikov bogatimo nizke pretoke. Stranski rokav, nastane v naravi ob spreminjanju meandrov. Za razliko od mrtvega rečnega rokava (mrtvice) ima stranski rokav stik s svežo vodo. Stranski rokav, pa v primerjavi z zalivom in zajedo, zahteva dodatno zemljišče ob strugi.

2.3.9. Stranska struga (»by-pass«)

Pri stranski strugi se del vodnega toka preusmeri iz glavne kanalizirane struge. S tem pristopom lahko bistveno povečamo zadrževanje vode in zmanjšamo poplave, ustvarimo nove habitate in povečamo samočistilno sposobnost vodotoka. Pri tem lahko ločimo suho in mokro stransko strugo. V prvem primeru gre za stransko strugo, ki je napolnjena le v visokih vodah, medtem ko je slednja struga vzdržuje stalno določen nivo vode, ali v glavni ali pa v stranski strugi. Za sledeči ukrep se odločimo, kadar imamo vodotok s premajhno kapaciteto odvajanja visokih voda, imamo strukture (zgradbe) ob vodotoku, ki onemogočajo razširitev vodotoka ali pa imamo nestabilno rečno strugo zaradi erozije ob prevelikih pretokih (Kovač, 2006).

2.3.10. Umetna mokrišča

Ob strugi lahko, v kolikor nam dopušča prostor, izgradimo manjše mokrišče. Mokrišče je raven nižinski del, ki ima ob srednjem pretoku talno vodo tik nad površjem. Vloga mokrišča je učinkovito filtriranje vode, in s tem čiščenje. Gre za manjšo rastlinsko čistilno napravo, ki nudi nov biotop, hidrološko pa deluje kot vodni zadrževalnik v času suše in manjši razbremenilnik ob višku vode. Mokrišča lahko prav tako uredimo tudi izven rečne struge, in sicer na poti poplavnih voda, npr. na notranji strani meandrov.

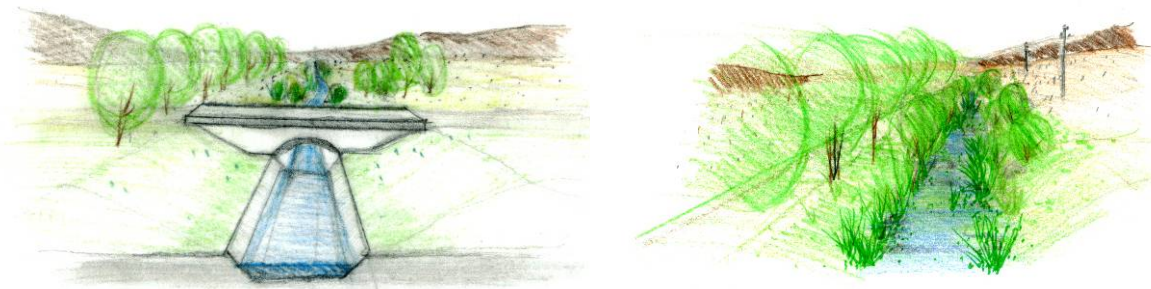


Slika 22. Mokrišče – naravni filter za zadrževanje in čiščenje vode (vir: arhiv Limnos)

Študija primera Revitalizacija Peskovskega potoka

Problematika

- Peskovski potok je bil zaradi izgradnje železniške proge Puconci-Hodoš-državna meja z Madžarsko leta 1997 reguliran v dolžini 120 m v kraju Gornji Petrovci.
- Spremenjena struga potoka ima trapezno obliko, na dnu in brežinah bila zavarovana s kamnito oblogo, ki se je sčasoma zarasla z invazivnimi rastlinami.
- Regulacija vodotoka je spremenila hidrologijo (hitro odtekanje vode) in geomorfologijo (odnašanje sedimenta) vodotoka ter strukturo brežin (odstranjena vegetacija).
- Sprememba omenjenih lastnosti je vplivala na poslabšanje kakovosti in količine vode, zmanjšanje pestrosti vodnih in obvodnih habitatov ter s tem biodiverzitet. S tem so ogroženi številni prebivalci nižinskih vodotokov, kot je npr. vidra.



Slika 23. Kanaliziran (reguliran) vodotok (levo) in revitaliziran vodotok (desno) (vir: arhiv Limnos)

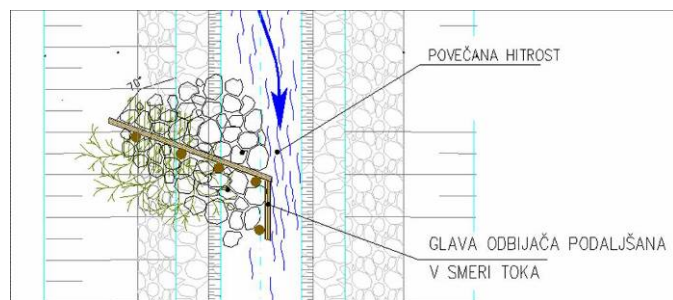
Revitalizacija Peskovskega potoka

- V mesecu maju in juniju 2006 je bil Peskovski potok revitaliziran z namenom ohranitve populacije vidre (*Lutra lutra*) na Goričkem.
- Revitalizacija vodotoka je bila izvedena v dolžini 100 m v kraju Gornji Petrovci.
- Izvedeni so bili naslednji ukrepi: pragovi, umetna zajeda, odbijač, talna membrana, vrbovi popleti, pilotaže in zasadnja obrežja.
- Z revitalizacijo se v potok vrnejo številne rastline in živali, ki v degradiranem vodotoku niso našle ustreznega življenjskega prostora.



Vir: arhiv Limnos

Umetne zajede (levo) in odbijači toka (desno) povzročajo nastanek tolmunca na eni in prodišča na drugi strani. Po določenem času se na tak način oblikuje rečni zavoj ali meander. Tolmuni predstavljajo pomemben življenjski prostor za rake, ribe, žabe in druge živali.





Vir: arhiv Limnos



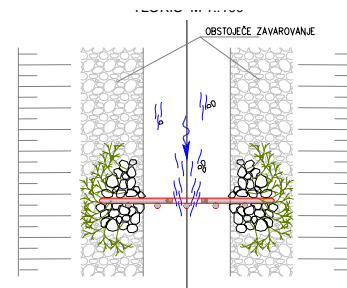
Vir: arhiv Limnos

Vrbovi popleti so sonaraven način stabilizacije rečnih brežinj; predstavljajo tudi ustrezen prostor za različne živali. Vrbovi popleti povzročajo umiritev vodnega toka in posledično usedanje sedimentov.



Vir: arhiv Limnos

Prag omogoča prežračevanje vode in zadrževanje vode gorvodno. Po postavitvi pragov potoki začno prijetno žuboreti.



Primer iz tujine: ponovno vzpostavljanje rečnih okljuk avstrijskih rek

Kot mnogo alpskih rek v Avstriji je bil tudi tok zgornje Drave izravnani in usmerjen zaradi opravljanja kmetijske dejavnosti ob robu reke. Sčasoma je postalo razvidno, da ta velika tehnična rešitev povzroča več škode kot koristi, in to ne le prostoživečim živalim in rastlinam. Brez naravnih rečnih okljukov in rečnega habitata je reka tekla veliko hitreje, kar je povzročalo hitro erozijo rečne struge. Raven podzemne vode se je znižala in kmetje so se začeli pritoževati nad suho zemljo. Z vključitvijo zgornje Drave v Naturo 2000 so se organi za urejanje rek odločili, da sprejmejo milejši pristop ravnanja z reko. Na 40-kilometerskem območju so ponovno oblikovali okljuke, stranski vodotoki so se odprli in nastalo je rečno mokrišče. To je tako pozitivno vplivalo na raven podzemne vode in prostoživeče živali in rastline, da zdaj načrtujejo podobno ureditev tudi na drugih delih reke (Luhta, 2000).



Slika 24. Stranski rokav na reki Dravi (vir: <http://nfp-si.eionet.eu.int/sokol/>, 2010).

Primer dobre prakse v Sloveniji: revitalizacija Male Krke

Potok Mala Krka izvira v Sloveniji in svojo pot nadaljuje na Madžarskem. Potok, ki je včasih vijugajoče potekal med polji in gozdovi, je zagotavljal življenjski prostor številnim rastlinskim in živalskim vrstam. Sredi preteklega stoletja so zaradi intenzivnega kmetijstva potok regulirali: struga je sedaj bolj ali manj ravna in ima v prerezu trapezno obliko. Ker so dno potoka poglobili, je prišlo do izsušitve mokrišč in znižanja nivoja podtalnice. Kmetijska zemljišča so se razprostirala do potoka, katerega brežine so gole. Zaradi intenzivne obdelave kmetijskih zemljišč so se pesticidi in umetna gnojila izpirali v potok, kar je povzročilo zmanjšano kakovost vode in biodiverzitetu (Sajovic, 2009).

V letu 2006 je bil potok Mala Krka revitaliziran. Revitalizacija je bila izvedena na 800 m potoka ob vasi Domanjševci do madžarske meje. V strugo je bilo vgrajenih več različnih talnih pragovi, dve zajedi, brežine so zasadili, ob njih pa so na več mestih postavili odbijače vodnega toka. V prihodnosti pa bodo izvajali še ustrezno vzdrževanje. Omenjeni posegi na Mali Krki so bili izvedeni z namenom zadrževanja vode, povečevanja samočistilne sposobnosti in ustvarjanja biotopa (Vrhovšek, Vovk Korže, 2008).



Slika 25. Regulirana struga Male Krke (levo), izgradnja bočne zajede na Mali Krki (desno) (Vir: arhiv Limnos).



Razmislite, s kakšnim namenom so bili v rečno strugo vodotoka Mala Krka vneseni posamezni ekoremediacijski objekti.



Ministrstvo za okolje in prostor RS pripravlja osnutek nacionalnega dokumenta z naslovom »Načrt upravljanja voda za obdobje 2009-2015, in sicer za vodni območji Donave in Jadranskega morja, ki predstavljata sestavni del izvajanja Vodne direktive v Sloveniji, katere cilj je dobro stanje vseh voda do leta 2015. Osnutek podaja usmeritve za ohranjanje vodnih ekosistemov, varstvo vodnih virov za pitje in preprečevanje onesnaževanja z nevarnimi snovmi iz kmetijskih virov in iz komunalnih odpadnih voda.

2.4. Povzetek

Naravna struga reke ponuja ogled naravnih ekoremediacijskih sistemov, iz katerih se lahko naučimo, kako narava sama uravnava količino vode, povečuje samočistilno sposobnost vodotoka in ustvarja habitate za raznolike vrste rastlin in živali.

Za razliko od naravnih vodotokov imajo vodotoki, v katere je intenzivno posegel človek, močno zmanjšano raznovrstnost habitatov. Struga je monotona, živali in rastline nimajo ustreznega prostora za življenje, voda se v strugi ne zadržuje. Posledično je zmanjšana samočistilna sposobnost vodotoka.

S pomočjo revitalizacije lahko ponovno vzpostavimo naravno dinamično ravnovesje v rečni strugi. Le-to lahko dosežemo z vrsto ukrepov, kot so: umetno meandriranje rečne struge, vzpostavitev brzic, tolmunov, zasadnja obrečne vegetacije, utrditev brežine itd.

Razmislite in odgovorite

Kako je človek v preteklosti posegal v rečne ekosisteme in s kakšnim namenom?

Kateri so poglobitveni okoljski problemi na področju upravljanja z vodami v Sloveniji?

Katere institucije se ukvarjajo s področjem upravljanja z vodami?

Tudi v vašem domačem kraju lahko najdete vrsto potokov, ki so bili iz različnih razlogov regulirani. Pomislite na izbran vodotok v domačem kraju in ugotovite, zakaj je bil reguliran?

Raziskujte – vaje za terensko delo

S pomočjo spodnjih vaj na kratko predstavite značilnosti izbranega rečnega ekosistema (potoka, vodotoka, reke). Ugotovite, ali ima izbrani rečni ekosistem ohranjeno naravno rečno strugo ali gre za ekosistem, v katerega je posegel človek. Ugotovitve utemeljite v kratkem poročilu.

Vaja 1. Merjenje širine in globine rečne struge

S pomočjo metra izmerite širino in globino potoka. Globino potoka izmerite tako, da potopite meter do dna vodnega telesa na različnih oddaljenostih od brega ter odčitajte globino vode na vsakih 20 cm. Vrednosti zapišete v priloženo tabelo.

Na osnovi izmerjenih globin vode lahko določimo vodnatost vodnega telesa. V potoku lahko nizek vodostaj povzroči tok podtalnice v vodotok, medtem ko lahko visok vodostaj povzroča obraten tok; to je tok površinske vode v podtalnico (imenovan tudi bogatenje podtalnice). V primeru, da je površinska voda slabše kakovosti kot podtalna, ta izmenjava lahko močno vpliva na poslabšanje kakovosti podtalnice.

Materiali: meter, kovinski ali leseni meter (palica), škornji, svinčnik

Rezultati:

Širina potoka je: _____

Globina potoka je:

Parameter/Vzorčna točka	1	2	3	4	5	6	7	8
Oddaljenost od desnega brega (cm)								
Globina vode (cm)								

Vaja 2. Izris profila rečne struge potoka

Rezultate širine in globine vrišemo na milimetrski papir ter povežemo točke med seboj tako, da dobimo skico prereza struge.

Pripomočki: milimetrski papir, svinčnik

Vaja 3. Merjenje hitrosti vodnega toka

Hitrost vodnega toka vpliva na samočistilno sposobnost vodotoka, ki predstavlja možnosti asimiliranja polutantov in njihovega prenašanja po toku navzdol. Poznavanje hitrosti toka omogoča, da predvidimo trajanje potovanja polutantov, ki pritekajo v gornjem toku. V vodotokih se hitrost spreminja od leta do leta, v različnih sezonah in dnevno v odvisnosti od hidrometeoroloških vplivov in narave prispevnega območja. Zaradi tega sta pomembna čas (ura in dan) in mesto meritev. Hitrost vodnega toka se spreminja od površine proti dnu in od bregov proti sredini struge. Največja je v matici struge, medtem ko se zaradi trenja proti bregovoma približuje vrednosti nič.

Postopek: ob rečnem bregu izberite dve točki in izmerite med njima razdaljo 5 m. Vrzite v vodo lebdeči predmet (mandarino, plovec) in izmerite čas gibanja med točkama. Merjenje ponovite 5-krat in izračunajte povprečen čas. Iz povprečne hitrosti potovanja izračunajte hitrost toka. Metoda s plovcem je uporabna, kadar nimamo na voljo merilca hitrosti ali pa so hitrosti premajhne.

Materiali: plovec ali stiropor (1 x 3 x 5 cm), papir, računalno, svinčnik, stoparica, kovinski meter, škornji

Rezultati: $V = S : t$ (pot : čas)

Pot (S) v metrih	Čas potovanja (t) v sekundah	Hitrost ($v = S : t$) v metrih na sekundo
1. 5 m		
2. 5 m		
3. 5 m		
4. 5 m		
5. 5 m		

Povprečna hitrost toka vode je: _____

Razmislite, od česa je odvisna hitrost toka vode v potoku.

Vaja 4. Analiza rabe tal ob potoku

Raba tal ob potoku je pomemben kazalec razvoja in možnosti obremenitev potoka. Narišite skico, ki bo prikazovala rabo tal ob potoku, ki ste si ga izbrali za točko opazovanja.

Materiali: list papirja, svinčnik, ravnilo, barvice, fotoaparati

Razmislite, kateri so viri onesnaževanja potoka glede na rabo tal v okolici potoka.

Vaja 5. Možnosti revitalizacije v strugi/na brežini/izven struge

Razmislite, s katerimi ekoremediacijskimi posegi bi obnovili kanaliziran potok v njegovem zgornjem in spodnjem delu struge.

V zgornjem toku

V spodnjem toku

Razmislite, na kakšen način smo že in bi še lahko obvarovali naše vodotoke?

Vaja 6. Ugotavljanje samočistilne sposobnosti vodotoka

Odvzemite po en vzorec vode na onesnaženem delu potoka (v vasi, blizu izpusta odpadnih voda) ter dolvodno blizu izliva potoka v reko, jezero.

Izmerite parametre kakovosti vode, ki so navedeni v spodnji tabeli.

Opazujte potok in si zabeležite njegove značilnosti in morebitne vplive človeka.

Materiali: plastenke za vzorce, marker, rokavice, škornji, terenski kovček za merjenje fizikalno-kemijskih parametrov (merilni set).

Postopek

1. Na mestu odvzema vzorca vode si nadenite rokavice, vzemite čisto plastenko za vzorčenje in jo primerno označite.
2. Plastenko sperite z vodo, ki jo boste vzorčili.
3. Odvzemite vzorec vode tako, da plastenko povsem napolnite.
4. Na terenu izmerite fizikalne in kemijske parametre vode (koncentracijo kisika, pH, elektroprevodnost in temperaturo) ter meritve vpišite v priloženo tabelo.
5. Vzorce odnesite v učilnico na poligonu in izmerite parametre iz spodnje tabele, kot narekujejo navodila merilne opreme. Rezultate vpišite v tabelo.
6. Primerjajte rezultate kakovosti vode na mestu onesnaženja in ob izlivu potoka v reko, jezero. Rezultate meritev primerjajte tudi z mejnimi vrednostmi kakovosti vode za pitne namene (po Pravilniku o pitni vodi, Ur. l. RS, št. 19/2004).

Rezultati:

Parameter	Onesnaženje v vasi	Ob izlivu v Dravinjo	Mejne vrednosti za pitno vodo
pH			6,5 – 9,5
Kisik (mg/L)			-
Prevodnost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)			2500
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)			-
Amonij – NH_4 (mg/L)			0,5
Nitrat – NO_3 (mg/L)			50
Nitrit – NO_2 (mg/L)			0,5
Fosfat – PO_4 (mg/L)			-
Cink – Zn (mg/L)			-

Opažanja:

ZAKONSKI OKVIRJI

Pravilnik o pitni vodi (Ur. l. RS, št. 19/2004) »določa zahteve, ki jih mora izpolnjevati pitna voda, z namenom varovanja zdravja ljudi pred škodljivimi učinki, zaradi kakršnegakoli onesnaženja pitne vode.« Pitna voda je zdravstveno ustrezna, če je v skladu z mejnimi vrednostmi parametrov določenih v Pravilniku o pitni vodi.

3. RASTLINSKE ČISTILNE NAPRAVE – ZNANJA IZ NARAVNIH MOKRIŠČ

Učna vsebina:

- **Onesnaževanje vodnih virov z odpadnimi vodami**
- **Postopki čiščenja odpadnih voda**
- **Rastlinske čistilne naprave**
- **Struktura in funkcija rastlinskih čistilnih naprav**
- **Princip delovanja rastlinskih čistilnih naprav**
- **Vrste rastlinskih čistilnih naprav**
- **Uporabnost v Sloveniji**
- **Izgradnja in vzdrževanje rastlinskih čistilnih naprav**

3.1. Odpadne vode – grožnja našim vodam

Pri nas mnoge odpadne vode, ki nastajajo v gospodinjstvih – **komunalne odpadne vode**, in industriji – **industrijske odpadne vode**, niso ustrezno očiščene pred iztokom v okolje. Neredko pa se zgodi, da tudi voda, ki je bila sicer prečiščena v čistilni napravi, predstavlja nevarnost za okolje, saj samočistilna sposobnost manjših vodotokov oziroma stoječih voda, v katere se le-ta prečiščena voda izteka, ni zadostna.

Podatki o onesnaženju površinskih, podzemnih in stoječih voda kažejo, da predstavljajo komunalne odpadne vode iz naselij in ostalih virov velik delež vsega onesnaževanja voda. K poslabšanju tega stanja pa prav tako pripomorejo tudi razpršeni viri onesnaženja, zlasti kmetijstvo, ter linijski viri onesnaženja, med katerimi je v ospredju promet. To povratno vpliva na stanje pitnih voda ter posledično na bivalne in življenjske razmere za vsa živa bitja (Bizjak, 2010).



S pomočjo poročil, ki jih najdete na spletni strani Agencije za okolje RS na kratko pripravite poročilo o onesnaženosti voda v Sloveniji? Pri tem razmislite, kateri so glavni viri onesnaževanja naših voda.

Komunalne odpadne vode iz stanovanjskih objektov, kjer je zelo razpršena poselitev, se zbirajo in delno čistijo v greznicah. V Sloveniji se večinoma uporabljajo neprepustne in nepretočne greznice ali celo pretočne greznice, saj so stroški pogostega praznjenja greznic zelo visoki. Prav tako pa se pogosto dogaja, da so tudi nepretočne greznice preluknjane in tako iz njih le delno očiščena voda odteka v okolje (Vahter, 2003).

Komunalne odpadne vode so obremenjene z različnimi **organskimi** in **anorganskimi** onesnaževali. Glavna onesnaževala, ki jih moramo odstraniti iz odpadne vode, so večji neraztopljeni delci, organske odpadne snovi, ki so lahko biološko lažje (beljakovine, ogljikovi hidrati, maščobe in olja) ali težje razgradljive snovi (različne aromatske spojine in ostanki naftnih derivatov) in anorganske odpadne snovi. Med anorganskimi odpadnimi snovmi pa so pomembna skupina onesnaževal, ki jih je potrebno odstraniti iz odpadne vode, rastlinska hranila, kot so dušikove in fosforjeve spojine ter različne težke kovine (Toman, 2003).

Industrijske odpadne vode vsebujejo še vrsto drugih anorganskih spojin, ki so posledica razvoja in uporabe novih spojin kot dodatkov različnim izdelkom. Stopnja onesnaženosti z industrijskimi odpadnimi vodami je odvisna od tega, v kakšne namene in v kolikšnih

količinah se je voda uporabljala, ter od proizvodnih dejavnikov. Primer je hladilna voda, ki sicer ni umazana, a obremenjuje okolje, ker je močno segreta. Posledično zaradi tega vsebuje manj kisika, kar pa močno poslabša življenjske razmere za vodne organizme.

V komunalni odpadni vodi pa so poleg mikrobiološkega onesnaževanja pomembna tudi različna onesnaževala, ki izhajajo iz uporabe izdelkov za osebno higieno, detergentov in zdravil ter drugih spojin, ki jih uporabljajo v industriji, medicini itd. Te spojine se ponavadi pojavljajo v zelo nizkih koncentracijah, vendar so težje razgradljive in nevarne.

Študija primera

Evtrofikacija jezera kot posledica pritoka odpadnih komunalnih voda iz zaledja jezera

Zaradi odpadnih voda (odplak), polnih hranilnih snovi (fosfati, nitrati), iztekajočih se v jezero, se poleti pojavi »cvetenje« oziroma čezmerno razmnoževanje nekaterih vrst cianobakterij, ki v obliki mreke plavajo na gladini. Hkrati razkrojevalci razgrajujejo ali mineralizirajo velike količine alg, za ta proces pa potrebujejo kisik. Posledica mineralizacije je pomanjkanje kisika v globljih delih jezera. Začne se gnitje, razkroj brez kisika, posledice le-tega so strupeni plini in gnijoče blato, kar pa ubija druge živalske vrste v jezeru.

3.2. Čiščenje odpadnih voda – rešitev za naše vode

Z namenom varovanja okolja in ohranjanja naravnega ravnotežja postajajo postopki čiščenja vseh vrst odpadnih voda nujno potrebni. Danes čistilne naprave in drugi sistemi za čiščenje odpadnih voda predstavljajo najpomembnejše ukrepe za izboljšanje kakovosti vodnega okolja. Namen njihove uporabe je zmanjševanje negativnih vplivov na okolje, z zagotavljanjem procesov razgradnje snovi in odstranjevanja suspendiranih snovi, patogenov in strupenih (toksičnih) snovi.

Za čiščenje onesnaženih voda obstajajo različni sistemi, v katerih mehanski, fizikalno-kemijski in biološki procesi delujejo bodisi posamezno ali v medsebojni povezanosti. Postopki čiščenja, ki se uporabljajo za čiščenje odpadnih voda, se razlikujejo glede na vrsto, količino odpadnih voda ter njihove obremenitve. V vseh primerih pa čistilni procesi ponavadi sestavljajo **primarno, sekundarno** in **terciarno čiščenje**, ki lahko vključujejo mehanski, kemični ali biološki proces čiščenja.

Začetna stopnja čiščenja odpadnih voda obsega **primarno stopnjo čiščenja**, v okviru katere se s pomočjo različnih mehanskih sistemov - grabelj, peskolovov, oljelovilcev in usedalnikov odstranijo iz odpadne vode trdni neraztopljeni delci. S pomočjo grabelj odstranimo večje plavajoče kosovne materiale, z oljelovilcem maščobe in olja, ki plavajo na vodni gladini, medtem ko usedalnik služi za odstranjevanje večjih organskih delcev (večjih od 0,1 mm) in mikrobov, ki se v fazi usedanja že delno razgradijo. Usedanje peska v peskolovih na primer dosežemo z upočasnitvijo toka odpadne vode, kjer se bistveno težje snovi od vode usedejo. Večji neraztopljeni delci se po zaključku mehanske stopnje čiščenja z odvozom odložijo na odlagališčih odpadkov. Na primarni stopnji čiščenja se lahko razgradi do 30 % organskih snovi, prisotnih v odpadni vodi (Urbanič, Toman, 2003).

Druga stopnja čiščenja – sekundarno čiščenje omogoča odstranjevanje raztopljenih snovi iz vode in temelji na biokemijskih procesih razgradnje teh snovi. Gre za reaktorske sisteme (bazene), v katerih so mikroorganizmi, ki razgrajujejo in vgrajujejo raztopljene odpadne snovi

iz vode. Pri tem ločimo glede na prisotnost kisika v procesu **aerobno in anaerobno biološko čiščenje**, glede na to, ali mikroorganizmi razgrajujejo snovi ob prisotnosti ali odsotnosti kisika. S pomočjo **sekundarnega čiščenja** tako zmanjšamo količino vseh organskih snovi v vodi (Toman, 2003).

Po zmanjšanju količine organskih snovi v procesu sekundarnega čiščenja sledi **terciarno čiščenje**, katerega uporabnost je izrazito odvisna od uspešnosti predhodnih stopenj čiščenja. Terciarna stopnja čiščenja je pomembna, kadar želimo odstraniti oziroma zmanjšati količino določenih snovi (težkih kovin, nitratov, fosfatov, pesticidov itd.) v odpadni ali že delno prečiščeni odpadni vodi pred izpustom v naravno okolje. Običajen razlog za uvedbo terciarne stopnje čiščenja so previsoke vrednosti BPK, amonija, nitratov, fosfatov in suspendiranih snovi. Za zmanjševanje teh vrednosti se lahko uporabljajo različni biološki filtri, modificirani procesi čiščenja z aktivnim blatom za odstranjevanje nitratov in fosfatov ter ionskimi izmenjevalci za anorganske ione. Dušik odstranjujemo s procesi nitrifikacije (pretvorba amonijeve oblike dušika v nitratno v aerobnih razmerah) in denitrifikacije (pretvorbe nitrata v plinski dušik v anaerobnih razmerah) (Urbančič, Toman, 2003). Med najbolj ekološko in ekonomsko upravičene metode terciarnega čiščenja pa sodijo rastlinske čistilne naprave, ki so danes v večini primerov že samostojni čistilni sistemi (Griessler Bulc, 2007).

Biokemijska poraba kisika (BPK) je mera za količino biokemijsko razgradljivih organskih snovi in je enaka količini kisika, potrebnega za njihovo pretvorbo v stabilne anorganske spojine.

ZAKONSKI OKVIRJI

»Terciarno čiščenje je čiščenje komunalne odpadne vode po postopku, s katerim dosegamo odstranjevanje dušika in fosforja tako, da dosegamo zahteve mejnih vrednosti parametrov iz 6. člena Uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz komunalnih čistilnih naprav. Uporablja se povsod, kjer so iztočne vode po sekundarnem čiščenju neprimerne za izpust v okolje, predvsem zaradi prevelikih vsebnosti dušika in fosforja ali kateregakoli drugega parametra« (UL RS, št. 45/2007).

Zgoraj predstavljeni sistemi čiščenja odpadnih voda temeljijo predvsem na procesih, ki jih sicer najdemo v naravi, vendar gre v primerih bioloških čistilnih naprav le za intenziviranje vseh procesov z aktivnim prezračevanjem, dvigom temperature, mešanjem itd., ki procese pospešijo, da lahko na manjšem prostoru in v relativno kratkem času dosežemo očiščenje velikih količin odpadne vode. V naravi s pretokom vode skozi plasti tal prihaja do filtracije in s tem mehanskega zadrževanja delcev iz vode. Ravno tako so prisotni v tleh mikrobi, ki vezani na talne delce, rastlinske korenine ali prosti v vodi, prispevajo k razgradnji organskih snovi in vezavi različnih hranil in elementov v sledovih. Dodatno k čiščenju prispevajo še rastline, ki vežejo rastlinska hranila, kot so dušik, fosfor, kalij, kalcij, magnezij in druga v svoja tkiva. V naravnih sistemih torej celoten proces čiščenja poteka po enakih principih, le počasneje oz. v odvisnosti od prisotnosti optimalnih pogojev (voda, dostopnost hranil, pH, prisotnost/odsotnost kisika, prisotnih strupenih onesnaževal itd.) (Urbančič, Toman, 2003).

S posnemanjem samočistilnih sposobnosti naravnih sistemov (mokrišč) pa so se v svetu vedno bolj začeli uveljavljati različni sistemi za čiščenje odpadnih vod. Gre za različne **sisteme s prosto vodno površino** (čistilne lagune), **naravna ali grajena mokrišča s podpovršinskim tokom vode** v obliki **trstičnih gred ali rastlinskih čistilnih naprav**, **sisteme z zasajenimi hitrorastočimi lesnimi rastlinami** in druge podobne sisteme z zasajenimi rastlinami. Ti sistemi so pomembni zlasti za tista območja, ko veliki centralni

čistilni sistemi niso dostopna rešitev (previsoke finančne zahteve), na območjih razpršene poselitve ter izredno občutljivih naravnih okoljih (Griessler Bulc, 2007).

ZAKONSKI OKVIRJI

Z vstopom v Evropsko unijo smo se zavezali urediti odvajanje in čiščenje komunalnih odpadnih voda do 31. decembra 2017 na poselitvenih območjih med 50 in 2000 prebivalci, medtem ko je bilo potrebno na aglomeracijah z večjim številom PE (nad 100.000) to urediti že do leta 2007. Omenjene zahteve v zvezi z odvajanjem odpadne vode v javno kanalizacijo izhajajo iz Pravilnika o odvajanju in čiščenju komunalne odpadne in padavinske vode (Ur. l. RS št. 105/2002, sprememba 50/2004) ter iz Operativnega programa odvajanja in čiščenja komunalne odpadne vode.

Operativni programi za aglomeracije večinoma ne zajemajo reševanja problemov odvajanja in čiščenja odpadnih voda na območjih razpršene poselitve.



S pomočjo Atlasa okolja na spletnem portalu Agencije RS za okolje www.arso.si, ugotovite na kakšen način se odvajajo in čistijo odpadne komunalne vode iz vaše občine. Ali vaša občina čisti vse odpadne vode na čistilni napravi?

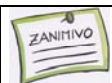


Razmislite, kako bi rešili odvajanje in čiščenje odpadnih voda izven strnjene poselitve, na primer na podeželju, v manjših zaselkih itd.?

3.3. Rastlinske čistilne naprave – znanja iz naravnih mokrišč

Rastlinske čistilne naprave (RČN) izhajajo iz raziskovanja naravnih **mokrišč** ter zavedanja o njihovih edinstvenih ekoloških funkcijah, zlasti njihovih samočistilnih sposobnostih.

V naravi se voda že od nekdaj čisti v močvirskih ekosistemih in že star pregovor pravi, da se voda, ki gre skozi sedem kamnov očisti.



Naravna močvirja – ideja za vzpostavljanje rastlinskih čistilnih naprav

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 pokrajin«, pri čemer ne le, da uravnavajo 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.

Mokrišča so prehodni habitati med kopnimi in vodnimi ekosistemi, kjer je voda dominantni dejavnik, ki določa razvoj tal in pripadajočih življenjskih združb. Ekološke funkcije mokrišč so številne. So nepogrešljivi ali izključni habitati za evropsko in svetovno pomembne ogrožene rastlinske in živalske vrste; zadrževalniki odvečne meteorne vode (t.i. tamponska območja z najmanjšo erozijo); zbiralniki talne vode, ki praviloma predstavlja tudi zalogo pitne vode za regije v okolici; naravne čistilne naprave za tla in vodo, kjer šota, mikrobi in barjanske rastline delujejo kot biofiltri – imobilizacija anorganskih polutantov; biodegradacija organskih polutantov.



Slika 26. Mokrišča so naravni filtri, v katerih se vode prečistijo in s tem dajejo pitno vodo in hrano milijardam ljudi (vir: Sajovic, 2009).



Kako se imenuje konvencija, ki ščiti mokrišča po svetu?

Rastlinske čistilne naprave (RČN) pri čiščenju različnih onesnaženih voda (komunalnih in industrijskih odpadnih vodah, izcednih voda odlagališč odpadkov, pitnih) posnemajo samočistilno sposobnost narave. Temeljijo na uporabi različnih vrst močvirskih rastlin, mešanic peska ter mikroorganizmov.



Prve znanstvene študije o rastlinskih čistilnih napravah so začeli izvajati v šestdesetih letih v Nemčiji na Inštitutu Max Planck, kjer je raziskovalka Käthe Seidel raziskovala sposobnost različnih vrst močvirskih rastlin za absorpcijo kemičnih onesnaževal. Od takrat naprej so predvsem evropski in severnoameriški raziskovalci izvedli številne eksperimente čiščenja različnih odpadnih voda z različnimi tipi rastlinskih čistilnih naprav in tako pomembno prispevali k uspešnosti uporabe le-teh (Griessler Bulc, 2007).

3.3.1. Struktura in funkcija rastlinskih čistilnih naprav

Rastlinske čistilne naprave predstavljajo umetno vzpostavljene sisteme, ki so načrtovani in postavljeni tako, da omogočajo nadzorovane in intenzivne interakcije med rastlinami, mikroorganizmi ter substratom s primarno funkcijo čiščenja različnih vrst odpadnih voda.

Sistem rastlinske čistilne naprave sestavlja manjši **prekatni zadrževalnik – usedalnik**, kjer se zadržuje mulj, ki preprečuje zamašitev sistema ter več (od 2 do 4) medsebojno povezanih zaporednih **gred** (filtrirna, čistilna in polirna). Grede so z namenom zadrževanja odpadne vode v sistemu izolirane s folijo ter napolnjene z različnimi frakcijami peska, t. i. substratom, v katerega so zasajene izbrane močvirske rastline (Ameršek, 2009).

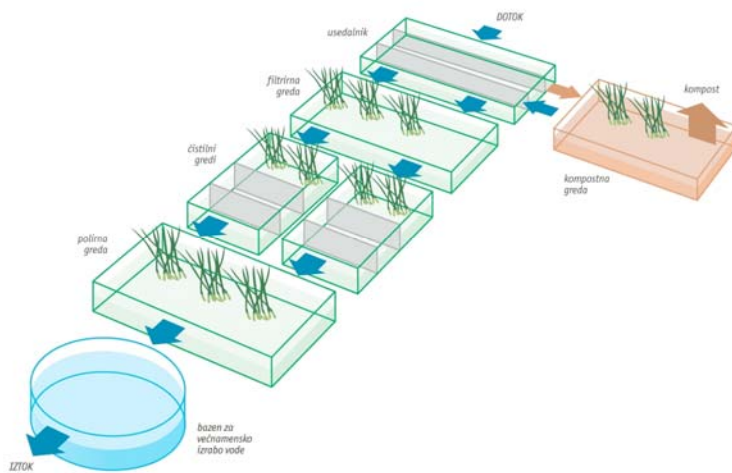
Skozi grede, zasajene z različnimi močvirskimi (vlagoljubnimi) rastlinami, se 10 cm pod površjem gravitacijsko pretaka voda, bodisi v horizontalni, vertikalni ali horizontalno-vertikalni smeri, kar preprečuje smrad in razvoj nezaželenih insektov.

Med močvirskimi rastlinami se najpogosteje uporabljajo navadni trst (*Phragmites australis*), rogoz (*Typha latifolia*) ter vitki šaš (*Carex gracillis*). Gre za izredno vlagoljubne rastline,

katerih najpogostejša rastišča v naravnem okolju so močvirja, mlake, obrežja ribnikov, s hranili bogate počasi tekoče vode itd.

Sistem rastlinske čistilne naprave je smiselno zaključiti z akumulacijskim bazenom (zbiralnikom vode), kamor lahko prečiščeno vodo zbiramo ter ponovno večnamensko uporabimo v različne namene (namakanje oz. zalivanje zelenih površin, gašenje požarov, gojenje akvakultur) ali kot krajinski element. Zaradi vse večjega problema oskrbe z vodo je to ena izmed ključnih dodanih vrednosti rastlinskih čistilnih naprav. Vse prevečkrat uporabljamo za zalivanje rož, splakovanje stranišč, pranje avtomobilov itd. pitno vodo, kar pa vsekakor ni smotno.

K sistemu rastlinske čistilne naprave pa lahko vzporedno usedalniku postavimo tudi t.i. **kompostno gredo**, namenjeno kompostiranju biološkega blata, mulja, nastalega v primarni stopnji čiščenja (mehanski stopnji predčiščenja).



Slika 27. Shema rastlinske čistilne naprave (vir: arhiv Limnos)

Blato iz čistilnih naprav

Pri klasičnih bioloških postopkih čiščenja odpadnih voda nastaja biološko blato (mikroorganizmi, ki so se razmnožili ob razgradnji in vgrajevanju odpadnih snovi iz vode), ki ga je potrebno ločiti od očiščene vode in posebej obdelati pred dokončno odstranitvijo – odcejanje, zgoščanje, sušenje, anaerobna razgradnja s pridobivanjem metana, zažig itd.

Ravnanje z biološkim blatom pa postaja pomemben problem, saj s strožjo zakonodajo, ki predvideva čiščenje vse odpadne vode, nastaja v klasičnih postopkih čiščenja odpadne vode tudi več biološkega blata. Nekoč se je odlagalo blato v velikih količinah na komunalnih odlagališčih odpadkov, kar je sedaj prepovedano. Velike količine neobdelanega blata na kmetijskih površinah pa so ravno tako povzročile precej problemov. Poleg sproščanja toplogrednih plinov ob njegovi razgradnji in obremenjevanje voda in podtalnice s sproščanjem hranil je predstavljajo problem tudi kopičenje težkih kovin, ki so v postopku čiščenja prešle iz odpadne vode v biološko blato (Toman, 2003).

3.3.2. Kako se čisti voda v rastlinski čistilni napravi?

Voda se v rastlinski čistilni napravi čisti ob pomoči širokega spektra bioloških in fizikalno-kemijskih procesov, ki se naravno pojavljajo v močvirskih okoljih. Ključno vlogo čiščenja odpadnih voda opravljajo mikroorganizmi. Mikroorganizmi, ki živijo na koreninskem sistemu vodnih rastlin in v substratu, pretvarjajo organsko snov in nutriente v odpadni vodi v hranilno snov, ki pestri močvirski združbi zagotavlja ugodne življenjske razmere. Zaradi koreninskega sistema vlagoljubnih rastlin in mikroorganizmov je v substratu ugodna struktura rizosfere, ki je pri čiščenju še posebno učinkovita.

Rastline v njej so dejavne pri odvzemu razpoložljivega dušika, fosforja in drugih spojin (tudi težkih kovin) iz odpadne vode. Rastlinske čistilne naprave so še zlasti učinkovite pri odstranjevanju oz. zniževanju vsebnosti suspendiranih trdnih delcev, dušika, fosforja, ogljikovodikov, biološke potrebe po kisiku (BPK) in tudi kovin (Griessler Bulc, 2007).



Na podlagi raziskav so znani podatki o učinkovitosti zmanjšanja onesnaženja z rastlinsko čistilno napravo, in sicer (Griessler Bulc, 2007):

- suspendirane snovi 80 – 95 %,
- celokupni fosfor 70 – 90 %,
- celokupni dušik 70 – 90 %,
- BPKK₅ 70 – 85 %,
- KPK 70 – 85 %,
- kovine (kadmij, cink, krom in živo srebro) 50 – 90 %,
- svinec 80 – 95 %,
- koliformne bakterije in bakterije fekalnega izvora (do 99 %).

Večina suspendiranih trdnih delcev se odstrani v procesu sedimentacije in filtracije preko substrata in rastlinske površine. Značilna je tudi notranja produkcija suspendiranih snovi, in sicer zaradi odmiranja makrofitov, alg ter mikroorganizmov. V sistemu rastlinske čistilne naprave prekatni zadrževalnik ali usedalnik služi za odstranjevanje večjih delcev, kar preprečuje možnost zamašitve sistema. Sedimentirane snovi v usedalniku pa so nato podvržene nadaljnjim procesom razgradnje.

Eksperimentirajte

Čiščenje vode s peščenim filtrom – mehansko (pred)čiščenje

Priprava peščenega filtra vam bo pomagala razumeti eno od stopenj čiščenja vode v čistilnih napravah, in sicer mehansko (pred)čiščenje vode. Hkrati vam preizkus pomaga razumeti, kako se v naravnem ekosistemu, kot je npr. potok ali mokrišče, voda sama očisti. Govorimo o t.i. procesu filtracije.

Materiali: platenka, merilni valj, plastično korito, gramoz (2-5 cm), prod (0,2-2 cm), pesek (0-1 mm), oglje, odpadna ali kalna voda, vata, 2 čaši

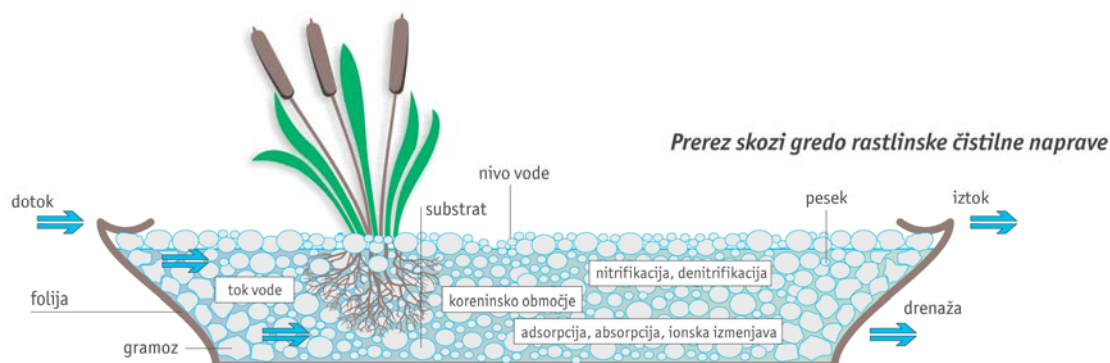
Postopek: Na odprtino na vratu platenke položi kose vate, nanj nasuj 5 cm peska, nato pa še 5 cm gramoza in 5 cm peska. To je peščeni filter. Izperi ga s čisto vodo. Skozi peščeni filter

počasi zlij kalno vodo. Če si peščeni filter pravilno pripravil, bo skozi vrat čaše pritekla čista voda.



Slika 28. Peščeni filtri izhajajo iz pregovora: »Voda gre skozi sedem kamnov in se očisti« (vir: Play with water, 2006).

Glavni procesi, ki se odvijajo v rastlinski čistilni napravi, so: **filtracija, adsorpcija, absorpcija, mineralizacija, aerobna in anaerobna razgradnja**. Strupene snovi se v procesu čiščenja razgradijo, delno vgradijo v rastlinsko biomaso, delno pa ostajajo v substratu, od koder se iz prvih bazenov v cikličnih obdobjih lahko odstranijo.



Slika 29. Prerez skozi gredo rastlinske čistilne naprave (vir: arhiv Limnos)

Glavni delež čiščenja prispevajo aerobne in anaerobne bakterije, ki živijo na koreninah ali med njimi (80 % čiščenja), ostalih 20 % čiščenja prispevajo rastline z vezavo mineralnih snovi (npr. fosfatov, nitratov) ter mnogih strupenih snovi v rastlinskem tkivu. Ob sodelovanju mikroorganizmov in močvirskih rastlin se tako voda očisti do zahtevanih standardov.

Ali ste vedeli?

Število mikroorganizmov na Zemlji je nemogoče izraziti v številkah. Strokovnjaki menijo, da je v 2,5 grama rodovitne prsti šest milijard mikrobov, to je približno toliko, kolikor je vseh ljudi na svetu.

3.3.3. Vloga mikroorganizmov v rastlinski čistilni napravi

Mikroorganizmi soustvarjajo fizikalne, kemijske in biološke pretvorbe ter na ta način spreminjajo sestavo vode v sistemu RČN. Med nosilci čiščenja odpadne vode v RČN so bakterijske združbe in glive eni od najpomembnejših (Kadlec, Knight, 1996). Bakterije ločujemo po morfologiji, kemijskih značilnostih, prehranjevalnih navadah in metabolizmu.

Večina bakterij je heterotrofnih, za čiščenje pa so pomembne tudi avtotrofne bakterije. Prisotnost strupenih snovi zavira njihovo delovanje, s čimer se zmanjša primarna produkcija. Večina pomembnih kemijskih pretvorb, ki potekajo s pomočjo mikroorganizmov, je odvisna od encimskega delovanja. Pretvorbe pa so odvisne tudi od zunanjih dejavnikov kot so temperatura, koncentracija raztopljenega kisika, pH, koncentracija kemijskih snovi. V RČN je mikroba aktivnost bolj pomembna od velikosti združbe (Griessler Bulc, 2007).

3.3.4. Vloga rastlin v rastlinski čistilni napravi




Rastline v rastlinski čistilni napravi nudijo površino za pritrjevanje (naselitev) mikroorganizmov in odmrle organske snovi, potrebne za rast mikroorganizmov. Prav tako rastline preko korenin izločajo enostavne sladkorje, aminokisliline, encime in aromatske snovi, ki dodatno spodbujajo rast mikrobnih združb. Koreninski sistemi rastlin stabilizirajo substrat, upočasnjujejo tok vode, večajo prevodnost in izločajo kisik. Za rastlinske čistilne naprave so značilne vodne rastline (makrofiti), ki so zmožni tolerance do visoko in različno obremenjenih odpadnih voda. Najpogosteje uporabljeni rodovi so *Phragmites*, *Typha*, *Juncus*, *Scirpus*, *Carex*. Korenine in rizomi teh rastlin so votli in vsebujejo z zrakom napolnjene kanalčke, ki so povezani z atmosfero. Tako rastlina zagotavlja kisik za procese v poplavljenih delih, hkrati pa nekaj kisika oddaja v svojo okolico.

Pri izbiri rastlin je pomembno upoštevati različne dejavnike. Globina vode, tolerančno pH območje, hrana za živali, estetska vrednost so dejavniki, ki pogojujejo primernost uporabe določenega makrofita. Primerjave odstranjevanja dušika in fosforja v vegetacijskih in nevegetacijskih gredah so potrdile velik pomen rastlin pri tovrstnih čistilnih procesih. Na uspešnost vpliva tudi fiziologija rastlin, in sicer višina, oblikovanost listov, razraščanost koreninskega sistema itd. Odstranjevanje nutrientov lahko spremljamo preko prirastka biomase rastlin ali glede na prirastek na površino. Pomembno vlogo imajo rastline tudi v hladnejših okoljih, saj nudijo tudi toplotno izolacijo sistema in tako omogočajo delovanje pri nizkih temperaturah.



Razen semen so nekatere rastline razvile poseben primer nespolnega razmnoževanja, ki ga imenujemo **vegetativno razmnoževanje**. Pri njem se del rastline lahko razvije v celo novo rastlino. Na primer tudi širokolistni rogoz ima značilno koreniko (odebeljeno steblo z luskastimi listi, ki raste vodoravno pod zemljo), iz katere po celotni dolžini poganjajo korenine in brste, iz katerih zrastejo novi poganjki. Korenike imajo prav tako tudi mnoge trave in druge rastline, npr. praproti in perunike.

Preglednica 4. Opis najpogostejše rastline, ki se uporabljajo za rastlinske čistilne naprave (vir: Seidel, Eisenreich, 2005).

NAVADNI TRST (<i>Phragmites australis</i>)	ROGOZ (<i>Typha latifolia</i>)	VITKI ŠAŠ (<i>Carex gracillis</i>)
<p>Najpogosteje uspeva v slanih in sladkovodnih močvirjih, najdemo pa ga tudi na vlažnih travnikih, jezerih itd. Gre za veliko travnato trajnico, ki lahko v kratkem času zraste do 4 m visoko in pridela do 25 ton/ha biomase (povratni vir energije). Zanj je značilen šopast koreninski sistem od globokih do plitvih korenin, ki je pogosto dopolnjen z nadomestnimi koreninami. Steblo je pokončno, izrazito kolenčasto, večinoma nerazraslo in tudi votlo, steblo se razrašča v glavnem tik pod ali nad površjem.</p>	<p>Rastišča rogoza so močvirja, s hranili bogate počasi tekoče ali stoječe vode, muljasto dno, obrežja in jarki. Uspeva tudi v 2 m globoki vodi, običajno pa v globini 50 cm. Širokolistni rogoz ima močne razvejane korenike, iz katerih poženejo do 14 mm dolgi listi in votlo, do 2,5 visoko steblo, s socvetjem na vrhu. Za rogoz je značilno t.i. vegetativno razmnoževanje s podzemnimi poganjki.</p>	<p>Šaše najdemo na obrežjih, bregovih ribnikov, mrtvicah, jarkih, sestojih jelševja, nizkih barjih, vlažnih ali močvirnatih travnikih, poplavnih ravninah, logih itd. Vitki šaš ima tako kot večina šašov goste šopaste korenine ter mnogo manjših koreninskih laskov, ki zelo dobro črpajo in prečrpavajo vodo.</p>
		

Slika 30. Navadni trst (levo), širokolistni rogoz (sredina) in vitki šaš (desno) (Vir: Seidel, Eisenreich, 2005).

3.3.5. Vloga substrata v rastlinski čistilni napravi

Substrat omogoča filtracijo, sedimentacijo in absorpcijo raztopljenih in suspendiranih snovi, patogenih organizmov, dušika, fosforja in kovin. Prav tako omogoča precipitacijo fosforja in kovin. Fizično omogoča ukoreninjenje rastlin in površino za naselitev mikroorganizmov. Pomembne lastnosti substrata so tako kapaciteta kationske izmenjave, pH, električna prevodnost, redoks potencial, površina substratih delcev in pripadajoči naboj.

Pri rastlinskih čistilnih napravah se najpogosteje uporabljajo bolj porozni substratni materiali, in sicer pesek, prodniki ter kamenje najrazličnejših dimenzij. Večja kot je velikost delcev, večji sta poroznost in hidravlična prevodnost substrata, hkrati pa manjši delci ob isti prostornini nudijo več površine za razvoj biofilma, laminarnejši tok vode in enakomernejšo

razrast koreninskih sistemov. Poleg velikosti delcev je pomembna lastnost substrata njegova absorpcijska sposobnost.

Velikost in kemična sestava substratnih delcev ne kaže posebnega vpliva na zmanjševanje BPK vrednosti, kar pa ne drži za odstranjevanje hranil. Manjši delci substrata preko sedimentacije in adsorpcije bolje odstranjujejo dušik kot večji, medtem ko je pri fosforju pomembnejša sestava. Z aluminijem in železom bogati substrati so zaradi adsorpcije in precipitacije uspešnejši od karbonatnih.

Eksploimentirajte

Prepustnost vode skozi substrat

Ta poskus vam bo pomagal razumeti, katera oblika oz. velikost substrata (pesek, zemlja, glina, mivka itd.) ima v naravi najhitrejšo in najboljšo prečiščevalno sposobnost pretvoriti kalno vodo v čisto vodo.

Materiali: 4 večji kozarci (označeni z A, B, C, D); 4 plastenke, prerezane v obliki lijaka (odrežete dno plastenke); 2-3-različne velikosti peska, kamenčki, zemlja, glina, mivka;

Postopek: v vsako plastenko damo različne substrate, ki smo jih prej nabrali. V 1. plastenko damo samo zemljo; v 2. plastenko damo glino in zemljo, v 3. plastenko damo samo različne oblike peska, v 4. damo vsakega substrata po malo – naredimo mešani substrat. Nato narobe obrnjene plastenke skozi manjšo odprtino postavimo v kozarce. V vsako plastenko zlijemo istočasno enako količino vode zlijete. Opazujte, kje bo voda najhitreje pritekla v kozarec in koliko vode bo priteklo in ali bo voda podobne barve, kot smo jo vlili v plastenko.

3.3.6. Vrste rastlinskih čistilnih naprav

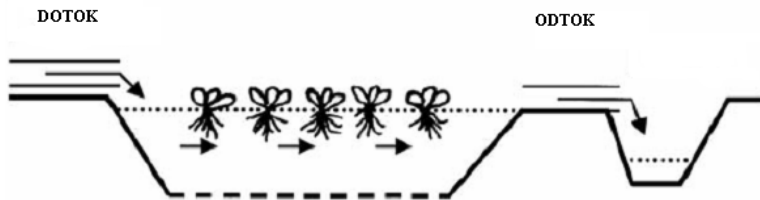
Poznamo dva osnovna tipa rastlinskih čistilnih naprav, in sicer glede na vodni režim obstajajo rastlinske čistilne naprave s **površinskim** in **podpovršinskim** tokom vode. Prve nudijo večje habitatne možnosti za razvoj živih bitij, imajo večji estetski potencial, a potrebujejo večjo površino za enako učinkovitost čiščenja kot podpovršinski sistemi, ki imajo večje čistilne sposobnosti in so sposobni delovati pri nižjih temperaturah. V praksi se lahko uporabljajo tudi sistemi s kombinacijo različnih tipov čistilnih naprav v okviru enega sistema in jih imenujemo **hibridne rastlinske čistilne naprave**, ki zaradi izkoriščanja prednosti posameznih tipov dosegajo večje čistilne učinke.

Rastlinske čistilne naprave s površinskim tokom vode (čistilne lagune)

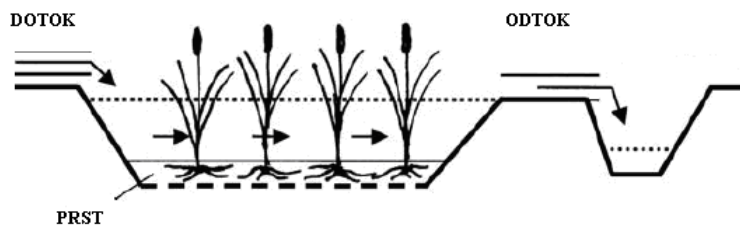
Rastlinske čistilne naprave s površinskim tokom vode so po videzu zelo podobne naravnim močvirjem. Vodna površina je v stiku z atmosfero, grede na dnu vsebujejo substrat, nad katerim se horizontalno pretaka voda, ki obliva različne vodne rastline. Za sisteme s površinskim tokom je značilen aerobni pas pod vodno površino, ki ga naseljujejo alge ali makrofiti, v nižjih plasteh, kamor svetloba ne seže, pa se oblikuje anoksično okolje s pripadajočimi mikrobnimi procesi. Glede na prevladujočo obliko vegetacije ločimo več različic sistemov s površinskim tokom, in sicer s prostoplavajočimi makrofiti (npr. vodna hijacinta, vodna leča), z **emergentnimi (ukoreninjenimi) makrofiti** (*Phragmites australis*, *Typha latifolia* in *Scirpus lacustris*), z **ukoreninjenimi plavajočimi** ali **potopljenimi**

makrofiti. Velikokrat se pojavljajo kombinacije vseh omenjenih rastlin, vključujoč tudi področja proste vodne površine (Tousignant, 1999; EPA 2000).

Makrofiti (vodne rastline) so skupina rastlin, ki so vidne s prostim očesom in naseljujejo površinska vodna telesa (alge, mahove, praproti in višje rastline).



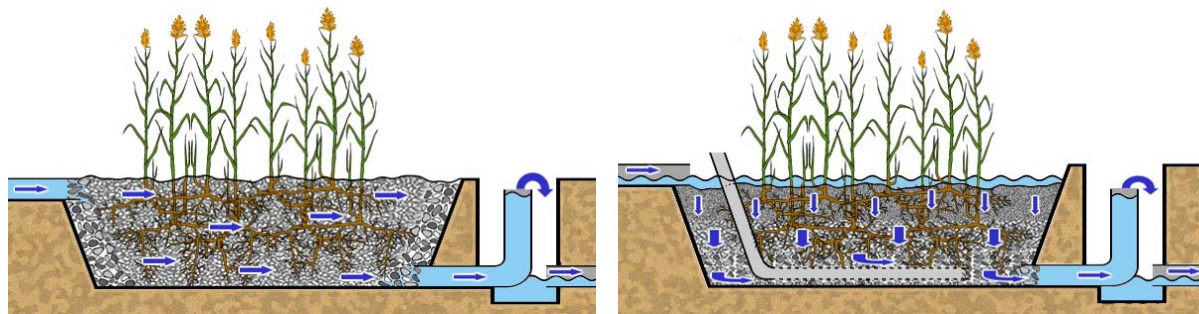
Slika 31. RČN s površinskim tokom in prosto plavajočimi makrofiti (vir: Vymazal, 2007)



Slika 32. RČN s površinskim tokom in ukoreninjenimi emergentnimi makrofiti (vir: Vymazal, 2007)

Rastlinske čistilne naprave s podpovršinskim tokom

RČN s podpovršinskim tokom vode sestavljajo grede, v celoti napolnjene s substratom, v katerem so ukoreninjeni makrofiti. Voda, ki se pretaka skozi substrat, ne prihaja v stik z atmosfero in zato ne oddaja smradu ter težje zamrzne. Čistilni procesi, ki se odvijajo v RČN, so podobni kot pri sistemih s površinskim tokom, vendar pa substrat v primerjavi z vodo nudi veliko večjo površino za razvoj mikrobnega biofilma, kar omogoča večje čistilne učinke. Rastline v uporabi so ukoreninjeni emergentni makrofiti, kot *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Scirpus lacustris*. Tovrstne RČN se delijo glede na tok vode skozi grede na sisteme s **horizontalnim, vertikalnim ali kombiniranim podpovršinskim tokom** (Reed, 1993; EPA 2000).



Slika 33. Sistem z ukoreninjenimi emergentnimi makrofiti - horizontalni tok vode pod površino (levo) in sistem z ukoreninjenimi emergentnimi makrofiti - vertikalni tok vode pod površino (desno) (vir: Vymazal, 2007).

3.3.7. Uporabnost rastlinskih čistilnih naprav v Sloveniji

Rastlinske čistilne naprave se lahko uporabljajo za čiščenje različnih vrst odpadnih voda, zaščito pred spiranjem onesnaževal s kmetijskih površin, kot tudi za zaščito podtalnice, jezer, vodotokov in morja. Z njimi lahko čistimo sledeče odpadne vode:

- komunalne odpadne vode iz naselij, turističnih objektov, planinskih postojank itd.,
- industrijske odpadne vode,
- izcedne odpadne vode (iz deponij),
- padavinski odtok s cest itd. (Vrhovšek, Sajovic, Ameršek, 2009).

Za en populacijski ekvivalent (PE), kar pomeni čiščenje odpadne vode za enim človekom, zadostuje približno 2,5 m² površine rastlinske čistilne naprave.

Operativni programi za aglomeracije večinoma ne zajemajo reševanja problemov odvajanja in čiščenja odpadnih voda na območjih razpršene poselitve. Pogosto tudi rešitve, ki jih ponujajo, niso ekološko in ekonomsko najbolj upravičene, saj ne rešujejo problema občutljivih območij (vodovarstvenih, ekološko pomembnih območij, območij Natura 2000).



Zakaj Operativni program za odvajanje in čiščenje odpadnih voda ne rešuje problema čiščenja odpadnih voda na območjih razpršene poselitve?

Več kot polovica Slovencev (52,3 %) živi v naseljih z manj kot 2000 prebivalci. Teh naselij je skoraj 6000 in predstavljajo 98,4 % vseh naselij v Sloveniji (preglednica 5). Na podeželju, ki obsega 30,5 % državnega ozemlja, živi 38,5 % slovenskega prebivalstva (MKGP, 2006). Ti podatki odražajo razpršeno poselitev Slovenije, ki se pojavlja zlasti v gričevnatih in hribovitih delih Slovenije. Posledica značilne poselitve kot odraz reliefne razgibanosti slovenskih pokrajin pa je razpršeno onesnaževanje vodnih virov in tal. Poleg tega je na podeželju vedno več turističnih, rekreativnih in počitniških dejavnosti, ki povečujejo količino odpadne vode (Kompore, Vahter, 2007).

Preglednica 5. Naselja in prebivalci Slovenije v razredih naselij od 1 do 1.999 (vir: MKGP, 2006).

Velikostni razredi naselij po številu prebivalcev	Število naselij s prebivalci	% naselij	Število prebivalcev	% prebivalcev
1-199	4.335	73,1	334.250	17,0
200-499	1.103	18,6	338.944	17,3
500-999	288	4,9	198.416	10,1
1.000-1.999	109	1,8	155.272	7,9
SKUPAJ	5.835	98,4	1.026.882	52,3

Po naši dosedanji zakonodaji posamezne hiše, zaselki in manjše vasi z manj kot 50 prebivalci niso vključeni v območja, kjer za odvajanje in čiščenje odpadnih voda skrbijo javne službe, kar pomeni, da morajo za to poskrbeti prebivalci sami. Prevladujoči način zbiranja in čiščenja odpadnih voda so greznice, ki so marsikje pretočnega tipa, netesne in potrebne obnove in predstavljajo velik točkovni vir obremenjevanja okolja (Kompore, Vahter, 2007).

Študija primera

Rastlinska čistilna naprava za čiščenje odpadnih voda iz naselja Sv. Tomaž pri Ormožu in kmetijske dejavnosti

Problematika

- V vasi Sv. Tomaž ni bilo obstoječe javne kanalizacije. Odpadne vode so se večinoma zbirale v greznicah.
- Zaradi razpršene poselitve reševanje omenjene problematike zahteva upoštevanje državni izhodišč, celovito presojo in iskanje rešitev v smislu optimalnega decentralnega in sonaravnega sistema odvajanja in čiščenja odpadnih voda.
- Za reševanje problema odpadnih voda tam, kjer le-te nastanejo, pridejo v poštev manjše in srednje velike čistilne naprave.
- Glede na količino in sestavo komunalnih odpadnih voda v Sv. Tomažu so kot alternativa mogoče mehansko-biološke čistilne naprave ter rastlinske čistilne naprave (v nadaljevanju RČN). Glede na nižja investicijska sredstva, kakor tudi glede na nižje stroške obratovanja in vzdrževanja so se v Sv. Tomažu odločili za postavitev RČN.

Izgradnja rastlinske čistilne naprave Sv. Tomaž

- V jugovzhodnem delu naselja, ki gravitira proti potoku Sejanca, živi približno 250 ljudi, na kar lahko tudi ocenimo velikost onesnaženja – 250 populacijskih ekvivalentov (PE). Odpadne vode izvirajo predvsem iz gospodinjstev pa tudi iz kmetijske dejavnosti. Glede na evropske standarde je skupna poraba vode 37,5 m³/dan.
- RČN v naselju Sv. Tomaž je bila izgrajena leta 2000. Potrebna površina glede na obremenitev znaša 700 m² z okvirno 500 m³ bruto volumna oz. 163 m³ efektivnega volumna



Naselje Sv. Tomaž z rastlinsko čistilno napravo (vir: Sajovic, 2007).

- Čas zadrževanja v celotnem sistemu je predvidoma 4 do 5 dni.
- Odpadna voda se zbira v zadrževalniku, od koder prehaja na filtrirno gredo. Substrat v filtrirni gredi je iz peska, voda se pretaka horizontalno.
- Voda se nato pretaka v sistem čistilnih gred, kjer obstaja možnost vertikalnega in horizontalnega toka.
- Vse grede so zatesnjene z nepropustno folijo debeline 1,5 – 2 mm, naklon dna vseh gred je 1 %.
- Filtrirna greda je zasajena s šaši in ločjem, čistilni gredi s trstičjem in polirna greda z ločjem.



Rastlinska čistilna naprava v Sv. Tomažu tik po zasadnji z rastlinami (levo) in leto kasneje (desno)
Vir: Ameršek, Sajovic, 2007.

- Čiščenje odpadne vode na RČN omogočajo mikroorganizmi, ustrezna mešanica substrata, in izbrane močvirske rastline. Pri tem potekajo različni fizikalni, kemični in biološki procesi kot so adsorbcija, mineralizacija, mikrobn razgradnja ter rastlinski privzem. Največji del čiščenja (80 %) opravijo bakterije, ki žive na koreninah rastlin ali med njimi, okoli 20 % onesnaževal pa odstranijo rastline.

Pomen

- Rastlinske čistilne naprave so enostavne za postavitev, obratovanje in vzdrževanje.
- Stroški postavitve, obratovanja in vzdrževanja so nizki.
- Voda se skozi sistem pretaka gravitacijsko in zato za obratovanje običajno ne potrebujemo energetskega vira in strojne opreme.
- RČN lahko oblikujemo razgibano, glede na dano oblikovanost prostora.
- Vodo, ki priteče iz RČN lahko speljemo v bližnji vodotok ali pa jo zbiramo v okrasnem bajerju oziroma za namene zalivanja vrtov, pranja avtomobilov, gašenja požarov ipd.
- Je trajnostni način čiščenja odpadnih voda.



Razmislite, zakaj je bila za naselje Sv. Tomaž rastlinska čistilna naprava najbolj optimalna rešitev za čiščenje odpadnih voda? Katere so dodane vrednosti rastlinske čistilne naprave na primeru Sv. Tomaž.

3.3.8. Prednosti in dodana vrednost rastlinskih čistilnih naprav

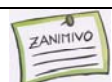
Visoka dodana vrednost rastlinskih čistilnih naprav je v njihovi večnamembnosti, saj se ustvari nov biotop za rastline in živali (Vovk Korže, A., Vrhovšek, D., 2006). Poleg tega rastline prispevajo k vezavi CO₂ iz zraka in tako pripomorejo k zmanjšanju učinka vpliva tople grede, ustvarimo tudi nove zelene površine. Rastlinske čistilne naprave s terciarnim čiščenjem varujejo podtalnico, vodotoke in jezera ter s tem tudi zdravje ljudi.

ZAKONSKI OKVIRJI

Rastlinske čistilne naprave so v 4. členu **Uredbe o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav (Ur. l. RS št. 98/2007)** opredeljene kot dodatno čiščenje odpadne vode, ki se odvaja iz malih komunalnih čistilnih naprav – »odpadna voda, ki se odvaja iz male komunalne čistilne naprave je dodatno obdelana, če se čisti v mali komunalni čistilni napravi z naravnim prezračevanjem s pomočjo rastlin v rastlinski čistilni napravi z vertikalnim tokom, ali če se voda na iztoku male komunalne čistilne naprave dodatno obdela v rastlinski čistilni napravi«.

Njihova ekonomska prednost je poleg poceni izgradnje tudi v preprostem in cenemem vzdrževanju. Za njihovo delovanje načeloma nista potrebni električna energija in strojna oprema in tako njihovo delovanje ne predstavlja dodatnega energetskega bremena za okolje. Ob povečani obremenitvi onesnaževanja jo lahko preprosto dogradimo. Očiščeno vodo na sistemu rastlinske čistilne naprave pa lahko ponovno uporabimo (Vrhovšek, 2007).

V zadnjem času vidijo glavno prednost rastlinskih čistilnih naprav predvsem v njihovi zeleni površini, ki vpliva tako na mikroklimo, biodiverzitetu in daje pokrajini večjo ekonomsko in socialno vrednost (npr. višji standard stanovanjskih sosesk, naselij s pogledom na zelene površine) poleg njegove primarne funkcije – čiščenja odpadnih voda.



Rastlinske čistilne naprave – prispevek k biodiverziteti ter preprečevanju učinka tople grede

Visoka dodana vrednost rastlinskih čistilnih naprav je v njihovi večnamembnosti, saj ustvarjajo nov biotop za rastline in živali, medtem ko rastline hkrati prispevajo k vezavi CO₂ iz zraka in s tem posledično k zmanjšanju vpliva učinka tople grede. Izjemna puferska sposobnost rastlinskih čistilnih naprav pa onemogoča izpad prenehanja delovanja.

3.3.9. Izgradnja in vzdrževanje rastlinskih čistilnih naprav

Izgradnja rastlinskih čistilnih naprav poteka v naslednjem sosedju:

1. izgradnja prekatnega zadrževalnika – usedalnika,
2. izkop jam, bazenov (2 – 4) glede na velikost rastlinske čistilne naprave,
3. izolacija bazenov z neprepustno folijo z namenom zadrževanja vode v bazenih,
4. postavitvev drenažnih cevi za dotok odpadne vode iz usedalnika na čistilne bazene in iztok iz čistilnega sistema,
5. zapolnitev bazenov z različnimi frakcijami peska (substratom),
6. zasadnja rastlin (Ameršek, 2009).



Izkop bazenov
Vir: arhiv Limnos



Položitev neprepustne folije
Vir: arhiv Limnos



Zapolnitev bazenov s substratom

Zasadnja rastlin

Slika 34. Faze izgradnje rastlinske čistilne naprave (izkop bazenov, polaganje neprepustne folije, zapolnitev sistema s substratom, zasadnja rastlin) (Vir: Iztok Ameršek, Alenka Sajovic).

Vzdrževanje rastlinskih čistilnih naprav obsega redno odstranjevanje mulja iz usedalnika oziroma prečrpavanje in odlaganje le-tega na vzporedno postavljeno kompostno gredo; čiščenje dotočnih in drenažnih cevi; pregledovanje zapornih ventilov, dopeskavanje (po potrebi); 1-krat letno košnjo rastlin, ki se jih uporabi za izolacijo v zimskem obdobju delovanja naprave (po potrebi) in spomladi nato odstrani na kompost ter po potrebi dodatna zasadnja rastlin (Ameršek, 2009).

3.3.10. Povzetek

Rastlinska čistilna naprava pri čiščenju različnih vrst odpadnih voda posnema samočistilno sposobnost narave. Sestavljena je iz 2-3 zaporednih gred, izoliranih z neprepustno folijo, napolnjenih s substratom ter zasajenimi rastlinami. Mikroorganizmi, ki se naselijo na koreninskem sistemu močvirskih rastlin, opravljajo prvotno funkcijo čiščenja. Odpadna voda se skozi sistem pretaka pod površino in na koncu sistema očisti do zahtevanih standardov. Očiščena voda se lahko večnamensko ponovno uporabi, s čimer veliko pripomoremo k smotrnejši uporabi pitne vode.

Razmislite in odgovorite

1. Kaj je rastlinska čistilna naprava?
2. Kakšen namen ima rastlinska čistilna naprava?
3. Kako je zgrajena rastlinska čistilna naprava?
4. Katere so prednosti rastlinske čistilne naprave?
5. Razmisli, zakaj so rastlinske čistilne naprave pomembne za Slovenijo? Za katera območja v Sloveniji bi predlagal izgradnjo rastlinskih čistilnih naprav za odvajanje in čiščenje odpadne vode?
6. Razmisli, kako deluje rastlinska čistilna naprava pozimi?
7. Razmisli, na kakšen način še lahko odvajamo in čistimo odpadne vode?

Raziskujete – vaje za terensko delo

Ugotavljanje učinkovitosti rastlinske čistilne naprave

Odvzemite vzorce vode na dotoku in iztoku iz rastlinske čistilne naprave in izmerite kakovost vode v vzorcih.

Materiali: plastenke za vzorce, marker, rokavice, terenski kovček za merjenje fizikalno-

kemijskih parametrov, merilni set.

Postopek:

1. Na mestu odvzema vzorca vode si nadenite rokavice, vzemite čisto plastenko za vzorčenje in jo primerno označite.
2. Platenko sperite z vodo, ki jo boste vzorčili.
3. Odvzemite vzorec vode tako, da platenko povsem napolnite.
4. Na terenu izmerite fizikalne in kemijske parametre vode (koncentracijo kisika, pH, elektroprevodnost in temperaturo) in jih vpišite v tabelo.
5. Vzorce odnesite v učilnico na poligonu in izmerite parametre iz spodnje tabele, kot narekujejo navodila merilne opreme. Rezultate vpišite v tabelo.
6. Primerjajte rezultate kakovosti vode na dotoku in iztoku iz rastlinske čistilne naprave.

Rezultati:

Parameter	Dotok	Iztok
pH		
Kisik (mg/L)		
Prevodnost ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)		
Amonij – NH_4 (mg/L)		
Nitrat – NO_3 (mg/L)		
Nitrit – NO_2 (mg/L)		
Fosfat – PO_4 (mg/L)		
Cink – Zn (mg/L)		

Opažanja:

Eksperimentirajte

Izdelajmo model rastlinske čistilne naprave

S pomočjo izdelave modela rastlinske čistilne naprave boste lažje razumeli strukturo ter princip delovanja rastlinske čistilne naprave. Spoznali boste, da so rastlinske čistilne naprave preproste tehnologije, ki delujejo po principih delovanja naravnih procesov, ki omogočajo čiščenje odpadnih voda (filtriranje, absorpcija itd.)

Materiali: 1 plastični zaboj (35 x 23 x 31 cm), 15 kg gramoza (4-16 mm), 25 litrov akvarijskega peska: 1-4 mm, 2 plastični vedri (10 l), 25 cm plastične cevi (premer 20 mm), 1 plastična vodovodna pipa (z vijakom in matico), 1 merilni valj (1 l), 1 merilni trak (na centimetre), 1 lepilni trak, rastline (močvirske rastline), npr. šaš, perunika, dodatni pripomočki, kot so škarje, svinčnik, papirne brisače itd.

Postopek:

1. V plastični zabojnik na eni strani na spodnjem delu (2 cm od spodnjega roba zaboja) naredite luknjo v velikosti vodovodne pipe.
2. Luknjo zaprite z vstavitvijo plastične vodovodne pipe s pomočjo tesnilne gume, ki bo omogočala vodotesnost.
3. Fiksirajte plastično cev ob notranjem robu plastičnega zaboja.
4. Dvignite en del zaboja in ga napolni s prvo plastjo gramoza in nato z akvarijskim

peskom.

5. Odstranite rastline iz loncev, od korenin odstranite zemljo, ki se je oprijela korenin in vsadite rastline v zaboj.
6. Pritrdite merilni trak ob plastično cev na zunanji strani zaboja.
7. Postavite čistilno napravo na varno mesto, postavite vedro pod iztok vodovodne pipe in počasi spuščajte približno 5 litrov vode v tok sistema. Pri tem si pomagajte z merilnim valjem. Če iz sistema pride kalna voda, ponovite postopek, vse dokler ne bo iz sistema pritekla čista voda.
8. Vlijte 1 liter umetne odpadne vode v sistem in počakaj, da priteče voda skozi pipo.
9. Vsak teden lahko vzamete vzorec vode in opravite analize kakovosti vode.

Vir: povzeto po projektu »Play with water«

<http://www.play-with-water.ch/d4/index.cfm?CFID=4493195&CFTOKEN=79046471>

4. BIOREMEDIACIJE IN FITOREMEDIACIJE

Učna vsebina:

- **Onesnaževanje in degradiranost tal**
- **Bioremediacija onesnaženih tal**
- **Fitoremediacija onesnaženih tal**

4.1. Onesnaženost in degradiranost tal

Tla so za človekov obstoj eden izmed najpomembnejših naravnih neobnovljivih virov. Tla so naravna tvorba na površju Zemljine skorje, stičišče med litosfero, hidrosfero in ozračjem. Gre za kompleksen in dinamičen sistem, ki nastaja in se razvija pod vplivom živih in neživih dejavnikov, kot so matična podlaga, podnebje, organizmi, voda, relief in čas. Nastajajo s preperevanjem matične podlage (izvirne kamnine) in tvorbo humusa kot posledice razkroja organskih ostankov v tleh. Tla so pomemben življenjski prostor ne samo za organizme, ki živijo na njihovem površju, ampak tudi za številne in raznolike organizme v tleh. Primarna vloga tal je njihova ekološka funkcija, saj omogoča ohranjanje atmosfere in rast vegetacije, pri čemer se s pridelovanjem hrane in shranjevanjem energije v lesu del sončne energije pretvarja v biomaso (Udovič, Finžgar, 2010).

Človek že od nekdaj posega v okolje in ga s svojimi dejavnostmi spreminja in s tem škodljivo vpliva tudi na tla. Največ negativnih vplivov na tla povzročajo neustrezne agronomske prakse, in sicer zlasti uporaba gnojil, pesticidov, blata iz čistilnih naprav, odpadnih voda in gnojevk; metalurška industrija (rudarstvo, talilništvo, obdelava kovin itd.), proizvodnja energije (osvinčeno gorivo, proizvodnja baterij in akumulatorjev, elektrarne) in neustrezno odlaganje odpadkov.

Tla so tako zaradi človekovih dejavnosti izpostavljena številnim procesom degradacije in nevarnostim, kot so: erozija tal, zmanjševanje količin organskih snovi, linijsko in razpršeno onesnaževanje, pozidava, zbitost tal, zmanjševanje biološke raznovrstnosti, zasoljevanje, poplave in zemeljski usadi ipd. V tla se vnašajo z različnimi dejavnostmi organska (npr. pesticidi, ogljikovodiki, ki izvirajo iz nafte – olja, policiklični aromatski ogljikovodiki, aromatske spojine) kot tudi anorganska onesnaževala (kovine). Povečana prisotnost kovin je lahko tudi naravnega izvora, zaradi prisotnosti kovin v matični kamnini, vendar so koncentracije kovin naravnega izvora, v primerjavi s koncentracijami antropogenega (človeškega izvora), skoraj zanemarljive (Vovk Korže, 2007).

O onesnaženih tleh govorimo takrat, kadar vsebujejo toliko škodljivih snovi, da se zmanjša njihova samočistilna sposobnost, poslabšajo se njihove fizikalne, kemične in biotske lastnosti, rast rastlin je zavrta ali celo preprečena, splošna rodovitnost tal je prizadeta, hkrati pa le-to vpliva tudi na slabšo kakovost podtalnice. Tako se tlom zmanjša sposobnost, da opravljajo številne ekološke funkcije kot so: puferska ali blažilna vloga, medij filtriranja, razgradnja in kroženje elementov (biogeokemično kroženje elementov, mineralizacija organskih snovi, produkcija in adsorpcija plinov, adsorpcija in razgradnja onesnaževal) in vloga rezervoarja genov (medij za rast mikroorganizmov, habitat za živali, medij za rast rastlin) itd.

S kovinami onesnažena tla pomenijo nevarnost za zdravje ljudi, živali in rastlin, predvsem na naseljenih področjih. Kovine vstopajo v telo s prehrano, na primer z uživanjem rastlin, vzgojenih na onesnaženih tleh, z namernim ali naključnim požiranjem onesnaženih tal, z

vdihovanjem prašnih talnih delcev ter skozi rane (Raziskave o onesnaženosti tal v Sloveniji, 2006).

Povišana koncentracija kovin v tleh zavira tudi aktivnost mikroorganizmov v njih, ki so ključnega pomena pri ohranjanju rodovitnosti tal. V nasprotju z organskimi onesnaževali se kovine ne razkrojijo v okolju in ostajajo prisotne tudi stoletja ter imajo tako lahko dolgotrajen vpliv na okolje.

Glede na način, kako onesnažila pridejo v tla, delimo procese onesnaževanja na **točkovno** (npr. deponije, odlagališča odpadkov, divja odlagališča, industrijska območja, odlagališča gošče komunalnih in drugih čistilnih naprav, greznic, kompostiranih odpadkov, rečnih, jezerskih muljev in sedimentov, ki vsebujejo preveč nevarnih snovi), **razpršeno** (npr. onesnaževanje po zraku) ali **linijsko onesnaževanje** (npr. ob tekočih vodah, cestah) (Udovič, 2010).



V Sloveniji so tla razmeroma neonesnažena, obstaja pa vseeno nekaj žarišč onesnaževanja s kovinami, med katerimi najbolj izstopajo s kadmijem, cinkom in svincem onesnaženo območje Celja, z nikljem in kromom onesnaženo območje Jesenic ter s svincem, cinkom in kadmijem obremenjena Mežiška dolina. Območja so onesnažena zaradi stoletnega poteka rudarske, talilniške ali metalurške dejavnosti (Raziskave tal v Sloveniji, 2006).

Zaradi tveganja, ki ga kovine v tleh pomenijo za ljudi in okolje nasploh, je treba tlom, ki jih prepoznamo kot onesnažena, izboljšati kakovost in jih **remediirati**, tj. pretvoriti kovine v tleh v neškodljive oblike ali jih iz tal odstraniti.

Izbira metode za čiščenje tal je odvisna od zahtevane stopnje čiščenja, značilnosti tal, koncentracije in vrste onesnažila ter namembnosti zemljišča po sanaciji. Anorganske snovi so za razliko od organskih biološko nerazgradljive in večinoma hlapne. Čiščenje lahko poteka na mestu onesnaženja (*in situ*) ali pa onesnažena tla izkopljemo in šele nato začnemo postopek čiščenja (*ex situ*) (Zupančič Justin, 2009).

V grobem se metode čiščenja tal delijo v dve skupini, in sicer na metode, ki kovine odstranijo iz okolja, in na metode, ki kovine z imobilizacijo nepovratno spremenijo v nemobilno obliko. Najosnovnejša metoda odstranjevanja onesnaženih tal je izkop in odvoz onesnaženih tal, ki pa ne reši problema prisotnosti toksičnih snovi, kar se je v preteklosti pogosto izvajalo.

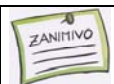
Med ekoremediacijskimi pristopi reševanja problematike onesnaženih tal prevladujeta dve metodi remediacije tal, in sicer t. i. **bioremediacija** ter **fitoremediacija**.

4.2. Bioremediacija onesnaženih tal

Bioremediacija je metoda sanacije onesnaženih tal, ki vsebujejo organsko razgradljiva onesnaževala. Metoda obsega razgradnjo, pretvorbo in imobilizacijo onesnaževal v tleh s pomočjo prisotnih mikroorganizmov (bakterij, gliv). V tleh lahko najdemo številne mikroorganizme, ki so prilagojeni najrazličnejšim razmeram. Tako lahko v postopku bioremediacije uporabimo talne mikrobo, ki so npr. prilagojeni na življenje v zelo kislem okolju, na razmere visoke slanosti, anoksične razmere (razmere, kjer ni prisotnega kisika) itd. Le-ti mikrobi postanejo v ugodnejših razmerah aktivnejši, kar pomeni, da v postopku

bioremediacije poskusimo zagotoviti določene okoljske razmere, s katerimi lahko pospešimo delovanje tistih mikroorganizmov, ki so npr. potrebni za odstranitev posameznega onesnaževala.

Postopek bioremediacije lahko poteka na mestu nastanka onesnaženih tal (*in-situ* tehnika) kot tudi z izkopom onesnaženih tal ter prenosom le-teh na izolirana območja (*ex-situ* tehnika). Slednja tehnika je primerna za manjše količine zemljin (za katere je v postopku gradnje tako predviden izkop), v primeru močno onesnaženih tal s strupenimi snovmi ter za odstranjevanje visoko hlapnih onesnaževal. V primeru *in-situ* tehnike poznamo metode, kot so rahljanje tal, vpihovanje zraka, črpanje vode, dodajanje hranil in sredstev za uravnavanje kislosti, ki pospešujejo mikrobnno delovanje itd. (Zupančič Justin, 2007).



V večini primerov izkoriščamo pri procesu bioremediacije onesnaženih tal potencial mikroorganizmov, ki so prisotni v tleh. V uporabi pa so tudi tehnike dodajanja predhodno v laboratoriju namnoženih bakterijskih kultur v tla. V tem primeru govorimo o t.i. bioagumentaciji.

4.3. Fitoremediacija onesnaženih tal

Druga metoda sanacije onesnaženih tal je t. i. **fitoremediacija**. Fitoremediacija je metoda za fiksacijo ali odstranjevanje onesnaževal iz kontaminiranih zemljin ali sedimentov s pomočjo rastlin in z njimi povezanih mikroorganizmov. Številne raziskave so namreč pokazale, da lahko izkoriščamo lastnosti posameznih rastlin, ki so sposobne preživeti na onesnaženih območjih, za odstranjevanje kovin iz tal. Le-te rastline imajo dokazano sposobnost vnosa kovin v svojo biomaso, predvsem v nadzemne dele. Metoda fitoremediacije tako izkorišča naravno sposobnost rastlin za prevzem, akumulacijo in razgradnjo snovi v tleh in talnih raztopinah. Za razliko od bioremediacije, ki je primerna zlasti za odstranjevanje organskih onesnaževal, je fitoremediacija uspešna metoda torej tudi za odstranjevanje težkih kovin iz onesnaženih tal, vendar je za odstranitev zadostne količine kovin iz tal potrebno rastline na takem območju gojiti več let (Regvar, 2008).

Eksploimentirajmo

Pomen rastlin za čiščenje tal

Poskus prikazuje, kako rastline črpajo s pomočjo korenin oziroma s koreninskimi laski hranila iz vode in iz tal. Rastline s pomočjo korenin črpajo hranila za svojo rast, ki se nalagajo v sami rastlini (v koreninah, nadzemnih delih rastline itd). Le-ta hranila ali drugi elementi, ki jih rastline počrpajo iz tal so lahko različno škodljivi.

Materiali: bela vrtnica, steklen bel kozarec, modro čnilo, voda

Postopek: V kozarec nalijemo čisto vodo, v katero kapnemo nekaj kapljic čnila, toliko, da se voda obarva modro. V obarvano vodo s čnilom damo belo vrtnico ter počakamo nekaj ur ali pustimo čez noč. Opazili bomo, da se bo vrtnica obarvala v modro barvo. To je prikaz, kako rastline črpajo iz tal različna hranila, ki jih v sebi akumulirajo.

Pri naslednjem predstavljenem preizkusu pa lahko ugotovimo, da se na koreninah rastlin pojavljajo tudi mikroorganizmi (to so bakterije, drobne živalce), ki pomagajo pri razgradnji

hranil, da jih rastlina lažje posrka oz. jih mikroorganizmi razkrojijo še preden hranilo pride v rastlino.

Postopek: V naravi za ogled izpulimo 1 rastlino s koreninami. Pogledamo, ali so na korenini že prisotne kakšne živalce, ki jih lahko vidimo s prostim očesom. Odvečno zemljo očistimo s korenin in en del korenin odrežemo. Ta delček korenine očistimo, da na njej ni prsti, in jo narežemo na 2-3 mm trakove. Korenine položimo na stekelca za ogled pod mikroskopom. Mikroskop nastavimo na 100-kratno povečavo ter opazujemo, ali so na korenini naseljeni mikroorganizmi.

Procesi fitoremediacije so relativno nova tehnologija, ki je še v fazi razvoja. Prvi praktični poskusi so se pričeli okrog leta 1990. Od takrat naprej se uporablja veliko število različnih tehnik, ki dosegajo relativno visok uspeh. Med prednosti in slabosti predstavljene tehnike se kažejo naslednje značilnosti.

Preglednica 6. Prednosti in slabosti fitoremediacijske metode čiščenja onesnaženih tal

Prednosti:	Slabosti:
- nizki kapitalski vložki, - nizki operativni stroški, - trajnostne rešitve, - širok spekter uporabnosti za različne vrste onesnaženja, - velika estetska vrednost, - velika splošna sprejemljivost s strani javnosti.	- dolgotrajnost postopkov, - vezanost na vegetativno sezono, - uporabnost le za zgornje plasti tal.

Poznamo različne oblike prenosa hranil v rastline. In sicer, tako, da rastlina nalaga hranila:

- **v nadzemne dele** (s tem se poveča rastlini tudi biomasa; z žetvijo se rastlina odstrani in s tem tudi škodljive snovi, ki jih je rastlina absorbirala) in/ali
- **v gomolje, rizome oz. korenine** (hranila se kopičijo v podzemnem delu rastline), kot primer sončnica.

Rastline lahko prevzemajo onesnaževala iz tal tudi v hlapni obliki, kar pomeni, da jih s tem pretvarjajo v manj škodljive pline, ki jih nato lahko transpirirajo v atmosfero.

Ali ste vedeli?

Nekatere lesnate rastline, kot so topoli, vrbe, akacija itd. lahko izčrpajo od 200 – 1100 litrov vode in s tem izrazito prispevajo k povečanju prezračitosti tal.

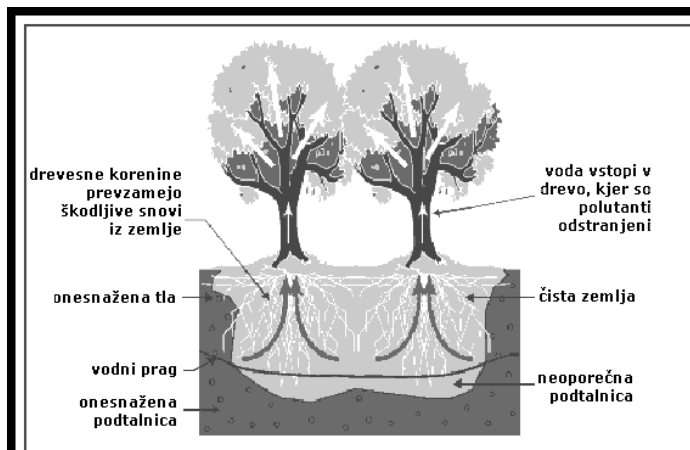
Fitoremediacija vključuje glede na način odstranjevanja onesnaževal postopke, kot so:

- **fitotransformacija,**
- **bioremediacija rizosfere,**
- **fitostabilizacija,**
- **fitoekstrakcija,**
- **fitovolatilizacija in**
- **rizofiltracija.**

Med najpogostejšimi metodami sta fitoekstrakcija ter fitostabilizacija.

4.3.1. Fitoekstrakcija

Proces **fitoekstrakcije** vključuje črpanje kovinskih onesnaževalcev iz zemlje (preko korenin rastline) in njihovo akumuliranje v nadzemne dele rastlin. Določene vrste, imenovane t.i. **hiperakumulatorji** so namreč sposobne absorbirati zelo velike količine kovin – v primerjavi z navadnimi rastlinami, in sicer kar od 50 do 100-krat višjo količino, občasno pa tudi več. Med takšne rastline npr. uvrščamo: gozdni mošnjak (*Thlaspi caerulescens*) in *Cardaminopsis halleri*, ki lahko akumulirata **cink** in **kadmij** ter *Alyssum lesbiacum*, ki lahko akumulira **nikelj**. Največ takšnih rastlin raste v krajih, ki že naravno vsebujejo velike količine kovin – njihova nenavadna sposobnost je posledica evolucijske prilagoditve (Vovk Korže, Janškovec, 2007).



Slika 35. Shema prikaza procesa fitoekstrakcije
(vir: <http://besedomanija.blogspot.com/search/label/Znanost>)



Številne raziskave so usmerjene v odkrivanje različnih vrst hiperakumulacijskih rastlin, ki bi prispevale k odstranjevanju težkih kovin, zlasti kroma, svinca, kadmija in arzena. Raziskave na področju odkrivanja rastlin, ki bi učinkovito odstranjevale arzen preko korenin v nižje dele rastline, bi bile velik korak naprej. Ena izmed možnih rastlin je kitajska *Pteris vittata*, ki lahko absorbira 5 gramov arzena na kilogram suhe biomase. Ker raste zelo hitro, arzen pa shranjuje v koreninah in nizkih delih stebela, je zelo enostavna tudi za odstranjevanje in s tem posledično odstranjevanje arzena iz zemlje.

Fitoekstrakcija je metoda fitoremediacije, ki je poceni in primerna za velike površine. Ekonomsko zanimive so predvsem rastline, ki kopičijo kovine z veliko tržno vrednostjo in s tem omogočajo »rudarjenje« z rastlinami.

Ali ste vedeli?

V Afriki na primer uspevajo rastline z veliko biomaso, ki rastejo vse leto in v sebi nakopičijo tržno zanimivo količino niklja.

Ameriškim znanstvenikom je uspelo z enkratno zasaditvijo gozdnega mošnjaka (*Thlaspi caerulescens*) iz močno onesnaženih tal odstraniti 30 – 40 % cinka.

4.3.2. Fitostabilizacija

Imobilizacijo kovin v onesnaženih tleh lahko dosežemo tudi s pomočjo rastlin, kar imenujemo **fitostabilizacija**. Gre za proces akumulacije in absorpcije težkih kovin v korenine, adsorpcije na korenine in obarjenje v okolici korenin. Hkrati pa rastline zaradi pokrovnosti stabilizirajo razmere v tleh, torej preprečujejo prašenje onesnaženih delcev iz tal, izboljšujejo rodovitnost tal in spodbujajo samoočiščevalno sposobnost tal (Udovič, Finžgar, 2010).

V veliko pogledih je **fitostabilizacija** zelo podoben proces kot fitoekstrakcija in rizofiltracija, vendar je glavna lastnost, po kateri se ta proces razlikuje od opisanih, v tem, da žetev rastlin, nasičenih s strupenimi snovmi, ni del procesa fitostabilizacije. V tem procesu torej rastline ne odstranijo onesnaževalcev iz zemlje, ampak jih imobilizirajo in ohranijo v okviru rastlinskega sistema, kjer ostanejo celo 'življenje' rastline. Bistvo tega procesa je v akumulaciji onesnažene zemlje ali podzemnih voda v rastlinski biomasii ali v rizosferi, s čimer se zmanjša možnost za migracije onesnaževalcev na druga območja. Kovine se v tem procesu ne razkrajajo, zato se lahko postavi vprašanje, če je tak način čiščenja res najprimernejši. Proces se uporablja predvsem na območjih, kjer je stopnja onesnaženosti razmeroma nizka oz. na velikih območjih, kjer drug način zaradi različnih dejavnikov preprosto ni mogoč. Še ena prednost tega procesa je v tem, da lahko na območjih, kjer stopnja kovin v zemlji celo pospešuje rast rastlin, ki so sposobne akumulirati velike koncentracije kovin, z njihovim nasajanjem zmanjšamo učinek vetrovne erozije ali izpiranja zemlje, s tem pa zmanjšamo možnost, da bi se količina onesnaževalcev razširila po večji površini območja (Regvar, 2008).

4.3.3. Fitovolatilizacija

Fitovolatilizacija je proces črpanja onesnaževalcev s pomočjo rastlin, njihova transformacija in, kot zadnja faza v procesu, njihovo izpuščanje v atmosfero. Ta biotehnoška fitoremediacija v svojem bistvu sloni na t.i. transpiracijskem potegu hitro rastočih rastlin, ki pospešuje črpanje onesnaževalcev iz zemlje ali podtalnih voda, ki potem izhlapijo skozi liste rastline. Rastlina seveda te onesnaževalce v sebi transformira v nenevarne ali manj nevarne snovi (Vovk Korže, Janškovec, 2007).

Na drugi strani poznamo tudi t.i. metodo fitodegradacija ali fitotransformacija, pri kateri gre za uporabo rastlin v povezavi z mikroorganizmi za odstranjevanje organskih onesnaževal. Deluje na principu delovanja rastlinskih encimov ali kofaktorjev, ki v svojem procesu metabolizma razgradijo organska onesnaževala v manj škodljive ali neškodljive snovi (Kališova Špirohova s sod., 2001). Zaradi prisotnosti izvenceličnih encimov se lahko ta proces uporablja za razgradnjo različnih vrst kemikalij, na primer kloriranih topil, eksplozivov in herbicidov. Ker je proces odvisen od neposrednega črpanja onesnaževalcev iz zemlje ali vode in akumuliranja v rastlinskem tkivu, je pomembno predvsem to, da so akumulirane spojine nestrupene ali pa vsaj občutno manj strupene kot spojine v samem onesnaževalcu (Zupančič Justin, 2007).



Raziskave so pokazale izredno učinkovitost topola pri odstranjevanju spojine TCE (trikloroetilen), ki se uporablja za razmaščevanje v inženirstvu in ostalih industrijskih panogah, katere slaba lastnost je med drugim, da se zelo hitro širi pod površino tal. Topoli so tako npr. sposobni volatilizirati skoraj 90 % izčrpanega TCE.

Ali ste vedeli?

Topoli delujejo kot ogromne sončne črpalke, ki iz tal črpajo vodo, vključno z onesnaževalci, ki potem potujejo skozi rastlino in iz nje v atmosfero.

4.3.4. Rizodegradacija

Rizodegradacija je proces, pri katerem gre v osnovi za biodegradacijo onesnaževalcev s pomočjo posebnih mikrobov in samih sposobnosti rizosfere. V procesu rizodegradacije sodelujejo območja z visoko stopnjo mikrobiološke biomase in posledično visoko stopnjo mikrobiološke aktivnosti, ki pospešuje učinkovitost biodegradacije organskih substanc v rizosferi v primerjavi z ostalimi območji ali mikrofloralnimi skupinami.

4.3.5. Rizofiltracija

Rizofiltracija je absorpcija onesnaževalcev iz onesnažene zemlje v rastlinske korenine. Osnovna razlika med rizofiltracijo in prej omenjenimi procesi je v tem, da je rizofiltracija namenjena v prvi vrsti čiščenju podtalnic in ne samo absorpciji onesnaževalcev iz onesnažene zemlje. Rastline, ki jim je namenjena takšna vloga, so ponavadi vzgojene hidroponično in v končni fazi aklimatizirane na specifične zahteve posameznih onesnaženih voda. Ko rastline postanejo nasičene s strupenimi snovmi, jih požanjejo in prav tako kot rastline pri uporabi fitoekstrakcije, potrebujejo poseben način končnega uničenja. Rizofiltracija je manj vesplošno sprejet proces kot fitoekstrakcija, kljub temu pa ima veliko potencialnih možnosti za uporabo (Regvar, 2008).

Ali ste vedeli?

Primer rastline, ki se lahko uporablja za rizofiltracijo, so **sončnice**, ki so jih uspešno preizkusili za odstranjevanje radioaktivnega urana iz vode, ki je bil posledica nesreče v nuklearni elektrarni v Černobilu v Ukrajini.

S pomočjo rizofiltracije lahko uspešno odstranjujemo svinec (Pb), kadmij (Cd), krom (Cr), nikelj (Ni), baker (Cu), radionuklidi (Cs, Sr, U). Pri tem se najbolj uporabljajo rastline: *Eichornia*, *Scirpus*, *Myriophyllum* in *Brassica*.



Vedno pogostejši onesnaževalci okolja so različne organske kemikalije – pesticidi, topila, mazila ... Med najbolj razširjene sodita bencin in nafta. Ta hidrokarbonata se kot onesnaževalca večinoma nahajata do globine dveh metrov pod površjem. Ker sta zaradi tega v skoraj neposrednem stiku z rizosfero, sta idealna za uporabo fitoremediacije. V okviru te potekajo procesi fitodegradacije, rizodegradacije in fitovolatilizacije, govorimo o t.i. **organski fitoremediaciji**.

4.4. Hidravlično zadrževanje vode

Veliko rastlin ima sposobnost, da izčrpajo velike količine vode iz tal in s tem onemogočajo pronicanje strupenih snovi globlje v tla in v podtalnico. Posebej uporabna pri tem so drevesa, predvsem zaradi njihovega ogromnega transpiracijskega potega in velikih korenin.

Topoli, na primer, imajo zelo globoke korenine in so sposobni izčrpati ogromne količine vode – med 200 in 1100 litrov na dan. Cilj tega je ustvarjanje funkcionalnih vodnih depresij, v

katerih bi se zbirale strupene snovi, ki bi jih kasneje z dodatnimi procesi lažje odstranili. Ta lastnost črpanja vode s pomočjo rastlin za nadzorovanje migracij strupenih snovi v tleh se imenuje **hidravlično zadrževanje**.

S pomočjo rastlin lahko ob obrežjih rek ali okrog območij, ki vsebujejo strupene snovi, ustvarimo t.i. obrežne koridorje (»riparian corridors«), ki omejujejo pronicanje strupenih snovi globlje v tla. V konkretnem primeru – omejevanje pronicanja nitratov in fosfatov globlje v tla – so se za zelo uspešne izkazali **topoli in vrbe**. Uporabljajo se predvsem v območjih, kjer je prisotna velika količina kmetijskega gnojenja. Del velikega potenciala tega procesa je tudi v tem, da se lahko le-ta kombinira z ostalimi fitoremediacijskimi procesi. Več o blažilnih conah kot so obrežnih koridorjih sledi v poglavju 5.

4.5. Izbira rastlin za čiščenje tal

Pri različnih metodah fitoremediacije je ključnega pomena izbira rastlin. Na primer, za proces organske fitotransformacije se uporabljajo rastline, ki so odporne, hitro rastoče, nezahtevne za vzdrževanje, imajo velik transpiracijski poteg in lahko transformirajo strupene snovi v manj strupene. V veliki večini primerov so zelo primerne rastline z globokimi koreninami. V splošnem pri posameznih postopkih izbiramo rastline odvisno od **tipa tal, rastišnih razmer, vrste onesnaževalcev** ter njihove **biološke dostopnosti**. Najpogosteje so v uporabi **vrbe in topoli**, zaradi hitre rasti, dobri akumulirajo pa so prav tako tudi trave in rastline iz rodu družine križnic *Brassicaceae*.





Na posameznih območjih je zelo primeren način sejanja travnih vrst skupaj z različnimi vrstami dreves. S tem je omogočeno čiščenje tako globljih delov tal (globoke korenine dreves), kot tudi plitvejših delov (zelo fine travnate koreninice). Travnate koreninice so predvsem uporabne za čiščenje benzena, toluena, etilbenzena, ksilenov ali policikličnih aromatičnih hidrokarbonatov (Vovk Korže, Janškovec, 2007).






Znanstveniki so odkrili okrog štiri tisoč vrst rastlin, ki so primerne za različne postopke čiščenja prsti in vode.

Pri čiščenju onesnaženih tal v postopkih fitoremediacije so najpogosteje uporabljene naslednje vrste:

1. *Thaspi caerulescens* in *Cardaminopsis halleri* (Hallerjev penušnjak), ki akumulirata cink in kadmij.
2. *Alyssum lesbiacum* (grobeljnik), ki akumulira nikelj.
3. *Pteris vittata* (*praprot*), ki lahko akumulira 0,5 % arzena.
4. *Thlaspi* (mosnjak), omogoča odstranjevanje 40 kg cinka na hektar na leto.
5. *Helianthus*, (sončnice), uspešno so jih preizkusili za odstranjevanje radioaktivnega urana iz vode.
6. Genetsko spremenjen rumeni topol, ki so mu dodali gen za redukcijo živega srebra.
7. Topoli (*Populus*) in vrbe (*Salix caprea*) – omejujejo pronicanje nitratov in fosfatov globlje v tla.
8. Razne trave, kot so na primer rdeča bilnica (*Festuca rubra* L.), pasja trava (*Dactylis glomerata* L.) in ovčja bilnica (*Festuca ovina* L.).

			
<i>Cardaminopsis halleri</i> (Hallerjev penušnjek)	<i>Alyssum lesbiacum</i> (grobeljnik)	<i>Pteris vittata</i> (praprotnica)	<i>Thlaspi</i> (mosnjak)

Slika 36. Najpogostejše rastlinske vrste za fitoremediacijo onesnaženih tla (vir: www.flora.nhm-wien.ac.at, www.dpw.wau.nl/genetics/staff/people/MarkAartsDocs/thlaspi%20caerulescens.htm, www.biologie.uni-regensburg.de/Botanik/Schoenfelder/kanaren/flora_canaria_O.html, www.missouriplants.com/Whitealt/Thlaspi_arvense_page.html)

		
<i>Helianthus</i> (sončnica)	<i>Populus</i> (topol)	<i>Salix caprea</i> (vrba)

Slika 37. Sončnice, topoli in vrbe najpogostejše vrste za čiščenje onesnaženih tal (vir: www.biolib.cz/IMG/GAL/1566.jpg, www.arbolesornamentales.com/Populusxcanadensis.htm, www.unikiel.de/Pharmazie/bio/images/Exkursionen/Ostseekueste/2005/Pflanzen/Seiten/Salix%20capr)

Preglednica 7. Tipične rastline, ki se jih uporablja pri različnih fitoremediacijskih pristopih (Schnoor, 1997, povzeto po Zupančič Justin, 2007).

Uporaba	Medij	Onesnaževalo	Tipične rastline
FITOTRANSFORMACIJA	tla, podtalnica, izcedna voda, čiščenje odpadne vode z vnosom vode v tla	<ul style="list-style-type: none"> herbicidi (atrazin, alachlor) aromatske spojine (BTEX) klorirane alifatske spojine (TCE) rastlinska hranila (NO₃, NH₄, PO₄) razstreliva (TNT, RDX) 	<ul style="list-style-type: none"> lesne vrste (topol, vrba, trepetlika, jelša) trave (<i>Lolium perenne</i>, <i>Festuca</i>, <i>Shorgum</i>, <i>Cynodon dactylon</i>) metuljnice (detelja, alfalfa, <i>Vigna unguiculata</i>)
RIZOSFERNA BIOREMEDIACIJA	tla, sedimenti, čiščenje odpadne vode z vnosom vode v tla	<ul style="list-style-type: none"> organska onesnaževala (pesticidi, aromatske spojine, PAH) 	<ul style="list-style-type: none"> murva, jablana, Osage pomaranča - <i>Maclura pomifera</i> trave z močnim koreninskim sistemom (<i>Lolium perenne</i>, <i>Festuca</i>, <i>Cynodon dactylon</i>) lesne vrste (topol, vrba, trepetlika, jelša) vodne rastline za

			sedimente
FITOSTABILIZACIJA	tla, sedimenti	<ul style="list-style-type: none"> • kovine (Pb, Cd, Zn, As, Cu, Cr, Se, U) • hidrofobne organske spojine (PAHi, PBCi, dioxini, furani, pentachlorophenol, DDT, dieldrin) 	<ul style="list-style-type: none"> • lesne vrste z visoko evapotranspiracijo • trave z močnim koreninskim sistemom za preprečevanje erozije • rastline z gostim koreninskim sistemom
FITOEKSTRAKCIJA	tla, sedimenti, onesnažena industrijska območja	<ul style="list-style-type: none"> • kovine (Pb, Cd, Zn, Ni, Cu) z dodatkom EDTA tudi Pb Se (izhlapevanje) 	<ul style="list-style-type: none"> • sončnica • <i>Brassica juncea</i> • <i>Brassica napus</i> • trave iz rodu <i>Hordeum</i>, hmelj • križnice • kopriva, regrat <i>Taraxacum officinale</i>
RIZOFILTRACIJA	podtalnica, voda in odpadna voda v lagunah in grajenih močvirjih – rastlinskih čistilnih napravah	<ul style="list-style-type: none"> • Kovine (Pb, Zn, Cd, Ni, Cu) • Radionuklidi (¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, U) • Hidrofobne organske spojine 	<ul style="list-style-type: none"> • vodne rastline (emergente: <i>Phragmites</i>, <i>Scirpus</i>, <i>Potamogeton</i>, <i>Lemna</i>, <i>Canna</i>; potopljene: alge, <i>Chara</i>, <i>Myriophyllum</i>, <i>Hydrilla</i>)



Ena izmed mnogih možnosti uporabe fitotehnologije je tudi zaznavanje onesnaženosti s pomočjo rastlin v raznih industrijskih panogah (avtomobilski, kemijski, tekstilni itd.) Rastline so v tem procesu nasprotno kot biosenzorji, ki so načrtovani za odkrivanje točno določenih strupenih snovi, senzorji za odkrivanje različnih vrst strupenih snovi.

Študija primera Čiščenje onesnaženih tal v Mežiški dolini

V **Mežiški dolini** v bližini rudnika in talilnice svinca v Žerjavu je zaradi visoke onesnaženosti s kadmijem, cinkom, svincem in SO₂ avtohtona vegetacija povsem propadla, zaradi česar prihaja do erozije in zapraševanja. Od 15. stoletja dalje je bilo območje izpostavljeno aktivnemu rudarjenju in plavžarskem obdelovanju svinčeve rude.

Da bi rešili problem zapraševanja in erozije, so nasadili rastline, ki imajo veliko koreninsko razrast. Pomembno je, da rastline dobro uspevajo na revni podlagi, so nezahtevne za gojenje in se hitro razrašajo, ker s tem prekrijejo tla. Poleg tega morajo biti rastline prilagojene na višje koncentracije kovin v zemlji. Ta v okolici Žerjava vsebuje 5490 mg kg⁻¹ Zn, 390 mg kg⁻¹ Cd in 67940 mg kg⁻¹ Pb. V Mežiški dolini so se tako uporabili metodo fitostabilizacije, s pomočjo katere so želeli stabilizirati onesnaževala v zelo kontaminirani zemlji, da bi preprečili razširjanje onesnaževal v podtalnico in/ali okolico. Pri tem je bilo potrebno pri izbiri rastlin upoštevati, da so le-te slabo transportirale kovine v poganjke, ki bi jih lahko zaužili ljudje ali živali. Rastline pa so izbrali glede na kriterije, kot so: šopasta razrast korenin, občutljivost korenin na kovine ter zadrževanje kovin v koreninah. Po teh kriterijih so ob upoštevanju milega alpskega podnebja v Mežiški dolini izbrali tri vrste trav, ki so jih lahko uporabili za fitostabilizacijo: rdečo bilnico (*Festuca rubra* L.), pasjo travo (*Dactylis glomerata* L.) in ovčjo bilnico (*Festuca ovina* L.). Namen raziskave je bil ugotoviti primernost izbranih vrst za fitostabilizacijo v okolici Žerjava (Regvar, 2008).



***Festuca rubra* L.**
(rdeča bilnica)



***Dactylis glomerata* L.**
(pasja trava)



***Festuca ovina* L.**
(ovčja bilnica)

Vir: www.ous.ac.jp/garden/photo1/oousinokegusa.html,
www.gardenorganic.org.uk/organicweeds/weed_information/weed.php?id=99, www.delta-intkey.com/festuca/www/prpr.htm)

Testi občutljivosti na kovine so pokazali, da sta ovčja in rdeča bilnica primernejši kot pasja trava. Odločili so se za rdečo bilnico kot najustreznejšo, ker razvije najdaljše korenine in poganjke, ni občutljiva na kovine in jih tudi relativno dobro privzema v korenine. Ustreza morfološkim kriterijem, ker je trpežna, nizka vrsta trave, ki se blazinasto razrašča in ima najmanj 30 cm globoke korenine. Prav tako ustreza podnebnim razmeram, saj je odporna na mraz.

4.6. Povzetek

Tla so dinamičen in živ sistem in so za človekov obstoj eden izmed najpomembnejših naravnih neobnovljivih virov. Tla so zaradi človekove dejavnosti izpostavljena številnim degradacijskim procesom, kot so: erozija tal, zbitost tal, zmanjšanja količina organskih snovi v tleh, onesnaženost itd.). Degradiranost tal zmanjša njihovo samočistilno sposobnost ter spremeni njene fizikalne, kemijske in biološke lastnosti, kar vodi tudi do zmanjšanja rodovitnosti tal kot ene izmed najpomembnejših lastnosti tal. Tla lahko remidujemo na različne načine, med najbolj okolju prijaznimi načini čiščenja onesnaženih tal pa se pojavljata procesa bioremediacije ter fitoremediacije. Bioremediacija pomeni čiščenje tal s pomočjo mikroorganizmov v tleh. Fitoremediacija pa odstranjevanje onesnaževal iz tal s pomočjo rastlin v kombinaciji z mikroorganizmi. Različne rastline imajo namreč lastnost, da lahko vežejo nase težke kovine in s tem izboljšujejo kakovost tal, imenujemo jih »**fitoremediacijske rastline**«. Med najbolj učinkovitimi so poznane rastline, kot so: topol, vrbe, oljna ogrščica, razne trave itd.

Fitoremediacija vključuje glede na način odstranjevanja onesnaževal postopke, kot so: **fitotransformacija, bioremediacija rizosfere, fitostabilizacija, fitoekstrakcija, fitovolatilizacija in rizofiltracija.**

Bioremediacija in fitoremediacija kot ekoremediacijski tehnologiji za sanacijo onesnaženih tal sta učinkoviti zlasti, ker:

- temeljita na naravnih oz. sonaravno potekajočih biogeokemijskih procesih,

- je njun cilj obnova, razgradnja, stabilizacija in/ali imobilizacija naravnih oz. umetnih onesnaževal,
- gre za cenejši tehnologiji, ki sta v primerjavi z večino drugih postopkov saniranja tal tudi časovno hitrejši.

Razmislite in odgovorite

- S pomočjo poročila o Raziskavi tal v Sloveniji, ki ga najdete na spletnem portalu Agencije za okolje RS, na kratko predstavite problem onesnaženosti tal v Sloveniji.
- Katere rastline bi uporabil za sanacijo onesnaženih tal na območjih Celjske kotline? Obrazložite zakaj?
- Na kratko predstavite značilnosti nekaterih hiperakumulacijskih rastlin? Katere so njihove skupne značilnosti.
- Kakšen je pomen tal za človeka?

5. BLAŽILNE CONE

Učna vsebina:

- **Onesnaževanje tal iz netočkovnih virov onesnaževanja**
- **Erozija tal**
- **Blažilne cone**
- **Vegetacijski pasovi**
- **Večnamenski melioracijski jarki**
- **Naravna mokrišča**

5.1. Onesnaževanje tal iz netočkovnih virov onesnaževanja – kmetijstvo, promet

Onesnaževanje tal iz kmetijstva zajema namerne in nenamerne, neposredne in posredne vnose nevarnih snovi v tla zaradi kmetijske dejavnosti in gre pretežno za razpršene vire onesnaževanja, ki so težje obvladljivi. Izstopata predvsem uporaba fitofarmaceutskih sredstev in mineralnih (rudninskih) gnojil. Onesnaženost tal pa je lahko tudi posledica nestrokovne rabe gnojevke, uporabe oporečnih kompostov in drugih dodatkov tlom, namakanja (zalivanje) z oporečno vodo in podobno. Na drugi strani se izvorno iz drugih virov (industrija, promet) tla onesnažujejo razpršeno preko zraka. Industrijske emisije (izpusti v zrak), plini in prašni delci iz termoelektrarn in odlagališč, dimni plini iz individualnih kurišč ter emisije iz prometa so najpogostejši razlogi za onesnažen zrak (Šajn, 2008).

Tla omogočajo prostorski razvoj in so naravna in kulturna dediščina. Razvoj industrije, prometa in širitev mest tekmujejo s kmetijstvom za iste površine in lahko predstavljajo tudi izvor potencialno nevarnih snovi v tleh, ki lahko ogrožajo kakovost tal (Grčman in sod., 2004). Nekateri snovi, ki so v tleh bodisi geogenega izvora, bodisi kot posledica človekove dejavnosti, so lahko potencialno nevarne za človeka. V človeški organizem vstopajo neposredno z vdihavanjem in uživanjem prašnih delcev in posredno preko prehranjevalne verige oziroma pitne vode.



Slika 38. Tla so tanek površinski del litosfere – »koža« Zemlje (vir: Sajovic, 2009).

Ohranitev naravnega vira tal pred fizičnim uničenjem in onesnaževanjem ter ohranitev ravnovesja med tlemi in ostalimi deli ekosistema je danes ena pomembnih aktivnosti, ki mora slediti usmeritvam gospodarjenja s tlemi tako, da zagotovimo ohranjanje naravnih značilnosti tal in omogočamo ustrezno raven življenja človeka (Vovk Korže, 2007).

ZAKONSKI OKVIRJI

Tako kot ostale evropske države tudi Slovenija že vrsto let sistematično spremlja časovno spreminjanje potencialno nevarnih snovi v tleh. Take raziskave imenujemo monitoring. Monitoring je pri nas predpisan po Zakonu o varstvu okolja – ZVO (Ur. l. RS št. 32/93, z dopolnitvami 41/04 in 39/06). Operativni cilji varstva okolja, med katerimi so tudi raziskave tal in uvedba monitoringa tal so opredeljene v nacionalnem programu varstva okolja. Prelistaj slednji dokument ter na kratko opiši varstvene cilje na področju tal.

»Monitoring stanja okolja obsega spremljanje in nadzorovanje kakovosti tal, voda, zraka in biotske raznovrstnosti« (glej 96. člen ZVO). Ključne zakonske podlage na področju varstva tal pa so:

- Uredba o mejnih vrednostih vnosa nevarnih snovi in gnojil v tla (Ur. l. RS št. 84/05)
- Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijah vrednostih nevarnih snovi v tleh (Ur. l. RS št. 68/96)
- Pravilnik o obratovalnem monitoringu pri vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla (Ur. l. RS št. 55/97)
- Pravilnik o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (Ur. l. RS št. 3/03, 44/03).



Dejstvo je, da je človek bolj ali manj odvisen od vseh funkcij tal v okolju. Razmislite, katere so te ključne funkcije tal za človeka?

Erozija tal

Erozija je pomemben naravni proces, ki je do določene stopnje pomemben za zdrav ekosistem. Tako se na primer prod v rečni strugi neprestano premika s pomočjo vodnih tokov, kar prinaša večjo dinamičnost vodotoka ter obogatitev vode s kisikom. Na drugi strani pa je lahko prenašanje velike količine proda in sedimenta za rečni ekosistem škodljiva – pride lahko do mašenja tokov, onesnaževanja čistih voda s sedimenti in posledično zmanjševanje kakovosti vode ter rodovitnosti tal.

Danes je erozija tal zaradi številnih nepravilnih posegov človeka v okolje preveč izrazita. Pri eroziji tal gre namreč za različne procese odnašanja in uničevanja površja tal z vodo in vetrom. Erozija tal odvzema zemlji hranilne sestavine, spreminja njeno strukturo in vrstno sestavo organizmov v njej. Erozija tal je najpogosteje posledica pretirane sečnje gozdov, uničevanje travnatih ekosistemov, nepravilno kmetovanje, industrijske emisije ipd. (Vovk Korže, 2007).

Stopnja erozije tal je odvisna od številnih dejavnikov, kot so: nagnjenost površine, struktura prsti, količina padavin ter prekritost površja z vegetacijo, skalovjem itd.

Pri tem je potrebno poudariti, da so prvi trije dejavniki največkrat nespremenljivi ter, da ima pri eroziji tal pomembno vlogo vegetacija. Rastlinska preproga namreč s svojim podzemnim delom močno veže prst ter prispeva k utrditvi brežin.

Slovenija ima veliko potencialno ogroženost tal z erozijo, zlasti na plitvih in hribovitih območjih. Erozijski pojavi se razprostirajo na 9.000 km² oziroma 44 % površine. Prevladuje večinoma hudourniška (vodna) erozija. Erozijo v hribovitem in goratem območju zmanjšuje poraščenost površine z gozdovi, na obdelovalnih kmetijskih prsteh pa jo zmanjšuje zatravljanje vinogradov, spreminjanje polj v travnike in opuščanje kmetovanja na zelo strmih pobočjih (Kazalci okolja, 2005).



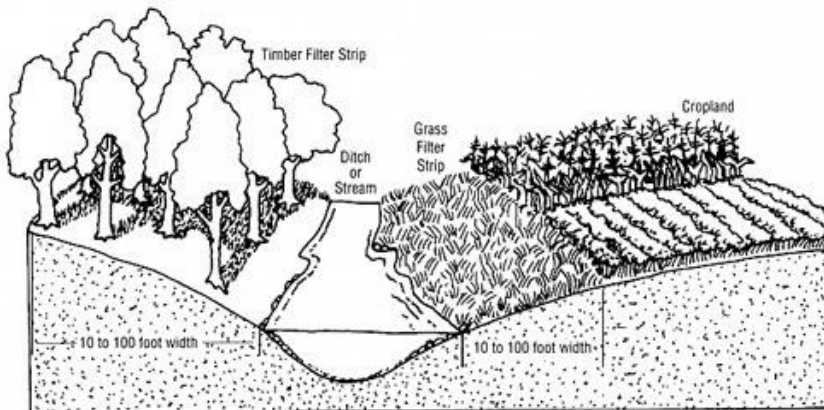
Slika 39. Erozijski tal (Vir: http://sl.wikipedia.org/wiki/Degradacija_tal).

5.2. Blažilne cone – zeleni koridorji

Pri netočkovnih virih obremenjevanja okolja (tal, vode) klasični pristopi čiščenja, ne pridejo v poštev, saj je onesnaževanje razpršeno in ga ne moremo zajeti na skupni točki čiščenja. V takšnih primerih lahko preprečimo obremenitve le s preventivnimi ukrepi, in sicer da poskušamo zmanjševati vnos onesnaževal v okolje, npr. s primernejšimi tehnikami obdelave kmetijskih površin, z izboljšanim načinom gnojenja, integriranim ali ekološkim kmetijstvom itd.) ali pa s postavitvijo t.i. blažilnih con oz. območij.

5.2.1. Blažilna območja

Blažilna območja (npr. pregrade) so zaščitne sanacijske cone, ki so lahko sestavljene iz različnih lesnih, grmovnih, travnatih ali zeliščnih vegetacijskih pasov ali kot umetno vzpostavljena mokrišča (jarki). Običajno gre za travnate trajnice ali drugo nizko vegetacijo z gosto razrastjo, ki jo vzpostavimo na robu območja, kjer se nahaja vir obremenjevanja oz. potencialni sprejemnik onesnaževala (Zupančič Justin, 2010).



Slika 40. Vegetacijski pas je umeščen med virom in potencialnim sprejemnikom onesnaževanja (vir: Zupančič Justin, 2010).

Blažilna območja najdemo pod vrsto izrazov, kot so: vegetacijski pasovi, vegetativni filtrirni pasovi/trakovi (travnati ali lesni), blažilni pasovi, travnati filtri, žive meje, živice, seč, mejice, zeleni koridorji, zaplate, naravna mokrišča itd. Ta blažilna območja imajo skupne značilnosti in funkcije, in sicer z njimi lahko izboljšamo kvaliteto vode, zaščitimo zrak in tla ter povečamo biotsko pestrost v prid izboljšanju prehrabnih in nastanitvenih lastnosti obvodnega habitata ter boljših svetlobnih, kisikovih in temperaturnih razmer za vodne živali in rastline.

Blažilna območja so primerna zlasti za preprežanje razpršenih virov onesnaževanja, in so ponavadi locirana na obrobje kmetijskih površin, vzdolž vodotokov, ob jezerih ali mokriščih, in delujejo kot filter oz. puferska cona.

Blažilne cone opravljajo številne funkcije, med katerimi sta ključni **zaščita vodnih površin pred spiranjem različnih onesnaževal iz netočkovnih virov onesnaževanja** (kmetijstvo, promet) **ter zadrževanje delcev** (sedimenta obdelovalnih površin, padavinskega odtoka), raztopljenih organskih in anorganskih snovi, kovinskih ionov, rastlinskih hranil, fitofarmaceutskih sredstev itd. Prav tako so številne raziskave potrdile, da blažilne cone prav tako učinkovito odstranjujejo posledice fekalnega onesnaževanja. Dodana vrednost blažilnih con pa se kaže še v:

- lokalni zaščiti pred erozijo, vetrom,
- vplivu na spremembo mikroklimo,
- habitatni funkciji – večanju biodiverzitete v sicer monokulturni krajini,
- nudenju večje varnosti pri obdelovanju površin s stroji,
- večanju estetske vrednosti,
- možnostih proizvodnje tržnih produktov ter
- večji rekreacijski vrednosti.

Z namenom preprečevanja onesnaževanja voda blažilne cone prispevajo k odvijanju procesov za:

- zmanjševanje hitrosti toka vode in s tem povečanje infiltracije,
- običajno so učinkovitejši pri odstranjevanju sedimentov in hranil, vezanih na sedimente (fosfor, amonij), ter manj učinkoviti pri odstranjevanju topnih hranil (nitrat) in fitofarmaceutskih sredstev,
- učinkovitost filtra je večja ob **enakomernem plitkem pretoku** odtoka skozi vegetacijo, kot v primeru, ko se tvori kanaliziran tok,
- cilj je doseči maksimalni kontaktni čas za odstranjevanje onesnaževal s pomočjo različnih fizikalnih procesov (pronicanje, odlaganje).

Poleg tega blažilna območja (vegetacijski pasovi) lahko predstavlja hrupno bariero, upočasnjuje širitev bolezni kulturnih rastlin ter nudi zaščito pred vetrno erozijo, saj zmanjšuje hitrost vetra.

5.2.2. Vegetacijski pasovi

Vegetacijske pasove sestavlja več vrst zasajenih rastlin (drevja, grmovnice, trave) s potrebo po velikih količinah vode. Rastline s svojim koreninskim sistemom preprečujejo, da bi se onesnaževanje, npr. iz kmetijske rabe prostora ali prometa, širilo proti vodotoku ali vodnemu viru. Redno priraščajoča lesna biomasa pa lahko služi kot vir lokalne energetske samooskrbe,

ki je vsled obnovljivosti in CO₂ nevtralnosti zelo priporočljiva v boju proti klimatskim spremembam.

5.2.3. Obrežni vegetacijski pasovi

Obrežni vegetacijski pas je površina tal z avtohtono (prvotno) ali nasajeno vegetacijo, umeščeno med potencialnim virom onesnaževanja in **vodno** površino. Rastline obrežnega pasu, ki so zakoreninjene v t.i. hiporeični coni (z vodo nasičeno območje pod in ob strugi vodotoka), imajo neposreden vpliv na produkcijo in dinamiko rečnega ekosistema. Močvirske in lesne rastline obrežnega pasu porabljajo hranila, ki se spirajo iz zaledja in tako varujejo reko pred onesnaževanjem. Obrežna vegetacija ščiti reko kot življenjski prostor vodnih organizmov in tako povečuje biotsko raznovrstnost rečnega ekosistema. Rastlinstvo obrežnega pasu s koreninskim sistemom utrjuje rečni breg in zadržuje vodo v pokrajini, saj obrežna vegetacija služi k zmanjšanju hitrosti toka vode in s tem povečanju infiltracije vode v talni profil, kjer se lahko odvijajo procesi čiščenja (Gaberščik, 2008).

Ali ste vedeli?

Nekoč so med polji ohranjali mejice (drevesne bariere), ki so prispevale k temu, da ni odnašalo dragocene prsti s polj. Mejice imajo hkrati še številne druge pomembne ekološke funkcije, kot so zadrževanje vlage in hranil v prsti, preprečevanje erozije tal, samočistilno sposobnost in ohranjanje biološke raznolikosti. Pri slednjem ne smemo pozabiti, da so mejice eden izmed najpomembnejših habitatov številnih ogroženih in zavarovanih ptic. Danes mejic med polji ne najdemo več, saj so kmetje subvencionirani na podlagi velikosti obdelovalnih površin. Prav tako mejice kmetom otežujejo obdelovanje kmetijskih površin s strojno mehanizacijo.

V primeru, ko se nadzemne dele periodično izsekava, se določena onesnaževala, ki jih rastlina transportira v nadzemne dele, kot so nitratni dušik, amonijev dušik, kovinski ioni (cink), organska onesnaževala (trikloeten), itd., odstrani iz sistema. V koreninski coni pa se zadržijo preostale vodotopne spojine. Večina onesnaževal nikoli ne vstopi v rastlino, temveč se zadržijo v koreninski coni ali se tam pretvorijo s pomočjo talnih mikrobov. Za nekatera organska onesnaževala pa je že bilo dokazano, da se presnovijo v koreninskih celicah in nadzemnih delih rastline.

5.2.4. Načrtovanje vzpostavitve vegetacijskih pasov

Kaj upoštevamo pri načrtovanju vegetacijskega pasova?

Pri umeščanju blažilnih con (vegetacijskih pasov) je potrebno upoštevati kriterije kot so: **kvaliteta vode**; **vrsto in količino potencialnih onesnaževal** (sedimenti, hranila, pesticidi, raztopljeni organski snovi itd.); **lastnosti tal** (vsebnost glinenih delcev in organske snovi, stopnja infiltracije, prevodnost tal itd.); **naklon terena**; **obliko in površino tal, s katere prihaja onesnažen odtok**; **vrsto primerne vegetacije za dane klimatske razmere**; najprimernejši letni čas za vzpostavitev vegetacije, obstoječo biodiverzitetu, ohranjanje tal, ekonomske možnosti, zaščita in varstvo pred hrupom in vetrom, estetske in vizualne kvalitete ter rekreacijski pomen.

Kriteriji umeščanja v krajino

- Pasovi učinkovitejši ob manjših vodotokih.
- Območja polnjenja podtalnice in mesta zbiranja odtokov so pomembna za postavitev pasov.
- Na mestih z večjimi nakloni in fino teksturo tal pomembno postavljati pasove.
- Postavitev pasu čim bliže onesnaženju.
- Potek pasu mora slediti nagibu terena, da je odtok čim bolj enakomeren (plitek tok).
- Spremenljivi jakosti odtoka mora slediti spremenjena širina pasu.

Širina vegetacijskega pasu

- Širina je odvisna od:
 - lastnosti tal,
 - oblike in površine prispevnega območja.
- Širina se poveča v primeru:
 - visoke vsebnosti drobnih delcev v odtoku (glineni delci), ki potrebujejo daljši čas za filtracijo,
 - pri naklonih $> 10\%$, kjer je velik potencial površinskega odtoka.
- Večina pasov je široka med 3 – 12 m.
- Razmerje med prispevno površino in površino pasu naj ne bi bilo večje od 50:1; priporočljivo razmerje je med 3:1 in 8:1.

Lastnosti izbrane vegetacije

- Gosta površinska rast, ki zagotavlja enovito prekritost tal.
- Gosta koreninska zarast, ki daje stabilnost.
- Prilagojenost lokalnim talnim in klimatskim razmeram.
- Dobra ponovna razrast po obdobju dormance ali po košnji / sečnji.
- V primeru uporabe filtra za krmo je potrebno upoštevati tudi donos in hranilno kvaliteto.

Med najprimernejšimi rastlinami za vegetacijske pasove so primernejše trave od širokolistnih rastlin, ker tvorijo gosto travno rušo z razvejanim koreninskim sistemom in nudijo popolno prekritost tal; najprimernejše so trave, ki imajo intenzivnejšo rast v zgodnjem pomladanskem in poznem jesenskem obdobju, ko prekritost s kmetijskimi rastlinami še ni prisotna, je pa več padavin. Travam se lahko dodaja stročnice za izboljšanje plodnosti tal in s tem povečanje pridelka trav. Primernejše so trave z rušnato razrastjo kot s šopasto razrastjo.

5.2.5. Vzpostavitev in vzdrževanje vegetacijskih pasov

Izgradnja in vzpostavitev

- Zahteve so v glavnem enake kot pri vzpostavitvi travnika.
- Po izbiri hranil se opravi analizo tal za ugotovitev preskrbljenosti s hranili.
- Po potrebi se dodaja apno in rastlinska hranila za dobro razrast vegetacije.
- Pomembna je hitra vzpostavitev vegetacije, v začetnem obdobju se zato morda potrebno zalivanje.

Vzdrževanje

- Redno pregledovanje pasov, še posebej po večjem deževju in daljših odtokih. Manjše razpoke v ruši ali majhni erozijski kanali lahko hitro postanejo večji problemi.
- Nastale erozijske kanale je potrebno sproti popravljati in ponovno zasejati.
- Neprekrute površine je potrebno dosaditi – možna uporaba že vzgojene ruše ...

- Travo se kosi in pokošeno travo odstranjuje, kot je to navada pri vzdrževanju travnikov, za vzdrževanje primerne višine vegetacije.
- Če trave ne uporabljamo za krmo, lahko kosimo pogosteje.
- Jesenska košnja na višini cca. 15 cm je primerna za vzdrževanje habitatov ptic.
- Redno testiranje kvalitete tal in po potrebi dodajanje hranil, apna.
- Ročno odstranjujemo plevel oz. nezaželene rastline in zaraščamo z lesnimi rastlinami.

5.3. Veterne bariere

Med vegetacijskimi pasovi so pomembne tudi bariere v prid zmanjševanja vpliva vetra. Le-te bariere so ponavadi sestavljene iz 1-3 vrstnih nasadov pravokotno na smer prevladujočih vetrov. Območje, ki ga bariere ščitijo je odvisno od višine in gostote vegetacije. Bariera zaščiti površino 10 in 15-kratne višine drevese ter 40-60 % gostota vegetacije zagotavlja optimalno zaščito pred vetrno erozijo. Optimalnejša je zasaditev v več vrstah.

5.4. Večnamenski melioracijski jarki

Drenažni sistemi (melioracijski jarki) s površinskimi in podpovršinskimi odtoki so prisotni na vseh intenzivnih kmetijskih območjih po Evropi. Ti sistemi odvajajo površinsko vodo, preprečujejo njeno zbiranje in znižujejo raven podtalnice pod glavno koreninsko cono, kar izredno izboljšuje rastlinsko pridelavo in so zato neobhodni za vzdrževanje gospodarske rasti. Po drugi strani pa ti sistemi vplivajo na nekaj sto tisoč hektarov zemljišč po vsej zahodni in vzhodni Evropi in vodijo k izgubi biološke raznovrstnosti in manjši zmožnosti čiščenja in zadrževanja vode (IUCN, 1993). Drenažni sistemi so potencialno lahko tudi najpomembnejši prenosniki kmetijskih onesnaževal dolvodno (sedimenti, fekalne snovi, pesticidi in nutrienti, kot so nitrati in fosfor) in lahko postanejo glavni vir raztopljenih in trdnih onesnaževal za vodotoke.



Slika 41. Osiromašen melioracijski jarek (levo) in revitalizirana melioracijski jarek, ki omogoča večnamembnost – zadrževanje vode, biodiverzitetu, čiščenje vode s pomočjo rastlin (vir: arhiv Limnos)

V preteklosti so pomen in funkcijo osuševalnih in melioracijskih jarkov v glavnem zanemarjali. Ti so postali pozabljena povezava med kmetijskimi zemljišči in vodnimi ekosistemi kot sprejemniki. Danes razumemo, da taki ekosistemi kot so jarki ali mokrišča lahko vzdržujejo okoljsko kakovost in lahko nudijo veliko biološko raznovrstnost, vključno z ogroženimi rastlinskimi in živalskimi vrstami, in imajo poleg tega tudi pomembne rekreacijske in estetske funkcije. To je v zadnjih letih vodilo h korenitim spremembam v odnosu do mokriščnih ekosistemov in postalo glavni razlog za vrsto revitalizacijskih ukrepov. Enonamenske melioracijske jarke tako lahko dopolnimo in njihovo funkcijo odvajanja vode nadgradimo s funkcijo čiščenja odtoka s kmetijskih površin in z rastlinsko zasadnjo hkrati povečamo biološko pestrost habitata.

Preglednica 8. Prednosti večnamenskih melioracijskih jarkov.

Neposredne koristi zasadnje jarkov	Posredne koristi zasadnje jarkov
Izboljšana kakovost površinskih in talnih voda	Zmanjšanje nevarnosti za zdravje
Zmanjšanje nevarnosti suše	Povečanje pridelka, biokmetijstvo
Možnost recikliranja vode za namakalne namene	Večja samovzdržnost, trajnost
Zmanjšanje vetra	Estetska podoba kmetijske krajine
Povečana biološka raznovrstnost	Izboljšan eko turizem, potencialna gospodarska rast

5.5. Naravna mokrišča kot blažilna območja

Mokrišče (močvirje) je skupno ime za zemljišča, ki tvorijo prehod med vodnimi in kopnimi okolji. To so območja, ki niso ne vodni ne kopenski ekosistemi, temveč imajo značilnosti obeh. Vsako mokrišče sestavljajo številni habitati, ki prehajajo eden v drugega in imajo značilno združbo rastlin in živali. Mokrišča imajo številne funkcije in so pomembna z ekološkega, družbenega in gospodarskega vidika. So naravni vodni zbiralniki (zmanjševanje vpliva poplavnega vala) in viri pitne vode. Poleg tega bogatijo podtalnico. Pomembno vlogo imajo pri prečiščevanju odpadnih voda, saj delujejo kot naravne čistilne naprave (presnova, zadrževanje hranilnih snovi in sedimentov). Ustvarjajo številne življenjske prostore (habitate) rastlinskih in živalskih vrst, predvsem selitvenih in ogroženih. Študije masnih bilanc naravnih vodnih in močvirskih ekosistemov so pokazale, da se hranilne in strupene snovi v teh ekosistemih lahko učinkovito zadržijo, pretvorijo, odstranijo ali celo nastajajo. Vtok hranilnih snovi poteka predvsem po hidroloških poteh, medtem ko so aktivni procesi razgradnje odvisni predvsem od učinkovitosti in ravnotežja delovanja mikroorganizmov (bioremediacija) in rastlin (fitoremediacija). Mokrišča prav tako dajejo izhodišča rastlinskih čistilnih naprav, ki so podrobneje predstavljene v poglavju 3.



Slika 42. Primer naravnega mokrišča – naravni filter, blažilna cona (vir: arhiv Limnos)

5.6. Povzetek

Zaradi kmetijske dejavnosti, prometa in drugih razpršenih virov se srečujemo z netočkovnim obremenjevanjem voda in tal. Gre za spiranje drobnih delcev tal in različnih onesnaževal z obdelovalnih površin in cestišč, ki povzročajo nalaganje sedimenta v vodotokih in kopičenje hranil in onesnaževal. Preprečevanje tovrstnega onesnaževanja (razpršenega) lahko dosežemo s postavitvijo različnih vegetacijskih pasov (barier, mejic, koridorijev ...). Vegetacijski pasovi predstavljajo površino tal z avtohtono (prvotno) vegetacijo ali nasajeno vegetacijo, umeščeno med potencialnim virom obremenjevanja in vodno ali kopensko površino, ki jo želimo zaščititi. Vegetacijski pasovi imajo poleg preprečevanja vnašanja onesnaževal v vodne ekosisteme tudi vrsto drugih funkcij, kot so: zaščita pred erozijo, večja biotska raznovrstnost z večanjem števila habitatov, ekonomske koristi (biomasa, krma), boljše esteske in vizualne kvalitete krajine, rekreacijska, izobraževalna vloga ter zaščita pred hrupom, vetrom, smradom in prašnimi delci.

Razmislite in odgovorite

Kateri so najpogostejši netočkovni viri onesnaževanja okolja?

Razmislite o pomenu mejic med polji v preteklosti?

Naštejete bistvene ekološke funkcije obrečnih vegetacijskih pasov?

Kako bi preprečili negativne vplive kmetijstva na okolje?

Raziskujte – vaje za terensko delo

Vaja 1. Določanje teksture prsti in ugotavljanje odpornosti prsti na proces erozije

Izraz erozija prsti je primeren za oznako procesa, ki prizadene prst, to je do nekaj deset centimetrov debel del litosfere, za katerega je značilna rodovitnost, lastnost, da v njej lahko rastejo rastline. Kadar voda teče po površini in ne pronica v prst, lahko povzroča erozijo. Erozija nastopi, ko intenzivnost padavin preseže infiltracijsko sposobnost prsti in nastane površinski odtok. Odvisna je zlasti od erozivne sile padavin in vodnega toka ter odpornosti podlage. Slednjo lastnost bomo poskušali ugotavljati s pomočjo analize tal. In sicer na različnih mestih (brežinah) na terenu bomo odvzeli vzorce prsti ter jim določili teksturo. Glede na značilnosti posamezne vrste prsti bomo ugotavljali, katere izmed njih so lahko najbolj podvržene procesu erozije ter s tem ugotovili, katere brežine so najbolj potrebne utrditve.

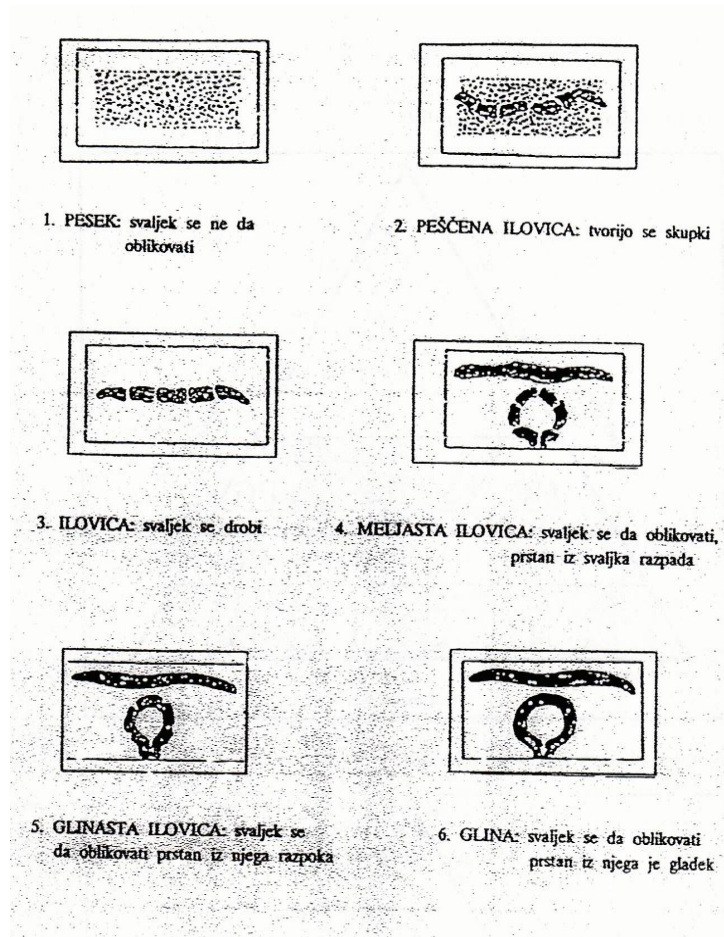
Zrnavost ali tekstura je razmerje med mineralnimi delci peska (premer 2-0,02 mm), melja (0,02-0,002 mm) in gline (manjši od 0,002 mm). Tekstura prsti je najpomembnejša lastnost prsti, saj neposredno vpliva na vsebovanost vode v prsti in njeno propustnost, npr. meljaste in glinaste prsti so prekomerno mokre in podvržene oglejevanju.

Materiali: lopatka, lupe, čaše, plastična korita, ključ za določanje teksture tal na otip shema za ugotavljanje teksturne frakcije, teksturni trikotnik

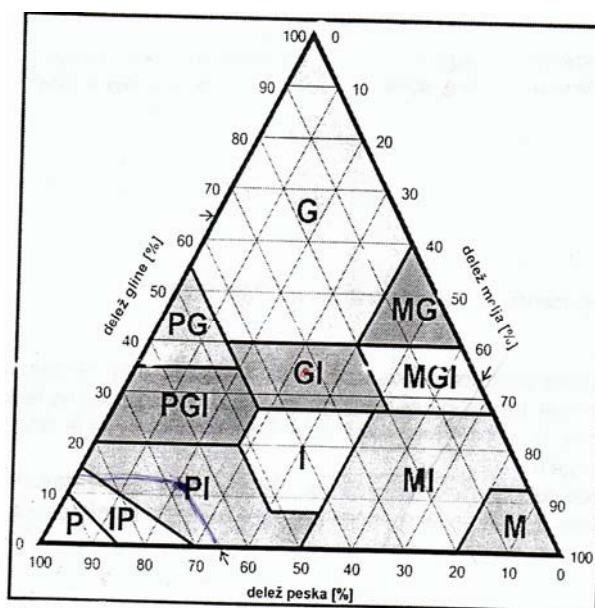
Postopek: Na različnih opazovalnih mestih (brežinah) odvezemite vzorce prsti. S pomočjo metode svaljkanja prsti in ključa za določanje teksture prsti tal na otip opravite klasifikacijo vzorcev tal. Na dlan roke damo vzorec prsti (v velikosti tenis žogice) in gnetemo vzorec med prsti. Če je vzorec zelo suh, dodamo nekaj kapljic destilirane vode. Teksturni razred prsti določimo tako, da vzorec prsti oblikujemo v svaljek in dobljeno obliko primerjamo s shemo 1.

Ko smo določili teksturni razred našega vzorca lahko s pomočjo teksturnega trikotnika (shema 2) določimo še količino peska, melja in gline v našem vzorcu!

Shema 1: Določanje mehanske sestave prsti (Lovrenčak, 1979)



Shema 2. Teksturni trikotnik



Teksturni razredi:

- P – pesek
- IP – ilovnat pesek
- PI – peščena ilovica
- MI – meljasta ilovica
- M – melj
- I – ilovica
- PGI – peščeno-glinasta ilovica
- MGI – meljasto-glinasta ilovica
- GI – glinasta ilovica
- PG – peščena glina
- MG – meljasta glina
- G – glina

Opis teksturnih skupin:

Pesek: je sestavljen iz nepovezanih, posameznih delcev. Posamezni delci so lahko vidni in otipljivi, če gnetemo suhega, razpade, ko pritisk poneha. Če pa gnetemo vlažnega, se tvorijo skupki, vendar se ob dotiku zdrobijo. Svaljek se ne da narediti.

Peščena ilovica: je prst, ki vsebuje dosti peščenih delcev, ima že precej melja in gline tako, da jo ti delci rahlo vežejo. Posamezne delce prsti lahko vidimo in otipljemo. Če jo gnetemo vlažno, pri skrbnem gnetenju skupki razpadejo.

Ilovica: je prst, ki ima približno enak delež delcev peska, melja in gline. Je mehka in nekoliko peščena, dokaj volna in slabo plastična, če jo gnetemo suho, se pri pazljivem oblikovanju tvorijo skupki, medtem ko vlažna se da oblikovati. Svaljek se pri gnetenju zdrobi.

Meljasta ilovica: je prst, ki ima zmeren delež drobnih peščenih delcev in majhen delež gline, več kot polovica delcev pa pripada melju. Ko je suha tvori grude, toda te se takoj zdrobijo. Zdrobljena je mehka in mokasta. V vlažnem stanju se meljasta ilovica takoj sprime. Suha in vlažna se dobro oblikuje. Če vlažno gnetemo med palcem in kazalcem se svaljek naredi, pri oblikovanju prstana pa se razlomi.

Glinasta ilovica: je drobno zrnata prst, ki tvori kepe in grude, ki so v suhem stanju trde. V vlažnem stanju je plastična. Če jo gnetemo med palcem in kazalcem, se naredi tenek svaljek. Vlažna je plastična in iz nje lahko naredimo skupke. Ko jo gnetemo v roki, se ne drobi, temveč iz nje nastane gosta masa. Pri oblikovanju prstana se razpoka.

Glina: je drobno zrnata prst, ki pogosto tvori v suhem stanju trde grude in kepe. V vlažnem stanju pa je dokaj plastična in pogosto lepljiva. Ko vlažno gnetemo med prsti, se naredi dolg upogljiv svaljek iz katerega se da oblikovati gladek prstan. Nekatero fine gline, bogate s koloidi, so mehke in slabo plastične (Vovk Korže, 2001, str. 10).

Vaja 2. Določanje obstojnosti strukturnih agregatov po Sekeri

Ugotavljanje obstojnosti strukturnih agregatov temelji na odpornosti strukturnih agregatov proti vodnemu raztapljanju. Podoben proces poteka v pokrajini od dežju. Določeni talni delci, povezani v agregate, razpadejo zelo hitro, drugi pa so odporni in tudi po daljšem času obdržijo prvotno obliko. Poznavanje obstojnosti strukturnih agregatov je pomembno v kmetijstvu in vpliva na izbiro mehanizacije za obdelavo prsti. Podatek o obstojnosti strukturnih agregatov pove tudi nekaj o nastanku prsti ter o možnostih varovanja prsti proti eroziji (Vovk Korže, Lovrenčak, 2001, str. 21).

Materiali: 10 vrst strukturnih agregatov do 6 mm premera, petrijevka, destilirana voda, shema struktura agregatov, 6 stopenjska lestvica obstojnosti strukturnih agregatov

Postopek:

Strukturne agregate damo v petrijevko in prelijemo z destilirano vodo ter pustimo stati 10 minut, vmes enkrat ali dvakrat premešamo, tako da krožno zavrtimo petrijevko. Po desetih minutah, s pomočjo sheme obstojnosti strukturnih agregatov, določimo obstojnost vsem 10 strukturnim agregatom. Kadar razpade več kot 50% strukturnih agregatov je obstojnost slaba.

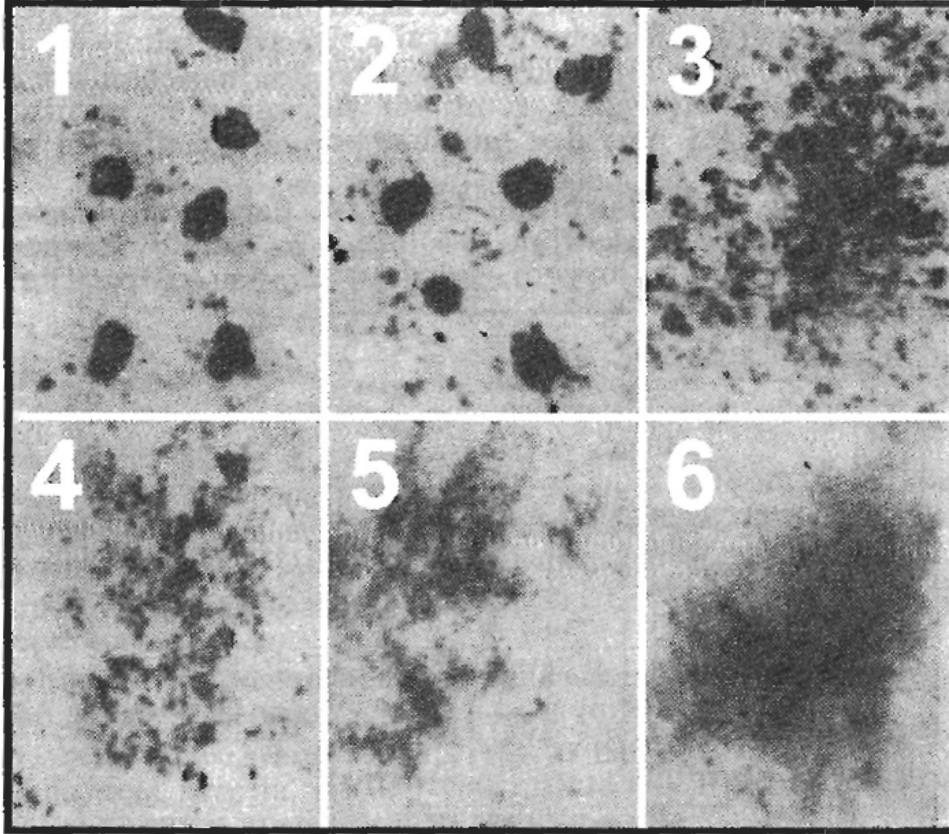
6-stopenjska lestvica obstojnosti strukturnih agregatov (Vir: Vovk Korže, Lovrenčak, 2001, str. 21)

1. strukturni agregati so v glavnem razpadli
2. razpadlo je manj kot 50% strukturnih agregatov,
3. razpadlo je 50% strukturnih agregatov,

4. razpadlo je več kot 50% strukturnih agregatov,
5. večina strukturnih agregatov je razpadla,
6. razpadli so vsi strukturni agregati, nastala je suspenzija

Vovk Korže, Lovrenčak, 2001, str. 21

Shema 3: Stopnje razpadlosti strukturnih agregatov



Vir: Vovk Korže, Lovrenčak, 2001, str. 21

Vaja 3. Ugotavljanje stopnje prekoreninjenosti prsti

Prekoreninjenost prsti ocenimo opisno na osnovi primerjanja globine korenin, do koder segajo in števila korenin v posameznem horizontu. Glede na število in globino korenin prsti uvrstimo vzorce v skupine, kot so predstavljene v tabeli. Prekoreninjenost je kazalec rodovitnosti prsti, dolžina korenin pa pospešuje mikrobiološko aktivnost prsti.

Prednost pred klasičnim svedrom za odvzem profila prsti je predvsem v tem, da ta ne potrga korenin. Prekoreninjenost nam pove, kakšna in kolikšna vegetacija je bila nad vzetim vzorcem prsti. Prsti, ki so bolj prekoreninjene imajo več organskih snovi in so bolj primerne za rast ter so tudi manj podvržene erozijskim procesom kot tiste, ki so manj prekoreninjene.

Materiali: sveder za ugotavljanje prekoreninjenosti, tabela za ugotavljanje prekoreninjenosti prsti, tabela za ugotavljanje debeline korenin

Postopek: Sveder za ugotavljanje prekoreninjenosti potisnemo v zemljo ter ga vrtimo v eno smer. Ko je sveder poln prsti ga obrnemo v nasprotno smer in ga vzamemo iz zemlje. Dobljen vzorec nam poleg same prekoreninjenosti lepo pokaže tudi profile prsti in živa bitja, ki prebivajo v prsti. Vzorec lahko posušimo in stehamo.

Tabela za ugotavljanje prekoreninjenosti prsti

stopnja	opis
6	zelo goste korenine
5	goste korenine
4	srednje goste korenine
3	redke korenine
2	posamezne korenine
1	ni korenin (neprekoreninjenost)

Tabela za ugotavljanje debeline korenin

Debelina	Opis
pod 1 mm	zelo tanke korenine
od 1 do 5 mm	tanke korenine
od 5 do 10 mm	grobe korenine
od 10 mm	debele korenine

Razmislite, glede na opravljene analize tal, katere prsti so najbolj odporne pred erozijskimi procesi?

Razmislite na podlagi opravljenih vaj, na kakšen način bi lahko obvarovali prsti na brežinah pred erozijo?

Raziskujte – vaje za terensko delo

Določitev vsebnosti nitratov, nitritov in amonija na travniku neposredno ob kmetijskem zemljišču (njivi) ter na območju blažilne cone (vegetacijskega pasova ali obrečne vegetacije)

S pomočjo naslednje analize tal – vsebnosti nitratov, nitritov in amonija bomo poskušali ugotoviti vpliv blažilne cone pri čiščenju onesnažil, ki se spirajo iz kmetijskih zemljišč.

Materiali: lopata, posode za vzorce prsti, lupe, pH meter, termometer, kovček za analizo tal

Postopek:

Analizo tal opravimo z uporabo kovčka za analizo tal. Izberemo dva opazovalna mesta, kjer odvezamo vzorce prsti – ob njivi ter na mestu blažilne cone. Skladno z navodili, ki so priloženi v kovčku, določite vsebnost nitratov, nitritov in amonija. Hkrati pri analizi tal opravite še meritve, kot so temperatura tal na globinah: 0 cm, 5 cm in 15 cm ter pH. Rezultate med seboj primerjajte ter ponazorite grafično.

6. TRAJNOSTNE SANACIJE DEPONIJ

Učna vsebina:

- **Ravnanje z odpadki**
- **Trajnostne sanacije deponij**
- **Struktura sistema trajnostne sanacije deponije**
- **Izgradnja sistema trajnostne sanacije deponije**

6.1. Problematika odlagališč odpadkov

Odlaganje komunalnih odpadkov na odlagališča je še vedno prevladujoč način končne odstranitve odpadkov. Glavni okoljski problem odlagališč predstavlja trajni nadzor nad izpusti izcedne vode in bioplina. Običajni pristop k preprečevanju negativnih vplivov odlagališča na okolje je uporaba fizikalnih pregrad (mineralni, sintetični izolacijski materiali), ki preprečujejo nastajanje izcedne vode in deponijskih plinov. Površinska izolacija odloženih odpadkov hkrati preprečuje njihovo nadaljnjo razgradnjo in s tem dokončno stabilizacijo. Ker je življenjska doba izolacijskih materialov omejena, kljub njihovi visoki kvaliteti, je dolgoročnost obstoječih rešitev okoljsko vprašanje (Zupančič Justin, 2006).

Urejene komunalne ali industrijske deponije, kjer je odlaganje odpadkov nadzorovano, izcedne vode kontrolirane in prečiščene, odpadki redno prekriti z mineralnim slojem in kjer ne prihaja do samovžigov, za onesnaževanje tal niso problematične. Vsa divja odlagališča in deponije brez zgoraj naštetih ukrepov lahko neposredno onesnažujejo tla. Zelo nevarna so nenadzorovana odlagališča industrijskih odpadkov, ki z izcednimi vodami, dvigovanjem prahu ali zaradi samovžigov ogrožajo okolje in človeka.

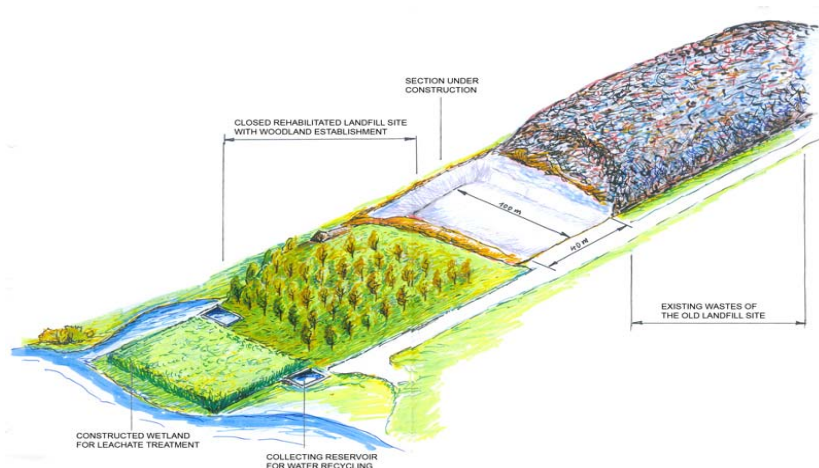
6.2. Sistem trajnostne sanacije deponije

Trajnostna sanacija deponij je nov inovativni pristop, sistem za sanacijo odlagališč, ki omogoča nadaljnjo razgradnjo odpadkov tudi po zaprtju odlagališča in s tem njihovo stabilizacijo še pred iztekom življenjske dobe izolacijskih materialov. V sistemu odlagališča je uporabljen zaprt krogotok vode in onesnaževal. V proces sanacije so vključeni naravni sistemi, ki omogočajo čiščenje izcedne vode s stabilizacijo in raztrpljanjem onesnaževal, kot tudi izrabo preostalih hranil iz izcedne vode za rast lesne biomase (Vrhovšek, Justin, 2006)

6.3. Struktura sistema trajnostne sanacije deponije

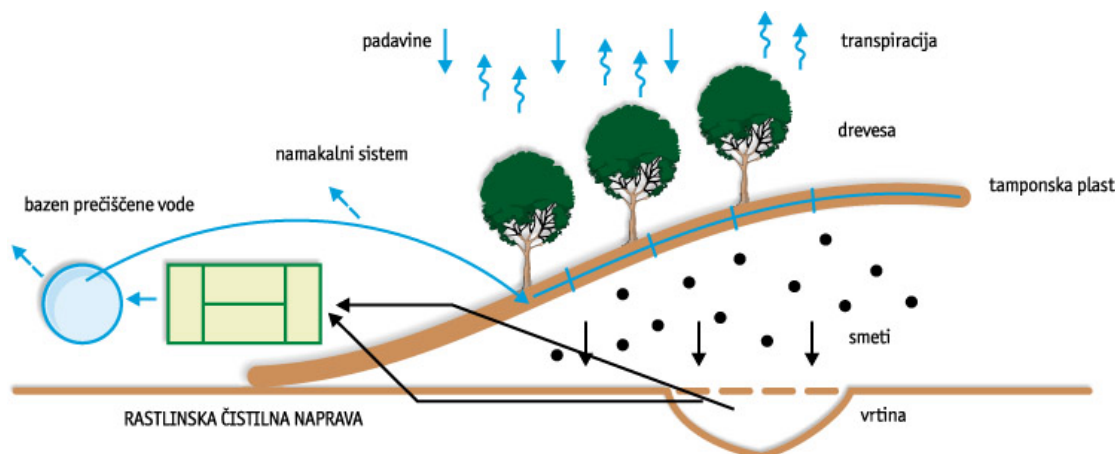
Sistem trajnostne sanacije deponije je sestavljen:

- prekrivnih plasti z lesnimi rastlinami in zelišči,
- rastlinske čistilne naprave in
- namakalnega sistema.



Slika 43. Zgradba trajnostne sanacije deponije (vir: arhiv Limnos).

Sistem omogoča recikliranje vode – prestrežena izcedna voda se čisti na rastlinski čistilni napravi, od tu pa se vrača preko namakalnega sistema nazaj na območje, posajeno z drevesi. Pri tem se najpogosteje uporabljajo značilne hitrorastoče lesne rastline, kot so topoli ali vrbe. Voda evapotranspirira, del pa skupaj s padavinsko vodo vodimo nazaj med odpadne vode, od koder se vrne v opisani cikel.



Slika 44. Čiščenje izcedne vode iz odlagališč na rastlinski čistilni napravi ter vračanje vode nazaj na vegetacijski pokrov odlagališča (Vir: arhiv Limnos).

Osnovi cilj sistema trajnostne sanacije deponije je v čim večji meri zadržati vodo na lokaciji ter jo od tu čisto odvajati v ozračje. Z nadzorovanim razkrojem organskega dela odpadkov (mineralizacija) se tako po zaključku razgradnje odlagališčni prostor lahko nameni tudi drugi, npr. komercialni rabi.

6.4. Koraki sanacije deponije

Koraki sanacije deponije potekajo v naslednjem sledju:

1. izgradnja rastlinske čistilne naprave s črpališčem za predčiščenje izcedne vode in vračanje na zasajeni del odlagališča,
2. izkop starih odpadkov in onesnaženih zemljin,
3. izolacija dna odlagališča, postavitve drenažnih sistemov za zbiranje in odvajanje izcedne vode,

4. zapolnitev odlagališča s starimi in novimi odpadki, kompaktacija,
5. prekritje zapolnjenih odlagališč z zemeljskimi sloji in vgradnja podzemnega namakalnega sistema,
6. zasadnja prekritega odlagališča z vrbami in travniškimi vrstami za vzpostavitev evapotranspiracijskega sloja.

Študija primera

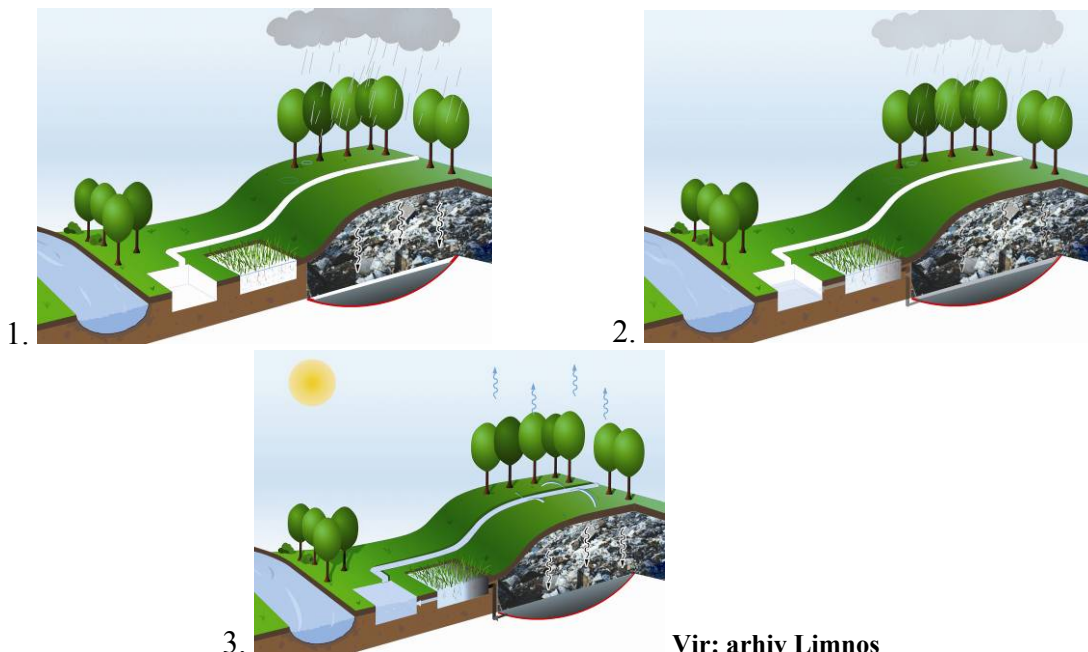
Sonaravna sanacija deponije Dobrava v Ormožu

Problematika

- Odlagališče komunalnih odpadkov Dobrova se razprostira na blagem pobočju med potokom Lešnica in lokalno cesto v hudourniški grapi. Meri približno 50 x 300 m.
- Na odlagališču se nahajajo gospodinjski in industrijski odpadki. Letno odložijo okoli 20.400 m³ odpadkov.
- Odvajanje in čiščenje izcednih voda ni bilo urejeno, prav tako ni bilo urejeno odplinjanje deponije. Povprečna količina izcedne vode je bila ocenjena na 12 m³/d.

Sonaravna sanacija deponije

- Sanacija deponije se je pričela z letom 2002.
- Sonaravna sanacija deponije vključuje:
 - ureditev nepropustnega sloja pod odpadki,
 - zasaditev drevesne vegetacije, ki deluje kot vodna bariera, na starem delu deponije,
 - rastlinsko čistilno napravo za čiščenje izcednih voda in
 - namakalni sistem za izrabo prečiščene vode.



Vir: arhiv Limnos

Izcedna voda se čisti na rastlinski čistilni napravi (v nadaljevanju RČN) in po namakalnem sistemu vrača do drevesne vegetacije, ki pokriva star del deponije, kjer se voda porabi pri evapotranspiraciji rastlin. Na ta način je omogočen zaprt krog kroženja vode po odlagališču in preprečeno onesnaževanje vodnih virov v okolici.

- Osnovni deli RČN so: kompenzacijski bazen, filtrirna greda, vertikalni gredi, čistilna greda in zbirni bazen za namakanje. Čas zadrževanja v celotnem sistemu 15 dni.
- Napolnjen del deponije se sproti pokriva z vegetacijskim pokrovom.



Rastlinska čistilna naprava za čiščenje izcednih voda iz deponije v Ormožu. Zgoraj desno vegetacijski pokrov čez stari del deponije (vir: arhiv Limnos)



Vegetacijski pokrov čez stari del deponije (vir: arhiv Limnos)

Pomen

- S sistemom zaprtega kroženja izcedne vode je vpliv deponije na okolje zmanjšan na minimum.
- Delno očiščena izcedna voda deluje na vegetacijski pokrov na deponiji kot gnojilo in tako prispeva k pospešeni produkciji biomase.
- Ker odlagališče ni nepredušno zaprto, je omogočena razgradnja odpadkov.
- Čiščenje izcednih voda iz deponij je zaradi njihove visoke obremenjenosti, toksičnosti in nihanja v sestavi za čiščenje izredno problematično. RČN imajo veliko pufersko kapaciteto in ta nihanja učinkovito kompenzirajo.
- Predstavljena sanacija deponije je povsem sonaravna, okolju prijazna in trajnostna.

6.5. Povzetek

Sistem trajnostne sanacije deponije omogoča pristop zaprtja deponije in s tem prispeva k obnovi degradiranega ekosistema, ki ga je povzročilo več letno zbiranje in odlaganje odpadkov ter pridelovanje izcedne vode, ki vsebuje številne strupene snovi, in se steka neprečiščena v okolje. Sistem trajnostne sanacije deponije sestoji iz prekrivnih plasti z lesnimi rastlinami in zelišči, rastlinsko čistilno napravo za čiščenje izcednih voda ter namakalni sistem, s pomočjo katerega se prečrpava prečiščena voda na rastlinski čistilni napravi nazaj v zaprtem krogotoku na vegetacijski pokrov deponije, od koder rastline v procesu transpiracije velik del prečiščene vode transpirirajo v atmosfero in s tem dodatno vplivajo na čiščenje le-te.

Razmislite in odgovorite

Kateri so ključni problemi pri ravnanju z odpadki?

Kateri ekoremediacijski ukrepi so še primerni za ravnanje z odpadki?

Kako je sestavljen sistem trajnostne sanacije deponije?

Poišči v okolici kakšno divje odlagališče ter napiši načrt smotrne sanacije divjega odlagališča?

S pomočjo poglavja fitoremediacije, razmisli, katere vrste bi bile primerne za uporabo sanacije divjega odlagališča.

7. SLOVARČEK

Absorpcija – vpijanje, vsrkavanje; pojav ko snov prodre v globino druge snovi

Adsorpcija – pojav, ko se snov (plin, tekočina ali trdna snov) veže na površino druge snovi

Antropogeni dejavniki – onesnaževanje zraka, tal in vode zaradi človekove dejavnosti (industrije, prometa, urbanizacije itd.), ki vpliva na abiotske in biotske razmere organizmov

Biodiverziteteta (biotska raznovrstnost) – raznovrstnost vseh oblik življenja na Zemlji. Nanaša se na vrste, njihove genetske lastnosti in ekosisteme.

Bioindikatorji – rastlinski in živalski organizmi, občutljivi na delovanje nekaterih snovi v okolju. Obstaja namreč tesna povezanost med onesnaženostjo okolja in nškodljivimi snovmi ter spremembami v sestavi in pojavljanju vrst – bioindikatorjev

Biokemijska poraba kisika je mera za količino biokemijsko razgradljivih organskih snovi in je enaka količini kisika, potrebne za njihovo pretvorbo v stabilne anorganske spojine (BPK₅)

Biotski dejavniki – živi dejavniki okolja (rastline, živali, mikroorganizmi). Biotski dejavniki skupaj z abiotskimi (neživimi) sestavljajo t. i. ekološke dejavnike

Cianobakterije – razvojni most med bakterijami in zelenimi rastlinami

Degradacija okolja – zmanjšanje ekološke vrednosti okolja zaradi škodljivih fizikalnih, kemičnih in bioloških sprememb.

Denitrifikacija – redukcija nitratov v amoniak in molekularni dušik, ki jo povzročajo denitrifikacijske bakterije v okolju brez kisika.

Ekosistem – naravne in ravnovesen sistem ki je nastal z medsebojnim delovanjem živih bitij in njihovega okolja

Erozija tal – različni procesi odnašanja in uničevanja površja tal z vodo in vetrom.

Evapotranspiracija – izguba vode s površine tal v ozračje z neposrednim izhlapevanjem (evaporacija) in s transpiracijo rastlin (oz. z reguliranim načinom oddajanja vode).

Evtrofikacija (cvetenje voda) – pretirano kopičenje hranilnih snovi v vodnem telesu (morju, jezeru), zlasti povečana koncentracija biogenih elementov, kot sta dušik in fosfor.

Filtracija – precejanje tekočine skozi porozno snov (npr. pesek, prst).

Habitat – življenjski prostor, ki ga opredeljujejo posebni abiotski in biotski dejavniki

Helofiti – močvirne rastline z visokimi stebli. Njihove korenine in spodnji deli stebel so potopljeni v vodi (npr. navadni trst, rogoz, kolmež, šaš itd.)

Hidromelioracija – izboljševanje zemljišč z osuševanjem ali namakanjem

Kemijska potreba po kisiku (KPK) – vrednost, ki nam pove količino kisika potrebnega za kemično oksidacijo organskih snovi

Makrofiti – vse vodne rastline, ki jih lahko opazimo z golim očesom in ki živijo predvsem v litoralnem pasu, npr. rogoz, beli lokvanj, rumeni blatnik itd.

Melioracija – fizično poseganje v naravno okolje z namenom uravnavanja in nadziranja mokrotnih tal; največkrat gre za ustvarjanje novih kmetijskih zemljišč z izkopom sistema izsuševalnih jarkov na močvirnatih ali polmočvirnatih tleh, ki odvajajo odvečno vodo

Melioracijski jarek – kanal, drenažni sistem za odvodnjavanje predvsem kmetijskih zemljišč

Mikroorganizmi – zelo majhni organizmi z razmeroma preprosto zgradbo, ki jih lahko vidimo le pod mikroskopom (praživali, alge, glive, bakterije, modrozeleni cepeljivke in virusi)

Mineralizacija – proces razkroja organskih spojin v anorganske, kot so ogljikov dioksid, voda, amoniak, nitrati, fosfati itd. Pri le-tem procesu se hkrati sprošča tudi energija. Mineralizacija poteka ob sodelovanju številnih mikroorganizmov.

Monitoring okolja – sistem meritev, ocen in napovedi stanja okolja.

Nitrifikacija – oksidacija amoniaka v dušikovo kislino ali nitrate. Ta proces sprožijo nitrifikacijske bakterije.

Patogeni organizmi – vsi organizmi ali snovi, ki povzročajo različna obolenja

Precipitacija – kem. izločanje s kemičnimi reakcijami iz raztopine v obliki trdnih ali tekočih delcev; obarjanje

Rizosfera – tanka plast zemlje, ki je v kontaktu z rastlinskimi koreninami

Rizom - podzemno steblo, ki raste vodoravno in je podobno korenini. Ker gre za steblo, na njem najdemo brste, iz katerih poženejo poganjki.

Sedimentacija – usedanje delcev, ki lebdijo v vodi ali drugih tekočinah; nastane zaradi vpliva težnosti.

Sekundarna ekološka sukcesija – spremembe, ki nastanejo v določenem zaporedju na območju prizadete (poškodovane) biocenoze (npr. opuščena njiva, pogorišče v gozdu ali poseki, izsuševanje ribnika itd.)

Sukcesija – zaporedno spreminjanje rastlinskih in živalskih združb na določenem mestu in skozi čas, hkrati se spreminja tudi neživo okolje

Trajnostna raba okolja – način rabe naravni danosti, virov in prostora, ne da bi jih uničevali in tako zmanjšali njihovo uporabo v prihodnosti

Vodovarstveno območje – območje v prostoru, na katerem določimo omejitve, ukrepe in prepovedi z namenom zaščite napajalnega zaledja vodnega vira, iz katerega zajemamo vodo za potrebe oskrbe prebivalstva s pitno vodo

8. VIRI IN LITERATURA

1. Ančik, E., et al. Kazalci okolja 2005. Ljubljana: Ministrstvo za okolje in prostor – Agencija RS za okolje, 2006.
2. Bizjak, A. Ključni problemi vodnega okolja v Sloveniji. V: Okolje in prostor, informativni bilten, 6/2010, MOP.
3. Eiseltova, B. Restoration of stream ecosystems – an integrated catchment approach. V: IWRB Publication 37, Slimbridge, Gloucester, GL2 7BX. UK.
4. Gaberščik, A., Trošt Sedej, T. Osnove ekologije rastlin. Gospodarjenje z manjšinskimi ekosistemi. Pripomoček za terenske vaje. ULJ, BF, Oddelek za biologijo.
5. Griessler Bulc, T. Vloga rastlinskih čistilnih naprav v prihodnosti. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, 2008, Ljubljana, 33-51.
6. Katalinić, D., Vovk Korže, A., Vrhovšek D., Ponovno zaživimo s potokom Mokoš. Maribor: Inštitut za promocijo varstva okolja, 2006
7. Katalinić, D. in E., Vovk Korže A. Pojdimo k potoku. Maribor: Inštitut za promocijo varstva okolja, 2006.
8. Kompare, B., Vahter M., Drev D. Male čistilne naprave na območju razpršene poselitve. Ljubljana: FGG, ICRO, 2007.
9. Kroflič B., Vrhovšek, D. Ekološka in ekonomska upravičenost rastlinskih čistilnih naprav na območjih razpršene poselitve. Geografski obzornik, 2007, letnik 54, številka 3-4, str. 13-16.
10. Lovrenčak, F. Prst – nenadomestljiv naravni vir. Geografski obzornik, 53 (1), str. 4-7.
11. Luhta, J. Obere Drau. Natura 2000: Evropska narava za vas ... po 27 državah EU. Luksemburg: Urad za uradne publikacije Evropskih skupnosti, 2009.
12. Macarol, B. Ekoremediacije – znane neznanke pri zaščiti in obnovi okolja. *Geografski obzornik*, 2003, št. 3-4/2003, ZGDS, Ljubljana, str.
13. Macarol, B. Ekoremediacije za trajnostno upravljanje z vodami. V: Kako doseči celostno upravljanje z vodnimi viri: zbornik predavanj, povezetek diskusije na okrogli mizi in zaključki posvetovanja GWP Slovenija, 20. april 2007. Ljubljana. 2007, 21-26.
14. Manual of river restoration techniques – for the web ; The River Restoration Centre; UK, 2002
15. Okolje na dlani. Agencija RS za okolje. Ljubljana.

16. Operativni program odvajanja in čiščenja odpadnih voda, Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana, 2004.
17. Play with water,
<http://www.play-with-water.ch/d4/index.cfm?CFID=4493195&CFTOKEN=79046471>
18. Poročilo o okolju v Sloveniji 2009. Agencija RS za okolje. Ljubljana,
19. Raziskave onesnaženosti tal Slovenije v letu 2006. Agencija RS za okolje, Ljubljana, 2007.
20. Regvar, M. Fitoremediacijske tehnologije: možnosti in perspektive. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, 2008, Ljubljana, 113-131.
21. Regvar, M. Metalofiti – opredelitev in pomen za fitoremediacijo. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, 2008, 132-150.
22. Resolucija nacionalnega programa varstva okolja (NPVO), Ur. l. RS št. 83/99; ReNPVO, Ur. l. RS, št. 2/06.
23. Restoration of Stream Ecosystems an integrated catchment approach; Martina Eiseltova, Jeremy Biggs; Slimbridge, Gloucester, UK; 1995
24. Sajovic, A., Kroflič, B., Vrhovšek D. Ekološka obnovitev reguliranih vodotokov na Goričkem. V: 2. Mednarodna ERM konferenca, 24. in 25. september 2008, str. 68-72.
25. Smolar Žvanut, N. Odvzemi vode iz vodotokov. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, 2008, 181-197.
26. Spletni portal www.ateistek.com, citirano 22. 6. 2010
27. Spletni portal Agencije RS za okolje, www.arso.si, citirano 14. 3. 2010
28. Spletni portal Eionet Sokol - <http://nfp-si.eionet.eu.int/sokol>, citirano 22. 4. 2010
29. Stankiewicz, A., Hluszyk H. Slovar ekologije. Ljubljana: DZS, 1998.
30. Stream Corridor Restoration, Principles, Processes and Practices;
http://www.usda.gov/stream_restoration, citirano 14. 3. 2010
31. Šajn Slak, A., Griessler Bulc, T. Ekoremediacije kot zaščita voda pred onesnaževanjem zaradi kmetijstva. Geografski obzornik, 2007, letnik 54, številka 3-4, str. 17-20.
32. Šturmovci, spletni naslov: <http://os-gorje.s5.net/projekti/Mak/Videm/Glavno/sturmovec.htm>, citirano 22. 4. 2010

33. Toman, M. Varstvo celinskih voda. Skripta, Biotehniška fakultata, Oddelek za biologijo. UL.
34. Udovič, M., Finžgar, N. Kako rešiti onesnažena tla. *Gea*, letnik 20, 6/2010, Ljubljana, str. 26-31.
35. Uredba o emisiji snovi pri odvajanju odpadne vode iz malih komunalnih čistilnih naprav, Ur. l. RS št.
36. Vahter, M. Vodni detektiv: Kako se reka očisti, Domažale: ICRO, 2007.
37. Vahter, M. Vodni detektiv: Od kod priteče pitna voda? Domžale: ICRO, 2003.
38. Vovk Korže, A. Ekoremediacije v življenju ljudi. *Geografski obzornik*, 2007, letnik 54, številka 3-4, str. 4-7.
39. Vovk Korže, A., Janškovec K. Čiščenje prsti s pomočjo rastlin. *Geografski obzornik*.
40. Vovk Korže, A., Vrhovšek, D. Ekoremediacije kot priložnosti za razvoj. V: 2. Mednarodna ERM konferenca, 24. in 25. september 2008, str. 7-12.
41. Vovk Korže, A. Vloga prsti v ekosistemu. *Dela* 28. 2007, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. str. 107-119.
42. Vovk Korže, A. Trajnostni razvoj z ekoremediacijami. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, 2008, Ljubljana, 17-32.
43. Vovk Korže, A. Prsti kot celovit puforni sistem v pokrajini. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, 2008, Ljubljana, 94-112.
44. Vovk Korže, A., Smaka Kincl V. Pogledi na ekoremediacije: zbornik znanstvenega sestanka. Maribor: Inštitut za promocijo varstva okolja, 2006.
45. Vrhovšek D., Vovk Korže, A. Ekoremediacije kanaliziranih vodotokov. Ljubljana: LIMNOS, Mednarodni center za ekoremediacije, Filozofska fakulteta Univerze v Mariboru, 2008.
46. Vrhovšek, D., Vovk Korže A. Celoviti pristopi varovanja in sanacije okolja z ekoremediacijami. V: 1. Mednarodna ERM konferenca, 21. in 22. september 2007, str. 9-20.
47. Vrhovšek, D., Vovk Korže A. Ekoremediacije. LIMNOS, Mednarodni center za ekoremediacije, Filozofska fakulteta, Univerza v Mariboru. 2007 in 2009 (ponatis)
48. Vrhovšek, D., Vovk Korže, A. Možnosti varovanja prsti in podtalnice z ekoremediacijami na kmetijskih območjih. Rakičan, Raziskovalno-izobraževalno središče, str. 1-9.

49. Vrhovšek, D. Ekoremediacije – najbolj vzdržni mehanizmi varovanja in obnove okolja. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, 2008, Ljubljana, 13-16.
50. Vrhovšek, D. Dragonja – ekoremediacijska pot, poskusni projekt sonaravnega upravljanja z vodami na primeru celovite zaščite reke Dragonje. Ljubljana: LIMNOS, Global Water Partnership, 2003.
51. Vrhovšek, D., Vovk Korže A. Ekoremediacije v celostnem upravljanju z vodami. Ljubljana: LIMNOS, 2005.
52. Vrhovšek, D., Vovk Korže A. Ekoremediacije za učinkovito varovanje okolja. Maribor: Inštitut za promocijo varstva okolja, 2009.
53. Zakon o varstvu okolja (Ur. l. RS, 32/93, spremembe 41/04 in 39/06).
54. Zupančič Justin, M. Ekoremediacija kontaminiranih zemljin, sedimentov in odlagališč odpadkov. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije, 2008, Ljubljana, 71-93.
55. Zupančič Justin, M. Uvod v okoljske tehnologije. Visokošolski učbenik pri predmetu uvod v okoljske tehnologije. Velenje: Visoka šola za varstvo okolja, 2010.
56. Zupančič Justin, M., Pajk, N. Fitoremediacijski potencial topolov pri čiščenju izcedne vode odlagališča odpadkov. V: 2. Mednarodna ERM konferenca, 24. in 25. september 2008, str. 64-67.
57. Justin Zupančič, M. Fitoremediacija onesnaženih kmetijskih površin: vmesno poročilo 2007, Ekoremediacijski tehnološki center, Celje, 2007.
58. Zupančič Justin, M. Ekoremediacijski pristopi pri sanaciji odlagališč odpadkov. V: 1. Mednarodna ERM konferenca, 21. in 22. september 2007, str. 115-120.