

Visoka šola za varstvo okolja

DIPLOMSKO DELO

**PREGLED IN OCENA MOŽNOSTI ZAŠČITE PODTALNIH VIROV
PITNE VODE S POMOČJO EKOREMEDIACIJ**

JANŽA RAJH

Velenje, 2014

Visoka šola za varstvo okolja

DIPLOMSKO DELO

**PREGLED IN OCENA MOŽNOSTI ZAŠČITE PODTALNIH VIROV
PITNE VODE S POMOČJO EKOREMEDIACIJ**

JANŽA RAJH
VARSTVO OKOLJA IN
EKOTEHNOLOGIJE

MENTOR: DOC. DR. MAJA ZUPANČIČ JUSTIN

Velenje, 2014



Številka: 726-21/2012-2

Datum in kraj: 30. 10. 2012, Velenje

Na podlagi Diplomskega reda

izdajam

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študent-ka VŠVO

Janža Rajh

lahko izdela diplomsko delo pri predmetu: Uvod v okoljske tehnologije

Mentor-ica: doc. dr. Maja Zupančič Justin

Somentor-ica: _____ / _____

Naslov diplomskega dela v slovenskem jeziku: Pregled in ocena možnosti zaščite podtalnih virov pitne vode s pomočjo ekoremediacij

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku: Review and assessment of options to protect underground sources of drinking water through ecoremediation

Diplomsko delo je potrebno izdelati skladno z Navodili za izdelavo diplomskega dela.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na Senat v roku 3 delovnih dni.



Dekanica
doc. dr. Natalija Špeh

IZJAVA O AVTORSTVU

Diplomsko delo je rezultat lastnega dela. Vsi privzeti podatki so citirani skladno z mednarodnimi pravili o varovanju avtorskih pravic.

Janža Rajh

Zahvala

Najprej bi se rada zahvalila mentorici, doc. dr. Maji Zupančič Justin, za njen čas, odzivnost in strokovno pomoč pri nastajanju diplome.

Hvala tudi prijateljem za njihovo pomoč, nasvete in moralno podporo.

Posebna zahvala pa gre staršem in sestri Tamari, ker so mi vsa leta študija pomagali, me spodbujali in ves čas verjeli vame.

IZVLEČEK

Z izrazom ekoremediacije in ekološko inženirsko načrtovanje označujemo pristope in metode, s katerimi s pomočjo uporabe naravnih ali grajenih ekosistemskih rešitev, ki temeljijo na naravnih procesih, obnavljamo in ščitimo tla, vodne vire in zrak pred obremenitvami. Naloga se osredotoča na možnost zaščite podtalnih virov s pomočjo ekoremediacij. Podtalnica v Sloveniji je ogrožena zaradi različnih točkovnih in razpršenih virov obremenitev, ki nastajajo zaradi intenzivnega kmetijstva, industrije, goste poselitve, prometa, itd. Zelo veliko težavo pa predstavlja tudi nižanje gladine podtalnice, kar je posledica prekomerne rabe za namene preskrbe s pitno vodo, poseganja v vodotoke in izsuševanje le-teh. V nalogi smo predpostavili, da lahko določen del težav saniramo ali omilimo s pomočjo ekoremediacijskih metod. V prvem delu diplomske naloge smo pregledali stanje podtalnice v Sloveniji, vzroke za onesnaženje in ekoremediacijske metode, v drugem delu pa smo predstavili možne načine zaščite omenjenih virov pitne vode s pomočjo ekoremediacij. Povečanje samočistilne sposobnosti vodotokov in s tem zmanjšanje obremenitev podtalnice lahko dosežemo z ukrepi kot so ekološki načini obnove vodotokov, umeščanje stranskih rokavov, meandriranje strug, itd. Zmanjšanje vpliva razpršenega onesnaževanja, ki ga povzroča kmetijstvo in promet, lahko dosežemo s preureditvijo melioracijskih jarkov, umeščanjem vegetacijskih pasov, grajenih mokrišč, hidravličnih fitoremediacijskih barier, začasnih zadrževalnikov meteornih voda itd. Zmanjševanje negativnih vplivov na podtalnico, ki jih povzročajo točkovni viri obremenitev, lahko zmanjšamo z umeščanjem različnih tipov rastlinskih čistilnih naprav. Z omenjenimi ukrepi lahko dosežemo izboljšanje kemijskega in količinskega stanja podtalnice.

Ključne besede:

Ekoremediacije, ekološko inženirsko načrtovanje, podtalnica, točkovni viri onesnaževanja, razpršeni viri onesnaževanja.

ABSTRACT

The terms ecoremediations and ecological engineering design denote approaches and methods of remediation and protection of soil, water sources and air from burdens with the help of natural or built ecosystem solutions that ground on natural processes. The diploma thesis is focused on possibility of protecting the groundwater sources through ecoremediations. Groundwater in Slovenia is endangered because of different point and nonpoint sources of pollution that arise due to intensive agriculture, industry, dense settlement, transport etc. A big problem presents also the lowering of the groundwater surface, which is a consequence of overusing it for purposes of drinking water supply, interference in watercourses and drying them. We presume that we can rehabilitate or alleviate certain part of problems with by means of ecoremediational methods. In the first part of diploma thesis we have examined the condition of groundwater in Slovenia, the reasons for pollution and ecoremediational methods; in the second part we have presented possible ways of protection of the mentioned sources of drinking water with the help of ecoremediations. With measures like ecological rehabilitation of watercourses, formation of side channels and meanders, etc., the increase of natural treatment capacity of watercourses and therefore reduction of groundwater pollution can be achieved. Reduction of dispersed pollution, caused by farming and traffic, can be achieved by rehabilitation of amelioration ditches, formation of vegetative buffer zones, constructed wetlands, hydraulic phytoremediation barriers, temporary dry stormwater detention ponds, etc. Reduction of negative effects on groundwater, caused by point sources of pollution, can be reduced by construction of constructed treatment wetlands. With listed measures, we can achieve improvement of chemical and quantitative status of groundwater.

Keywords

Ecoremediation, ecological engineering design, groundwater, point sources of pollution, nonpoint sources of pollution.

KAZALO VSEBINE

IZVLEČEK	V
ABSTRACT	VI
KAZALO SLIK.....	IX
KAZALO PREGLEDNIC	X
1. OPREDELITEV TEME.....	1
1.1 Namen in cilji diplomske naloge.....	2
1.2 Hipoteza	2
1.3 Metode dela.....	2
2. VIRI PITNE VODE V SLOVENIJI.....	3
2.1 Površinski viri pitne vode	3
2.2 Podzemni viri pitne vode.....	3
2.2.1 Vodonosniki.....	4
3. STANJE PRESKRBE S PITNO VODO	5
3.1 Dobavljena voda v Sloveniji	5
4. KAKOVOST PODZEMNE VODE	6
4.1 Pregled stanja podzemne vode v Sloveniji.....	7
4.1.1 Savinjska kotlina.....	9
4.1.2 Dravska kotlina	9
4.1.3 Murska kotlina	9
4.1.4 Savska kotlina in Ljubljansko barje	10
4.1.5 Krška kotlina.....	10
4.2 Spremljanje stanja kakovosti podzemne vode	11
5. METODE PRIPRAVE PITNE VODE ZA PITJE	12
6. ONESNAŽEVANJE VIROV PITNE VODE	12
6.1 Točkovni viri onesnaževanja.....	12
6.2 Netočkovni viri onesnaževanja.....	13
6.3 Hidromorfološke obremenitve	13
7. PREGLED NAČINOV ZAŠČITE VIROV PITNE VODE	14
7.1 Metode preventivne zaščite pitne vode	14
7.1.1 Varovanje pitne vode z varstvenimi pasovi	14

8. PREGLED ZAKONODAJE PREDMETNEGA PODROČJA	16
9. EKOREMEDIACIJE	16
9.1 ERM ukrepi v strugi vodotoka	17
9.1.1 Stranski rokav	18
9.1.2 Meandriranje struge	18
9.1.3 Ekoremediacijska preureditev melioracijskega jarka	19
9.2 ERM ukrepi v obrežnem pasu vodotoka.....	20
9.2.1 Vegetacijski pasovi	20
9.2.2 Grajena mokrišča.....	21
9.3 In-situ metode remediacije podtalnice.....	22
9.3.1 Hidravlične fitoremediacijske bariere.....	23
9.4 ERM rešitve za čiščenje onesnaženih iztokov.....	24
9.4.1 Rastlinska čistilna naprava	24
9.4.2 Začasni zadrževalniki meteornih voda	25
10. REZULTATI Z DISKUSIJO.....	27
10.1 Stanje virov pitne vode v Sloveniji in potreba po njihovi zaščiti	27
10.2 Možnosti zaščite in izboljšanja stanja virov pitne vode s pomočjo sistemov ekološkega inženirskega načrtovanja oz. ekoremediacij.....	28
11. POVZETEK.....	30
12. SUMMARY	31
13. VIRI IN LITERATURA	33

KAZALO SLIK

Slika 1: Tipi vodonosnikov v Sloveniji.....	4
Slika 2: Kakovost podzemne vode v letu 2012.....	8
Slika 3: Območja vodovarstvenih pasov v Sloveniji.....	15
Slika 4: Prikaz stranskega rokava	18
Slika 5: Primeri meandriranja struge	19
Slika 6: Shematski prikaz ERM melioracijskega jarka.	20
Slika 7: Vegetacijski pas	21
Slika 8: Shema grajenega mokrišča s površinskim in podpovršinskim tokom.....	22
Slika 9: Shema delovanja drevesne hidravlične bariere-dolgradientni tok	23
Slika 10: Shema delovanja drevesne hidravlične bariere-gorgradientna kontrola podtalnice	24
Slika 11: Shema rastlinske čistilne naprave	25
Slika 12: Shema začasnega zadrževalnika meteornih voda.....	26

KAZALO PREGLEDNIC

Tabela 1: Količine vode, zagotovljene za javni vodovod v letu 2011	6
Tabela 2: Trend gladine podzemne vode na merilnih mestih vodnih teles podzemnih voda s prevladujočo medzrnsko porounostjo za obdobje 1990-2011.....	8

1. OPREDELITEV TEME

Pitna voda je ena izmed najpomembnejših naravnih dobrin in je nujno potrebna za človekovo preživetje in razvoj.

Slovenija je zelo bogata z vodnimi viri. Večino vode črpamo iz podzemnih zalog (le 3 % površinske vode se uporablja za pitje), zato je pomembno, da je voda dovolj in da je ustrezne kakovosti. Vendar pogosto ni tako, saj se kvaliteta vode slabša zaradi neurejenih izpustov odpadnih voda (iz gospodinjstev in industrije), neurejenih odlagališč odpadkov, intenzivnega kmetijstva itd. Klasični postopki čiščenja in priprave pitne vode so dragi. V prvi vrsti je zato potrebno poskrbeti za ustrezno zaščito vodnih virov namenjenih oskrbi s pitno vodo. Poleg klasičnih postopkov čiščenja odpadne vode pred njenim izpustom v okolje, ustreznih kmetijskih praks itd., lahko veliko pripomoremo k boljši kakovosti vodnih virov tudi z uporabo ekološkega inženirskega načrtovanja (Matlock, Morgan, 2011, Mitsch, Jørgensen, 2004) ali ekoremediacij (Vrhovšek, Korže, 2007).

Ekoremediacija (ERM) je uporaba naravnih procesov in metod za obnovo in zaščito okolja (Vrhovšek, Kože, 2007). Z njihovo uporabo lahko zmanjšujemo točkovne (komunalne in industrijske odplake) in razpršene (transport, kmetijstvo) obremenitve. V praksi se metode ekoremediacije pogosto uporabljajo za sonaravne sanacije deponij, kot rastlinske čistilne naprave za čiščenje odpadne vode, fitoremediacijo onesnaženih zemljin, v obliki rastlinskih barier za preprečevanje vetrne in vodne erozije, kot nadomestni ekosistemi, kjer je prišlo do njihovega porušenja itd.

Ekoremediacijske metode pa se lahko uporabi tudi za zaščito podtalnice. Lahko gre za uvajanje ukrepov zaščite pred širjenjem obremenitev v podtalnico, za ERM ukrepe, ki omogočajo daljše zadrževanja vode in s tem napajanje podtalnice, ali pa za neposredno čiščenje oziroma odstranjevanje obremenitev iz podtalnice z uporabo ERM. Zelo resne težave glede količinskega stanja podtalnice pa so se začele pojavljati zaradi nepremišljenega poseganja v vodotoke in tudi ta vpliv se lahko omili s pomočjo uporabe ERM metod. Stanje degradiranega vodotoka se lahko izboljša z uporabo ERM ukrepov v strugi vodotoka, v obrežnem pasu vodotoka, ali z ERM ukrepi čiščenja onesnaženih pritokov. Zaradi neposrednih povezav med površinskimi in podpovršinskimi vodami pa vsi omenjeni posegi posredno vplivajo tudi na izboljšanje stanja podtalnice.

V svoji diplomski nalogi bom pregledala najbolj ogrožena in ranljiva območja Slovenije in podala možne rešitve za izboljšanje kemijskega in količinskega stanja podtalnice.

1.1 Namen in cilji diplomske naloge

Namen in cilji diplomske naloge so naslednji:

- podati pregled virov pitne vode v Sloveniji,
- podati oceno stanja kakovosti podzemne vode v Sloveniji kot najpomembnejšega vira pitne vode na podlagi javno dostopnih podatkov,
- opredeliti najpomembnejše dejavnike, ki povzročajo onesnaževanje glavnega vira pitne vode pri nas,
- podati pregled ekoremediacijskih metod,
- pregledati in oceniti možnosti zaščite podtalnih virov pitne vode s pomočjo ekoremediacijskih metod,
- predstaviti načine uporabe ekoremediacijskih metod za zaščito podtalnih virov pitne vode.

1.2 Hipoteza

Predpostavljamo, da lahko z metodami ekološkega inženirskega načrtovanja oziroma ekoremediacijami učinkovito zmanjšamo vplive točkovnih in razpršenih virov obremenitev na podtalne vire pitne vode ter s tem zmanjšamo potrebo in stroške v primeru uporabe klasičnih inženirskih pristopov.

1.3 Metode dela

Diplomska naloga temelji predvsem na naslednjih pristopih in metodah dela:

- pregled obstoječe zakonodaje RS,
- pregled okoljskih poročil v povezavi z onesnaževanjem okolja, preskrbo s pitno vodo ter stanjem voda s poudarkom na podtalnici,
- pregled strokovnih virov s področja ekoremediacij in ekološkega inženirskega načrtovanja.

Empirični del naloge zajema zbiranje in proučevanje literature in drugih dokumentacijskih virov (splet, Univerzitetna knjižnica Maribor, ...).

Sinteza rezultatov in zaključkov:

Na podlagi zbranih podatkov o stanju podtalnih virov pitne vode ter problemov glede preskrbe s pitno vodo v Sloveniji sem podala pregled najbolj kritičnih območij po Sloveniji ter opredelila najpomembnejšo vrsto obremenitev, s katero se na teh območjih soočajo (obremenitve kmetijstva, obremenitve zaradi industrijske dejavnosti).

Zbranim primerom iz literature sem opredelila njihov prispevek k posamezni vrsti zmanjševanja obremenitev (npr. kapaciteta odstranjevanja posameznih onesnaževalcev, sedimentacija delcev, zmanjšanje erozije, zadrževanje vode itd.) ter v nadaljevanju podala njihovo primernost za posamezno vrsto obremenitev v okolju in s tem predlog za zaščito podtalnih vodnih virov.

2. VIRI PITNE VODE V SLOVENIJI

Slovenija spada v Evropi med najmanjše države, a hkrati spada tudi med države, ki imajo najizdatnejše vodne vire, čeprav ti niso časovno in prostorsko enakomerno razporejeni. Povprečna letna količina padavin, ki napaja površinske in podzemne vode, je 1500 mm. Količina padavin se stopnjuje od vzhoda proti zahodu države. Tekoče vode v Sloveniji oblikujejo gosto rečno mrežo. Vodotoki so zaradi kamninske sestave in razgibanosti terena večinoma krajši, kar 22 % vodotokov je krajših od 25 km (Bat idr., 2003).

Rečna mreža ni povsod po državi enako gosta, kar je predvsem posledica hidroloških razmer. Redko rečno mrežo ima predvsem dinarska Slovenija. Med najbolj namočena območja spadajo visoke kraške planote, ki imajo zaradi podzemne vode velik vodobilančni presežek. Zelo podobne razmere so v kraškem alpskem svetu, le da tukaj območja brez rečne mreže niso tako prostrana. Redko rečno mrežo najdemo še v predelih Slovenije, kjer se nahajajo prodna polja z globoko podzemno vodo. Na območjih, kjer pa so kamnine slabo prepustne, je rečna mreža povsod gosta (Bat idr., 2003).

Slovenija je razdeljena na dve vodni območji: 81 % (16 423 km) ozemlja spada povodju reke Donave, ostalih 19 % pa povodju Jadranskega morja. Od tega izvira iz Slovenije 56 % pretečene vode, ostalo pa priteče iz sosednji držav, največ iz avstrijskih rek Drave in Mure (Bat idr., 2003).

V Sloveniji so glavni vir pitne vode podzemne vode, se pa za pitje uporablja tudi površinske vode in v nekaterih redkih primerih tudi padavinske vode.

2.1 Površinski viri pitne vode

Med površinske vode štejemo reke, potoke, jezera, umetne akumulacije in tudi morja. Površinska voda je veliko bogatejša z mikroorganizmi in suspendiranimi snovmi in je tudi veliko bolj podvržena sezonskim nihanjem, ki so posledica meteoroloških in antropogenih dejavnosti (Brenčič idr., 1998). Oskrba s pitno vodo neposredno iz površinskih voda zaradi slabe kvalitete vedno bolj izgublja na pomenu. Danes se površinska voda le še redko kje uporablja kot vir pitne vode, saj se pogosteje uporablja tehnološke vode, kjer so zahteve glede kvalitete veliko manjše (Bat idr., 2003).

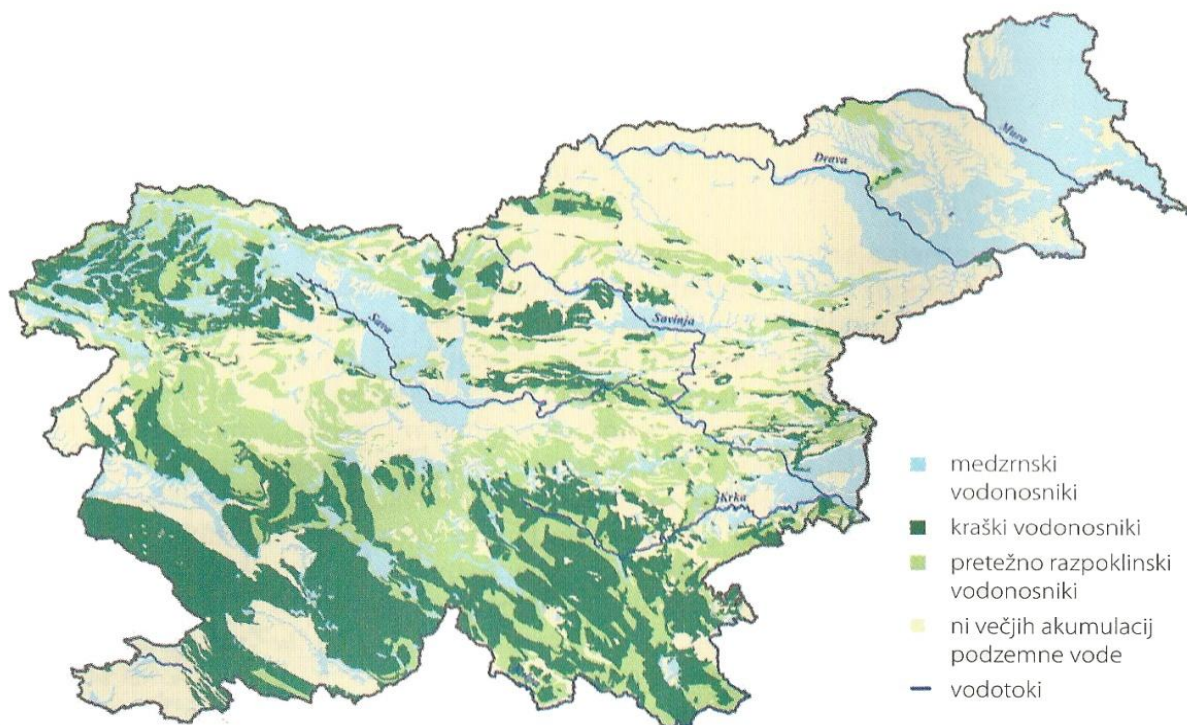
2.2 Podzemni viri pitne vode

Slovenija ima zelo bogate zaloge podzemne vode, ki so primerne kakovosti, in prav zato je podtalnica vir pitne vode kar za 97 % slovenskega prebivalstva (Mali, 2008). V primerjavi s površinskimi vodami ima podzemna voda številne prednosti, kot so na primer organizmu primerna vsebnost mineralnih snovi, sorazmerno stalna sestava ter nižja vsebnost skupnega organskega ogljika in mikroorganizmov (Uhan in Krajnc, 2003). Torej je neonesnažena podzemna voda v večini primerov ustrezna za pitje brez kakršnekoli predhodne kemijske ali fizikalne obdelave, ki bi iz vode odstranila zdravju škodljive snovi in mikroorganizme, ki pa so v površinski vodi pogosto prisotni (Andjelov idr., 2013).

2.2.1 Vodonosniki

Podzemna voda je skladiščena v zmerno do visoko prepustnih sedimentih kamninah, ki jih imenujemo vodonosniki. Ti se lahko nahajajo več sto metrov pod površjem ali pa le nekaj metrov pod njim (Kakovost podzemne vode, 2009). Vodonosnik je sestavljen iz nasičene in nenasičene cone. Nasičena cona se drugače imenuje tudi omočeni del, kar pomeni, da je to območje, kjer se zadržuje voda. Nenasičeni del vodonosnika pa je suhi del, ki se nahaja nad omočenim delom (Prestor in Brenčič, 1999). Vodonosnike lahko razdelimo glede na izdatnost in tip poroznosti ali prepustnosti. Podrobneje jih delimo na vodonosnike z medzrnsko, razpoklinsko in kraško-razpoklinsko poroznostjo. Kadar sta ne nekem območju dva tipa vodonosnika, to imenujemo kombinirani vodonosnik. Približno 33,2 % površja Slovenije je zgrajenega iz kamnin s kraško-razpoklinsko poroznostjo, 14,2 % predstavljajo sedimentne kamnine z razpoklinsko poroznostjo in 19,8 % površja prodno-peščene naplavine z medzrnsko poroznostjo (Mali, 2008).

Razpoložljivost vode v vodonosniku je določena z zalogo in obnavljanjem vode. Zaloge vodonosnika se obnavljajo z napajanjem vodonosnika. Kadar se zaradi pretiranega črpanja presežejo dinamične zaloge, se začnejo izkoriščati statične zaloge, kar vodi v siromašenje vodonosnika (Poročilo o stanju okolja, 2002). Po podatkih Agencije Republike Slovenije za okolje se na 41 % vodomernih mest opaža upadanje gladin podzemne vode, zviševanje se pojavlja le pri 20 % vodomernih postaj, za ostali 39 % pa stanje ni poznano (Poročilo o stanju okolja, 2002).



Slika 1: Tipi vodonosnikov v Sloveniji. (Vir: Varovanje virov pitne vode v Sloveniji, 2011.)

3. STANJE PRESKRBE S PITNO VODO

V preteklosti so vir pitne vode predstavljali izviri, potoki ali deževnica, kasneje so izkopavali plitve vodnjake, danes pa se poskuša z vrtnjem zajeti vodo čim globlje v vodonosnikih.

V Sloveniji poteka oskrba s pitno vodo preko sistemov javne oskrbe ali z neposrednim zajemanjem vode iz vodnega vira oz. samooskrbno. V letu 2009 je bilo na vodovodni sistem priključenih 508.025 priključkov, skupna dolžina celotnega vodovodnega sistema pa je znašala 20.895 km (Čuček, 2011). Dolžina celotnega vodovodnega omrežja se je v letu 2011 povečala za 6,1 %, število porabnikov in njihovih priključkov na omrežje se je povečalo za 1,3 % (6172 priključkov) (SURS, 2012).

V zadnjih desetih letih se je količina načrpane vode v javnem vodovodu zmanjšala za 11 %, znotraj posameznih let so se pojavljala nihanja. Po podatkih Statističnega urada RS je količina porabljene vode v letu 2009 znašala 165,1 milijon m³ vode oz. 82 m³/prebivalca na leto (Čuček, 2011).

3.1 Dobavljena voda v Sloveniji

Voda iz javnega vodovodnega sistema se dobavlja gospodinjstvom in za nekatere druge dejavnosti. Voda, ki se porabi za gašenje požarov, čiščenje cest ipd., pa se ne obračuna (Čuček, 2011).

V Sloveniji je po popisu prebivalstva iz leta 2002 imelo urejeno javno vodovodno oskrbo slabih 91 % prebivalstva Slovenije. Največji delež dobavljene vode, približno 50 %, gre za gospodinjstva. 20% vode se porabi za poslovne objekte in različne dejavnosti, poraba neobračunane vode se je med letoma 2002 in 2009 zmanjšala s 4 na 2 % (Čuček, 2011), v letu 2011 pa se je povečala za 17 % (SURS, 2012). Po podatkih Statističnega urada RS je bilo v letu 2009 iz javnega vodovodnega sistema dobavljeno 166,7 milijona m³ vode za različne namene. Zelo velik delež porabljene vode pa predstavljajo izgube v vodovodnem sistemu (25 %), kar poleg slabe kvalitete vode predstavlja glavni problem pri oskrbi s pitno vodo. Izgube vode se pojavljajo predvsem zaradi pokvarjenih in zastarelih vodovodnih sistemov. Izguba vode se je v zadnjem desetletju zmanjševala, od leta 2002 se je zmanjšala za 12 %, a je v letu 2009 še vedno znašala 45 milijonov m³ vode (Čuček, 2011). Med letoma 2010 in 2011 se je izguba vode povečala za 6 % (SURS, 2012).

Tabela 1: Količine vode, zagotovljene za javni vodovod v letu 2011.

	SKUPAJ (v 1000 m ³)	Podzemna voda	Izviri podzemne vode	Izviri podzemne vode s površinskim dotokom	Tekoče vode	Umetne bogavitve	Drugo
SLOVENIJA	169.084	94.992	53.671	16.148	2.980	1.283	10
11 Povodje Donave	147.163	91.952	44.001	6.937	2.980	1.283	10
111 Porečje Save	111.333	62.565	38.989	6.789	2.980	0	10
131 Porečje Drave	28.565	22.232	4.956	94	0	1.283	-
141 Porečje Mure	7.265	7.155	56	54	0	-	-
22 Povodje Jadranskega morja	21.921	3.040	9.670	9.211	0	-	-
212 Povodje jadranskih rek	10.707	2.795	860	7.052	0	-	-
222 Povodje Soče	11.214	245	8.810	2.159	0	-	-

(Vir: Medmrežje 8)

4. KAKOVOST PODZEMNE VODE

V Sloveniji je podtalnica vir večine vode namenjene za pitje. V nadaljevanju smo se zato osredotočili na opis stanja podzemne vode v Sloveniji.

Na kvaliteto podzemne vode vpliva ranljivost vodonosnikov ter dejavnosti, ki potekajo na nekem območju.

Mehanizmi onesnaženja podzemne vode so odvisni od vrste vodonosnika, sestave, debeline nezasičene plasti, torej ranljivosti vodonosnika. Obremenjenost vodonosnika pa je odvisna tudi od vira onesnaževanja ter kemijskih in fizikalnih lastnosti snovi, ki obremenjujejo vodo. Onesnaženje lahko vodonosnik doseže po različnih poteh, in sicer z infiltracijo površinske vode, z izpiranjem površja, neposrednim odvajanjem odpadnih voda v podzemno vodo ali z zatekanjem voda iz zaledja. Snovi, ki onesnažujejo vodo, se spirajo s površja skozi nezasičeno cono in onesnaženje počasi prenašajo do podzemne vode. Zelo velik del teh škodljivih snovi se med pretakanjem veže na humusne in mineralne snovi in se na ta način kopiči v nezasičenem delu vodonosnika (Uhan idr., 2003).

V ravninskih rečnih dolinah, kjer prevladujejo vodonosniki z medzrnsko poroznostjo, so idealni pogoji za kmetijstvo, razvita pa je tudi industrija in različne obrtne dejavnosti. Tudi poselitev in prometna infrastruktura sta veliko gostejši kot na hribovitih predelih ali predelih, ki so pokriti z gozdom. Vsi ti dejavniki predstavljajo veliko tveganje za onesnaženje podzemne vode. Voda v vodonosnikih je po podatkih monitoringa obremenjena z nitrati in pesticidi, kar je posledica intenzivnega kmetijstva na teh območjih, nekateri vodonosniki pa so onesnaženi tudi s težkimi kovinami in organskimi topili. Na območjih, kjer prevladujejo kraški in razpoklinski vodonosniki, pa so obremenitve in onesnaženje vode navadno manjše, saj je poselitev na teh območjih redkejša, raba prostora je manj intenzivna, površje pa je

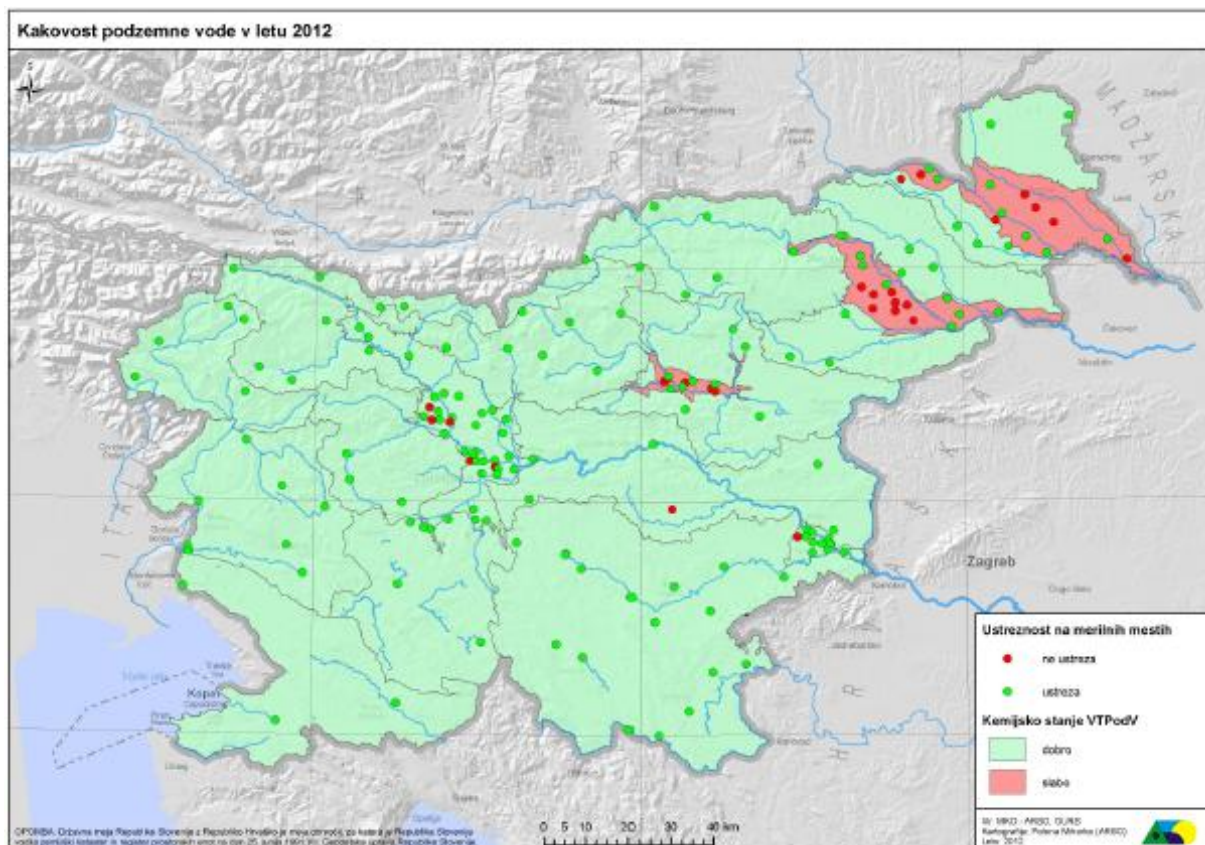
navadno poraščeno z gozdom, ki je tudi naravna zaščita podzemne vode. Vendar so tudi ti vodonosniki ogroženi, predvsem zaradi komunalnih odplak in nenadzorovanih divjih odlagališč odpadkov. V podzemni vodi razpoklinskih in kraško-razpoklinskih vodonosnikov so prisotne tudi številne bakterije, ki so pogosto fekalnega izvora (Uhan idr., 2003).

4.1 Pregled stanja podzemne vode v Sloveniji

Vsi podatki in informacije o stanju podzemne vode v Sloveniji so povzeti iz naslednjih poročil:

- Vode v Sloveniji: Ocena stanja voda za obdobje 2006-2008 po določilih okvirne direktive o vodah (Mikulič idr., 2010).
- Ocena kemijskega stanja podzemnih voda v Sloveniji v letu 2011 (Gacin, Mihorko, 2012).
- Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji: Poročilo o monitoringu v letu 2011 (Andjelov idr., 2012).
- Ocena kemijskega stanja podzemnih voda v Sloveniji v letu 2012 (Gacin, Mihorko, 2013).

V Sloveniji se prekomerna obremenjenost podzemnih voda zaradi intenzivnih človekovih dejavnosti pojavlja predvsem v severovzhodnem delu Slovenije in v okolici Celja. Slabo kemijsko stanje je v letu 2012 bilo določeno za Savinjsko, Dravsko in Mursko kotlino. Podzemna voda je na teh območjih čezmerno obremenjena z nitrati, pesticidi ter njihovimi razgradnimi produkti, pogosto pa so presežene tudi mejne vrednosti lahkoahlapnih halogeniranih ogljikovodikov. V letih od 1998 do 2012 rezultati monitoringa kakovosti podzemne vode kažejo, da koncentracije nitratov, atrazina in razgradnega produkta desetil-atrazina na najbolj obremenjenih vodnih telesih upadajo. Onesnaženje z omenjenimi snovmi se pojavlja tudi v Savski kotlini in na Ljubljanskem barju, a so po ocenah, da onesnaženje še ne zajema več kot 30 % obsega vodnega telesa, določili sicer dobro stanje, raven zaupanja pa so zaradi dejavnosti, ki potekajo na območju in trendov preteklih let, ocenili na srednjo.



Slika 2: Kakovost podzemne vode v letu 2012. (Vir: Ocena kemijskega stanja podzemne vode v letu 2012.)

Po podatkih Poročila o količinskem stanju podzemnih voda v Sloveniji 2011 se zniževanje gladine podzemnih voda pojavlja na vodnih telesih Savska kotlina in Ljubljansko barje, Savinjska kotlina, Dravska kotlina, Krška kotlina in Murska kotlina. To so območja s prevladujočo medzrnsko poroznostjo. Razlogi za zniževanje gladine podzemnih voda so zelo različni, največkrat pa je krivo človekovo poseganje v naravo.

Tabela 2: Trend gladine podzemne vode na merilnih mestih vodnih teles podzemnih voda s prevladujočo medzrnsko poroznostjo za obdobje 1990-2011.

Vodno telo podzemne vode	Število merilnih mest	Trend					Delež merilnih mest z upadajočim trendom gladin podzemnih vod (%)
		+	(+)	O	(-)	-	
VTPodV_1001 Savska kotlina in	23	2	1	1	7	12	83
VTPodV_1002 Savinjska kotlina	13	0	2	5	5	1	46
VTPodV_1003 Krška kotlina	17	0	1	6	5	5	59
VTPodV_3012 Dravska kotlina	16	1	2	5	5	3	50
VTPodV_4016 Murska kotlina	21	0	4	13	3	1	19
Skupaj	90	3	10	30	25	22	52

Legenda:
 (+) statistično neznačilen trend zviševanja gladine podzemne vode ($0,05 < \alpha < 0,5$);
 (-) statistično neznačilen trend zniževanja gladine podzemne vode ($0,05 < \alpha < 0,5$);
 + statistično značilen trend zviševanja gladine podzemne vode ($\alpha < 0,05$);
 - statistično značilen trend zniževanja gladine podzemne vode ($\alpha < 0,05$);
 O trend ni izražen ($\alpha > 0,5$)

(Vir: Količinsko stanje podzemnih voda v Sloveniji: poročilo o monitoringu 2011)

4.1.1 Savinjska kotlina

V letu 2012 je bilo vodno telo Savinjske kotline ocenjeno kot slabo, saj je bila na kar 54,6 % merilnih mest voda neustrezne kakovosti, medtem ko je bilo v letu 2011 neustreznih merilnih mest 45,5 %. Sklenjeni in izdatni vodonosniki Savinjske kotline so močno obremenjeni zaradi kmetijskih dejavnosti in razpršene poselitve. Za podzemno vodo v Savinjski kotlini največjo obremenitev predstavljajo nitrati. V letu 2011 je na 5 od 11 merilnih mest bil presežen standard kakovosti za nitrate. Med najbolj kritične lokacije zaradi onesnaženja z nitrati in večletnega preseganja standardov kakovosti spadajo Šempeter, Levec, Medlog in Orla vas. Kljub dolgoletnemu onesnaževanju vodnega telesa se v zadnjih nekaj letih vrednosti nitratov v vodnem telesu Savinjska kotlina znižujejo. Prav tako se znižujejo vrednosti atrazina in desetil-atrazina.

V vodnem telesu Savinjska kotlina težav ne predstavlja samo slabo kemijsko stanje, ampak tudi slabo količinsko stanje. Med leti 1990 in 2010 se je na 31 % merilnih mest pojavljal trend zniževanja gladin, ta pa se je do leta 2011 povečal na kar 46 %. Trend zniževanja gladin se pojavlja na šestih merilnih mestih, izmed katerih izstopajo Latkova vas na Braslovškem polju, Šempeter na Spodnjėsavinjskem polju in Žalec.

4.1.2 Dravska kotlina

Tudi vodno telo Dravska kotlina že dlje časa spada med močno obremenjena območja. V letu 2012 je bilo kemijsko in količinsko stanje ocenjeno kot slabo. Vodonosniki Dravske kotline so močno obremenjeni zaradi kmetijskih dejavnosti, kar se kaže predvsem v tem, da je voda na kar 44,4 % merilnih mest neustrezne kakovosti, kar je 9,4 % več kot v letu 2011. Slabo kemijsko stanje se pojavlja predvsem zaradi visoke vsebnosti nitratov, atrazina, desetil-atrazina in kroma. Preseganje standardov kakovosti je najbolj izrazito v osrednjem delu vodnega telesa. V letu 2011 so bili standardi kakovosti zaradi nitratov preseženi na šestih od dvajsetih merilnih mest. Lokacije, kjer se že vrsto let koncentracije nitratov gibljejo krepko nad standardom kakovosti, so Brunšvik, Šikole, Kidričevo in Lancova vas. Prav tako se na območjih Brunšvik, Šikole, Kidričevo in Skorba že vrsto let pojavlja onesnaženje z atrazinom in desetil-atrazinom, koncentracije pa se še vedno gibljejo nad standardi kakovosti. Poleg kmetijstva zelo veliko grožnjo za vodno telo predstavlja tudi industrija in s tem onesnaženje s kromom, ki je med letoma 2010 in 2012 narastlo.

Vodotoki Dravskega polja se večinoma napajajo s padavinami in potoki, ki pritečejo iz Pohorja in okolice. V letu 2011 je bil trend zniževanja gladine za 12 % večji kot je bil med leti 1990 in 2010, na kar je vplivala predvsem huda suša v letih 2002, 2003 in 2011 in reguliranje pohorskih vodotokov.

4.1.3 Murska kotlina

Vodno telo Murska kotlina je že ves čas spremljanja stanja kakovosti podzemne vode močno obremenjeno in je tudi v letu 2012 imelo slabo kemijsko stanje. Število neustreznih merilnih mest je v letu 2011 doseglo 33,3 %, v letu 2012 pa se je število neustreznih merilnih mest povzpelo na 46,2 %, kar je posledica kmetijske in industrijske dejavnosti na tem območju. Vodonosniki so v Murski kotlini zelo plitvi in pogosto brez krovniplast, ki so naravna

zaščita. Centralni del Murske kotline predstavlja območje, ki je najbolj onesnaženo. Na merilnih mestih Lipovci in Odranci so bile v letu 2011 presežene vrednosti nitratov, atrazina in desetil-atrazina, a se kljub temu onesnaženje iz leta v leto zmanjšuje. V osrednjem delu Murske kotline se pojavlja tudi močnejše lokalno onesnaženje s kloriranimi organskimi topili, kar je posledica industrijske dejavnosti na tem območju.

V letu 2011 se je trend zniževanja gladine pojavil le na štirih merilnih mestih. Na tem območju se pojavljajo zelo velika nihanja glede gladine vode, še posebej med leti 2010 in 2011, saj je bilo leto 2010 eno izmed najbolj vodnatih v zadnjih štiridesetih letih, 2011 pa eno izmed najbolj sušnih. Do zniževanja trendov gladine na Apaškem polju je prišlo predvsem zaradi izsuševanja kmetijskih površin zaradi izkopov proda in peska pod gladino podzemne vode ter erozijskega poglobljanja.

4.1.4 Savska kotlina in Ljubljansko barje

V letu 2011 je bilo za vodno telo Savska kotlina in Ljubljansko barje ocenjeno dobro kemijsko stanje, saj je bilo neustreznih 12,5 % merilnih mest. Je pa raven zaupanja srednja, saj na omenjenih območjih poteka intenzivna kmetijska in industrijska dejavnost, kar bi lahko povzročilo razširitev onesnaženja na večji del vodnega telesa. Že leta se opaža onesnaženje z nitrati, atrazinom, desetil atrazinom, tetrakloroetenom in kromom. Med najbolj onesnažena območja uvrščamo Sorško, Krajnsko in Ljubljansko polje. Vsebnosti nitratov, atrazina in desetil-atrazina se v zadnjih letih znižujejo. Tetrakloroeten in krom, ki se pojavljata kot posledica industrije, sta pod standardom kakovosti in v zadnjih letih upadata.

Vodno telo Savska kotlina in Ljubljansko barje ima največ merilnih mest z izraženim trendom zniževanja gladine podtalnice. Glavni razlog za to je izgradnja hidroelektrarne Mavčiče na Krajnsko-Sorškem polju. Takoj po izgraditvi jezua in polnjenju zadrževalnega prostora se je gladina zvišala za nekaj metrov. Nato so začeli zamuljevati brežine in dno zadrževalnega jezera, kar je povzročilo manjše napajanje podtalnice in s tem zniževanje gladine podtalnice.

4.1.5 Krška kotlina

Vodno telo Krška kotlina ima sicer dobro kemijsko stanje, a se na tem območju vseeno v manjših količinah pojavljajo nitrati, atrazin in desetil-atrazin. Razlog za to je intenzivna kmetijska dejavnost, ki se izvaja na tem območju.

Večjo težavo kot slabo kemijsko stanje pa na tem območju predstavlja zniževanje gladine podtalnice, kar se je v letu 2011 pokazalo na kar desetih merilnih mestih, kar je za 12 % več kot med leti 1990 in 2010. Razlogi za trend zniževanja gladine podtalnice so erozijsko-sedimentacijski procesi v rečni strugi Save, avtocestne drenaže in izsuševanje zemljišč.

4.2 Spremljanje stanja kakovosti podzemne vode

Monitoring kakovosti podzemne vode se v Sloveniji izvaja že vse od leta 1987. Na območju Slovenije je v letu 2005 bilo 15 vodnih teles podzemne vode, ki so se povezovala v mrežo 123 merilnih mest. Mreža merilnih mest je gostejša na območjih, kjer je podzemna voda zaradi intenzivne rabe prostora bolj onesnažena. To so območja vodonosnikov z medzrnsko poroznostjo ali aluvialnih vodonosnikov. Na teh so objekti mreže vrtin, vodnjaki in avtomatske merilne postaje. Na območjih, kjer pa se pojavljajo vodonosniki s kraško-razpoklinsko poroznostjo, merilne postaje predstavljajo vodnjaki, izviri in zajeti izviri. Na vsakem merilnem mestu se na leto 2 do 3-krat odvzame vzorce podzemne vode in se jih podrobno analizira. V teh vzorcih se analizira med 130 in 165 fizikalnih, kemijskih in bioloških parametrov (Andjelov idr., 2013), katerih mejne vrednosti koncentracij so določene v Pravilniku o pitni vodi (Ur. l. št. 19, 2004).

Med fizikalne vplive onesnaženja voda štejemo parametre, ki povzročajo vidne spremembe vode, okusa, vonja in primesi. Vzorce podzemne vode se testira za naslednje snovi: suspendirane trdne snovi, barvo, motnost in kalnost, okus in vonj (Ur. l. št. 19, 2004).

Najpomembnejši kemijski parametri so raztopljeni organski in anorganski delci, trdota, alkalnost, kovinski ioni, organske spojine, fluoridiziranost ter fosforjeve in dušikove spojine (Samec, 2006).

Naravna voda vsebuje ogromno bioloških sestavin, med katerimi so najpomembnejši mikroorganizmi, prav ti pa so mnogokrat pokazatelji prisotnosti onesnaženja vode (Samec, 2006). V vodi namenjeni za pitje so nevarni patogeni organizmi, kot so različne bakterije (*Escherichia coli*, *Enterokoki*, število kolonij pri 22 °C, število kolonij pri 37 °C, *Pseudomonas aeruginosa*), virusi in praživali (protoza).

Kvaliteta naravnih vodnih virov pogojuje stanje pitnih voda, za katere veljajo zelo strogi standardi in predpisi. Voda ne sme vsebovati nobenih dispergiranih snovi ali primesi, ki bi povzročale motnost in kalnost. Biti mora tudi brez barve, okusa in vonja. Organske snovi in toksične sestavine morajo biti popolnoma odstranjene, medtem ko so lahko anorganske snovi prisotne le v zmernih, točno določenih količinah, ki ne predstavljajo grožnje za zdravje ljudi (Samec, 2006). Prav tako pitna voda ne sme vsebovati mikroorganizmov, parazitov in njihovih razvojnih oblik, ki bi lahko predstavljale grožnjo za zdravje ljudi (Ur. l. št. 19, 2004). V primeru, da stanje kakovosti podzemne vode ne ustreza omenjenim kriterijem, to pomeni, da je stanje vode slabo oz. neustrezno. Onesnaženje, ki je povzročilo slabo stanje naravnega vodnega sistema, se nato poskuša lokalizirati, ugotoviti vzrok in nato onesnaženje odpraviti. Kadar pa so vse vrednosti parametrov enake ali nižje od določenih standardov, je stanje pitne vode ustrezno (Andjelov idr., 2013).

5. METODE PRIPRAVE PITNE VODE ZA PITJE

Podzemna voda navadno vsebuje različne raztopljene minerale, v določenih primerih lahko vsebuje tudi večje koncentracije kovin, izjemoma pa se lahko pojavi tudi onesnaženost z radioaktivnimi elementi. V Sloveniji je približno ena tretjina zalog podzemne vode ustrezne kakovosti, da se lahko dovaja do potrošnikov brez kakršnekoli obdelave. Kljub temu da se podzemna voda pred črpanjem iz vodonosnikov filtrira na naraven način skozi debele plasti kamnin in prsti, to vedno ne zagotavlja zadostne zaščite vode pred mikroorganizmi, virusi in organskimi onesnažili. Zato je potrebno vodo pred uporabo za pitje ustrezno pripraviti. Postopki priprave in čiščenja podzemne vode so v primerjavi s postopki za čiščenje površinskih voda manj kompleksni (Pobrežnik idr. 2011).

Za pripravo pitne vode se uporablja klasične (konvencionalne) in napredne (sodobne) postopke. Postopki, ki se uporabljajo za pripravo površinskih voda, so enaki tistim, ki se uporabljajo za podzemno vodo. Postopki in koraki so odvisni predvsem od kvalitete vodnih virov. Konvencionalni postopek obsega najmanj en tehnološki postopek ali kombinacijo tehnoloških postopkov. Metode, ki se najpogosteje uporabljajo za čiščenje pitne vode, so sedimentacija, koagulacija/flokulacija, filtracija, dezinfekcija s kloriranjem, UV dezinfekcija in dezinfekcija z ozonom (Pobrežnik idr. 2011).

6. ONESNAŽEVANJE VIROV PITNE VODE

6.1 Točkovni viri onesnaževanja

Točkovni vir onesnaževanja je vir enega ali več onesnaževal, ki jih lahko geografsko določimo in ponazorimo kot točko na karti, od koder se onesnaževanje širi v okolico, vpliv pa se z oddaljevanjem zmanjšuje (Poročilu o stanju okolja, 2002). Imenujemo jih tudi razpršeni viri onesnaževanja oziroma obremenitev v primeru onesnaženja, ki ga povzroča razpršena poselitev in kmetijstvo ter linijski viri obremenitev v primeru onesnaženja, ki ga povzroča transport.

V Sloveniji so najpogostejši viri točkovnega onesnaževanja neurejene kanalizacije in s tem direktni izpusti, nenadzorovane deponije in divja odlagališča, gradbišča ter kamnolomi, čistilne naprave, dimniške emisije in razlitje podzemnih cistern v podtalnico (Medmrežje 1). Točkovno onesnaženje pa lahko povzroči tudi odlaganje gošč greznic, kompostiranih odpadkov, komunalnih in drugih čistilnih naprav ter rečnih in jezerskih muljev in sedimentov, če ti seveda vsebujejo preveč nevarnih snovi (Zupan idr., 2008).

6.2 Netočkovni viri onesnaževanja

Razpršeni vir je vir enega ali več onesnaževal, ki jih ne moremo geografsko določiti na karti kot točko, ampak izvirajo iz določenega območja in lokacija ni točno znana (Poročilo o stanju okolja, 2002). Imenujemo jih tudi razpršeni viri onesnaževanja oziroma obremenitev v primeru onesnaženja, ki ga povzroča razpršena poselitev in kmetijstvo ter linijski viri obremenitev v primeru onesnaženja, ki ga povzroča transport.

Vire netočkovnega onesnaževanja predstavljajo predvsem industrija, kmetijstvo, turizem, emisije iz prometa, poselitev, odtekanje iz območij, kjer živijo divje živali, območja brez urejene kanalizacije, razni atmosferski pojavi (kisli dež), gradnja jezov in gradbeništvo. Dolgoročno gledano predstavljajo netočkovni viri veliko večjo grožnjo za okolje, predvsem sezonsko onesnaževanje okolja, ki se pojavlja zlasti v kmetijstvu in turizmu (Zupan idr., 2008).

6.3 Hidromorfološke obremenitve

Hidromorfološke obremenitve vodotokov so tiste, ki povzročajo spreminjanje hidrološkega režima (dinamika in količina vodnega toka), kontinuitete toka (vzdolžna povezanost toka) in morfoloških razmer (spreminjanje smeri, globine struge, spreminjanje strukture obrežnega pasu in struge).

Hidromorfološke obremenitve delimo na:

- Morfološke – med morfološke obremenitve štejemo predvsem fizično spreminjanje rečnih strug vodotokov (izravnavanje rečnih teras, utrjevanje brežin in rečnega dna, odstranjevanje obrežne vegetacije). Glavne morfološke obremenitve povzročajo regulacija strug in odlaganje materialov, da bi upočasnili tok, kar pa povzročajo zmanjševanje infiltracije vodotokov, ki napajajo vodonosnike.
- Hidrološke – med hidrološke obremenitve štejemo obremenitve, ki posredno ali neposredno spreminjajo naravni hidrološki režim (odvzemanje vode za različne dejavnosti, zaježitve, melioracijske površine, nihanja vodnih količin zaradi proizvodnje hidroenergije, prekinitve povezave vzdolž struge zaradi pregrad, prekinitve povezave med površinsko in podzemno vodo). Glavne hidrološke obremenitve podzemne vode v Sloveniji predstavljajo izkoriščanje podzemne vode za oskrbo s pitno vodo, za namakanje in zalivanje, odvzem termalne vode iz globokih vodonosnikov in črpanje vode za odvzem toplote (Vmesno poročilo o poteku ..., 2008).

7. PREGLED NAČINOV ZAŠČITE VIROV PITNE VODE

Najboljša rešitev in hkrati tudi najenostavnejša rešitev je zmanjšanje onesnaženja in preprečevanje, da bi onesnaženje vodnih virov sploh nastalo.

Ena izmed metod za preprečevanje nastajanja onesnaževanja je zagotovo ustrezno odvajanje in čiščenje odpadnih voda. Po podatkih Agencije republike Slovenije za okolje iz leta 2012 ima v Sloveniji urejene priključke na čistilne naprave zgolj 55 % prebivalstva, kar je v primerjavi z ostalimi državami v EU zelo malo (Medmrežje 9). To pomeni, da približno polovica prebivalstva še vedno uporablja greznice, ki pogosto niso ustrezne, ali pa direktno odvajajo v bližnji potok, reko, kar povzroča onesnaženje vode z mikroorganizmi in patogenimi organizmi. Prav tako bi bilo potrebno čiščenje odpadnih voda iz industrijske dejavnosti, saj bi s tem zmanjšali zelo izdatne količine odpadnih voda, ki predstavljajo veliko obremenitev za okolje.

Zelo veliko grožnjo za okolje predstavlja tudi intenzivno kmetovanje in s tem odtekanje pesticidov in drugih škodljivih snovi v podzemno vodo. To bi lahko preprečili oz. omilili z dobro kmetijsko prakso, kar pomeni zmanjšano uporabo manj škodljivih škropiv in gnojil, ki se jih v okolje ne vnaša tik pred dežjem. Potrebno bi bilo tudi ustrezno odstranjevanje odpadnih voda, ki nastanejo pri intenzivni živinoreji in uvajanje gojenja kultur z dolgo vegetacijsko dobo.

Čiščenje padavinskih voda s cestišč je ena izmed metod za zmanjševanje netočkovnega onesnaževanja, ki nastaja zaradi prometa. Padavinske vode je potrebno na področju padavin najprej zbrati, jih shraniti v začasnih zadrževalnikih in jih nato očiščene počasi in kontrolirano spustiti v podtalnico ali površinske vode.

7.1 Metode preventivne zaščite pitne vode

Preventivna metoda, ki se v Sloveniji izvaja za varovanje vodnih virov pred točkovnimi in razpršenimi viri onesnaženja, je izvajanje režima vodovarstvenih območij.

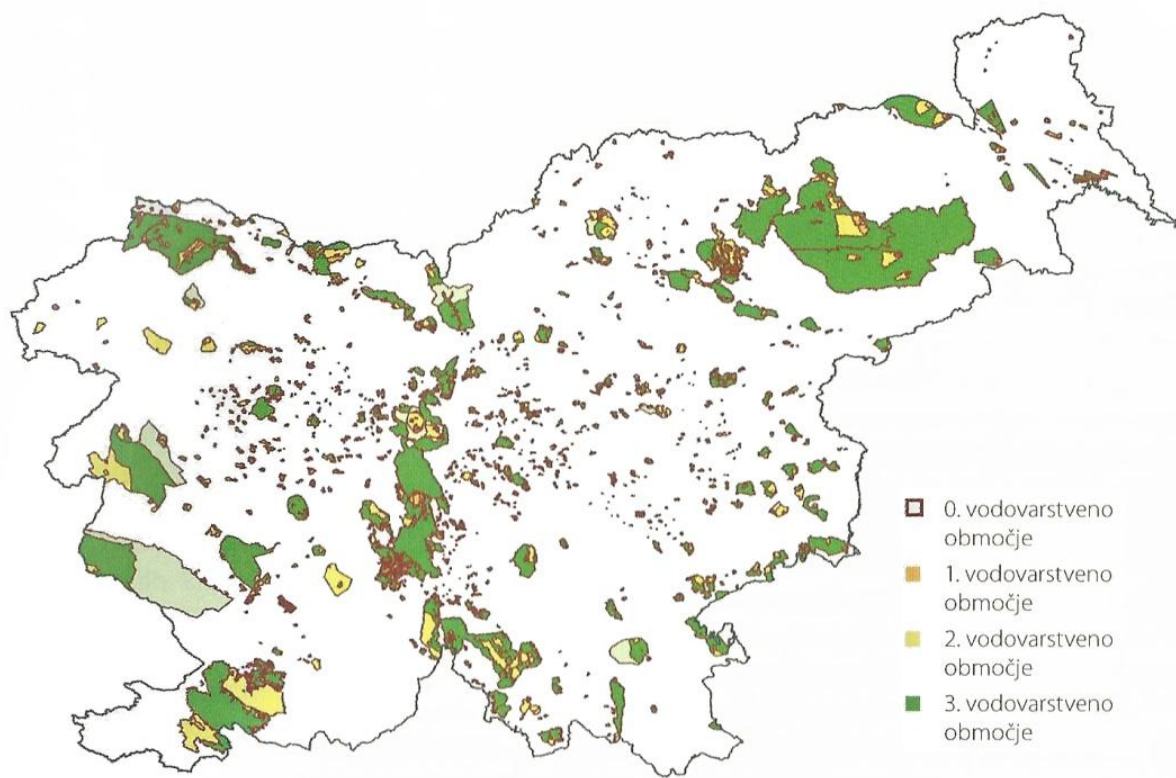
7.1.1 Varovanje pitne vode z varstvenimi pasovi

Varstveni pasovi so območja okrog vodnega vira, na katerih veljajo različne stopnje omejitve rabe prostora z namenom zaščite pitne vode pred onesnaženjem. V Sloveniji vodovarstvena območja obsegajo skoraj petino Slovenije. Poleg vodnih teles, ki so glavni vir za oskrbo s pitno vodo, so zavarovani tudi vodonosniki (Urbanc idr. 2011). Pri določanju velikosti posameznih zaščitnih pasov se upošteva več dejavnikov, predvsem vrsto vodnega objekta, geološke, hidrološke, morfološke in topografske značilnosti terena, pomembnost vira oziroma kapacitete vodnega objekta, hitrost toka podtalnice, debelino plasti med podtalnico in zemljo. Ob upoštevanju vseh dejavnikov pa se potem določi vrsto varstvenega pasu (Medmrežje 7):

- Območje zajetja (VVO0) – je ograjeni del neposredno ob zajetju in varuje pred neposrednim vnosom onesnaževal ob zajetju ter poškodovanjem zajetja.
- Najožje območje (VVO1) – tukaj so naravne možnosti razredčenja onesnaženja zelo majhne, onesnaževala pa zelo hitro prispejo do zajetja, zato je tukaj najstrožji režim varovanja. Območje je namenjeno izključno izvajanju dejavnosti oskrbe s pitno vodo.
- Ožje območje (VVO2) – ima stogi režim varovanja in je namenjen neposredni zaščiti vodnega vira pred onesnaževanjem. Zadrževalni čas je na teh območjih dovolj dolg, redčenje onesnaževal je zadostno in čas za ukrepanje ob ekoloških nesrečah je dovolj dolg.
- Širše območje (VVO3) – ima blažji režim varovanja, ki je namenjen varovanju vodnega toka pred onesnaženjem, ki teče proti vodnemu viru. Zajema celotno napajalno območje vodnega vira, tveganje za onesnaženje vodnega vira pa je sprejemljivo tudi za bolj obstojne oz. slabo razgradljive ter radioaktivne snovi (Urbanc idr., 2011).

Na notranjih območjih je vodovarstveni režim določen v obliki omejitev, prepovedi in zaščitnih ukrepov, nanaša pa se na dejavnosti povezane s kmetijstvom, gradbenimi posegi in lociranjem infrastrukturnih objektov (Urbanc idr., 2011).

V Sloveniji večino vodovarstvenih območij prekrivajo gozdovi (62,8 %). Na 28,2 % površja se nahajajo kmetijska zemljišča, poseljene površine pa so na zgolj 0,5 % površine vodovarstvenih območij (Urbanc idr., 2011).



Slika 3: Območja vodovarstvenih pasov v Sloveniji. (Vir: Varovanje virov pitne vode v Sloveniji, 2011.)

8. PREGLED ZAKONODAJE PREDMETNEGA PODROČJA

Oskrba s pitno vodo in zagotavljanje zdravstveno ustrezne vode je področje, ki je zaradi svoje kompleksnosti razdeljeno med različna ministrstva. Oskrba s pitno vodo je predpisana z Zakonom o varstvu okolja (Ur. l. RS št. 41/2004, 17/2006, 20/2006, 28/2006, 49/2006, 66/2006, 112/2006, 33/2007, 57/2008, 70/2008, 108/2009, 108/2009, 48/2012, 57/2012, 97/2012, 92/2013) in Zakonom o vodah (Ur. l. RS št. 67/2002, 110/2002, 2/2004, 41/2004, 57/2008, 57/2012, 100/2013). Ugotavljanje in ocena varnosti vode sta opredeljena v Pravilniku o pitni vodi (Ur. l. RS št. 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006, 35/2009), zahteve za oskrbo prebivalstva pa so opredeljene v Pravilniku o oskrbi s pitno vodo (Ur. l. RS št. 35/2006, 41/2008, 28/2011, 88/2012).

Varstvo voda je prav tako predpisano z Zakonom o varstvu okolja (Ur. l. RS št. 41/2004, 17/2006, 20/2006, 28/2006, 49/2006, 66/2006, 112/2006, 33/2007, 57/2008, 70/2008, 108/2009, 108/2009, 48/2012, 57/2012, 97/2012, 92/2013) in Zakonom o vodah (Ur. l. RS št. 67/2002, 110/2002, 2/2004, 41/2004, 57/2008, 57/2012, 100/2013). Podzakonski akti Zakona o varstvu okolja na področju varstva voda so razvrščeni na področje ukrepov varstva okolja (emisijske vrednosti, pravila ravnanja in standardi kakovosti vode), spreminjanje stanja okolja, javne službe varstva okolja in okoljske dajatve. Med ukrepe varstva okolja spada tudi uredba o stanju podzemnih voda (25/2009), področje vodovarstvenih območij pa je predpisano z zakonom o vodah (Ur. l. RS št. 67/2002, 110/2002, 2/2004, 41/2004, 57/2008, 57/2012, 100/2013).

9. EKOREMEDIACIJE

Za varovanje okolja in narave ter reševanje okoljskih problemov je razvitih zelo veliko pristopov. Pristopi, pri katerih se uporablja visoko tehnološke rešitve, so učinkoviti, a imajo tudi pomanjkljivosti. Pogosto so potrebni ogromni finančni vložki in je zato njihova izvedba omejena. Znanstveniki so s svojim naraščajočim znanjem in poznavanjem okolja, naravnih procesov in ekosistemov odkrili nove pristope za varovanje okolja in obnovo že degradiranih območij (Vovk Korže in Vrhovšek, 2008). Ekoremediacije so metode uporabe naravnih procesov za obnovo in zaščito okolja (Vovk Korže in Vrhovšek, 2007). Definiramo jih lahko tudi kot sonaravno ohranjanje in zdravljenje okolja, saj se z uporabo ERM poveča samoobrambna sposobnost okolja (Vovk Korže, 2006). Mitch in Jorgenson (2004) sta ekološki inženiring ali ekoremediacije opredelila kot »oblikovanje človeške družbe skupaj z njenim naravnim okoljem v korist obeh«. Z ekoremediacijskimi metodami lahko odpravljamo dolgotrajne posledice v okolju, zmanjšamo vplive onesnaževanja, ki ga povzročajo točkovni in razpršeni viri onesnaževanja, metode pa se lahko uporabljajo tudi pri razpršeni poselitvi in za zaščito vodnih virov ter odpravo in preprečevanje naravnih katastrof (Vovk Korže in Vrhovšek, 2008).

Ekoremediacije so spremljevalne aktivnosti, ki jih je potrebno izpeljati v okolju, kjer se načrtuje nova raba okolja, saj s tem omogočimo delovanje ekosistemov kljub dodatnim obremenitvam okolja. Zelo visoko učinkovitost teh metod lahko dosežemo z varovanjem življenjskega prostora, še posebej vodnih virov. Osnovne funkcije ERM so samočistilna sposobnost, puferska sposobnost, večanje biotske pestrosti in zadrževanje vode. Z ERM (fitoremediacija, puferska območja, in rastlinske čistilne naprave) lahko revitaliziramo degradirana območja, čistimo odpadne vode in odstranjujemo čezmerne vsebnosti hranil ali onesnažil (Vovk Korže in Vrhovšek, 2008). Vrhovšek in Vovk Korže (2008) poleg vseh omenjenih lastnosti ERM za izboljšanje kvalitete okolja omenjata še izboljšanje kvalitete zraka, povečanje rekreativnih in izobraževalnih možnosti, dvig prostorske in časovne raznolikosti pokrajine, povečanje biološke produktivnosti, ponovno vzpostavitev ekoloških koridorjev za prehod živali, preprečevanje prekomernega segrevanja in izhlapevanja vode v manjših potokih ter povečanje kvalitete in izgleda pokrajine.

Ekoremediacije so v Sloveniji zanesljiva in trajnostna metoda predvsem zaradi specifičnih naravnih pogojev, med katere štejemo prepletanje klimatskih tipov, hitre prehode med naravnimi enotami, biotsko raznovrstnost in dobro ohranjeno naravno okolje (Vovk Korže in Vrhovšek, 2008).

V nadaljevanju je podan opis različnih ekoremediacijskih metod s katerimi lahko povečamo samočistilne sposobnosti vodotokov, zmanjšamo ali odstranimo posledice točkovnih in netočkovnih virov obremenitev, itd. in s tem hkrati ščitimo podtalne vire pitne vode.

9.1 ERM ukrepi v strugi vodotoka

V preteklosti je človek zelo veliko posegal v krajino. Prav tako se je zaradi dejavnosti, kot je npr. kmetijstvo in poselitev, pogosto pojavljala prevelika raba vodotokov in s tem posledično tudi onesnaževanje. Da bi povečali kmetijske površine in pridobili nove zazidalne površine, so največkrat strugo vodotoka kar izravnali, poglobili, ali jo uredili tako, da ni predstavljala grožnje za naselja in prometno infrastrukturo. S takšnim enostranskim ukrepanjem pa so naredili zelo veliko škodo, saj je bila prekinjena povezava med vodnim in obvodnim svetom, odstranjena vodna ter obvodna vegetacija in spremenjena hidrologija in geomorfologija. Vse to ima za posledico zmanjšanje biotske raznovrstnosti, izgubo samočistilne sposobnosti vodotoka in s tem povečano onesnaženje ter izgubo naravne sposobnosti zadrževanja vode v vodotoku, kar vodi do pomanjkanja vode. Z metodami ERM pa bi lahko ponovno vzpostavili dobro ekološko stanje voda ter tudi ugodno kakovostno in količinsko stanje vodotokov (Vovk Korže in Vrhovšek, 2009, 2006).

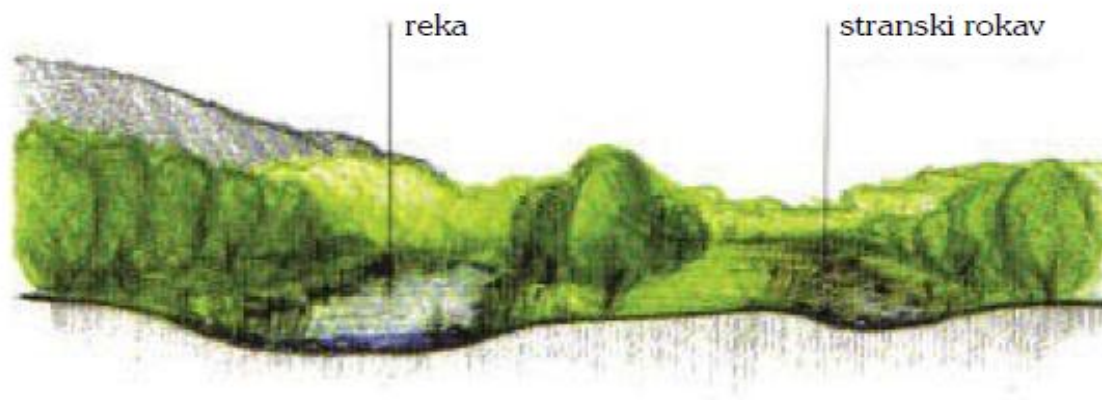
Pri ukrepih v strugi vodotoka so cilji predvsem vzpostavitev naravne stabilnosti reke ali potoka in s tem povečanje biotske raznovrstnosti ter posledično povečanje samočistilne sposobnosti vodotokov (Vovk Korže in Vrhovšek, 2006).

9.1.1 Stranski rokav

Stranski rokavi v naravi nastanejo zaradi spreminjanja meandrov, umetne pa se uporablja za omilitev problemov, ki nastajajo zaradi prevelikega odvzemanja vode.

Umetni stranski rokav se spelje v polkrožnem loku od struge, kar zahteva dodatno zemljišče ob strugi. V del stranskega rokava se za izboljšanje kvalitete vode lahko doda prodni vložek. Problem pomanjkanja vode se rešuje tako, da se vodo v času visokih voda zadrži, nato pa se v sušnih obdobjih nizke pretoke v vodotokih bogati in ohranja ekološko sprejemljiv pretok. S tem, ko se vodo zadrži, se usedajo delci, kar omogoča zadrževanje strupenih in hranilnih snovi.

Stranski rokavi pozitivno vplivajo tudi na habitatno strukturo, samočistilne sposobnosti in zmanjševanje poplavnih valov (Zupančič Justin, 2010).



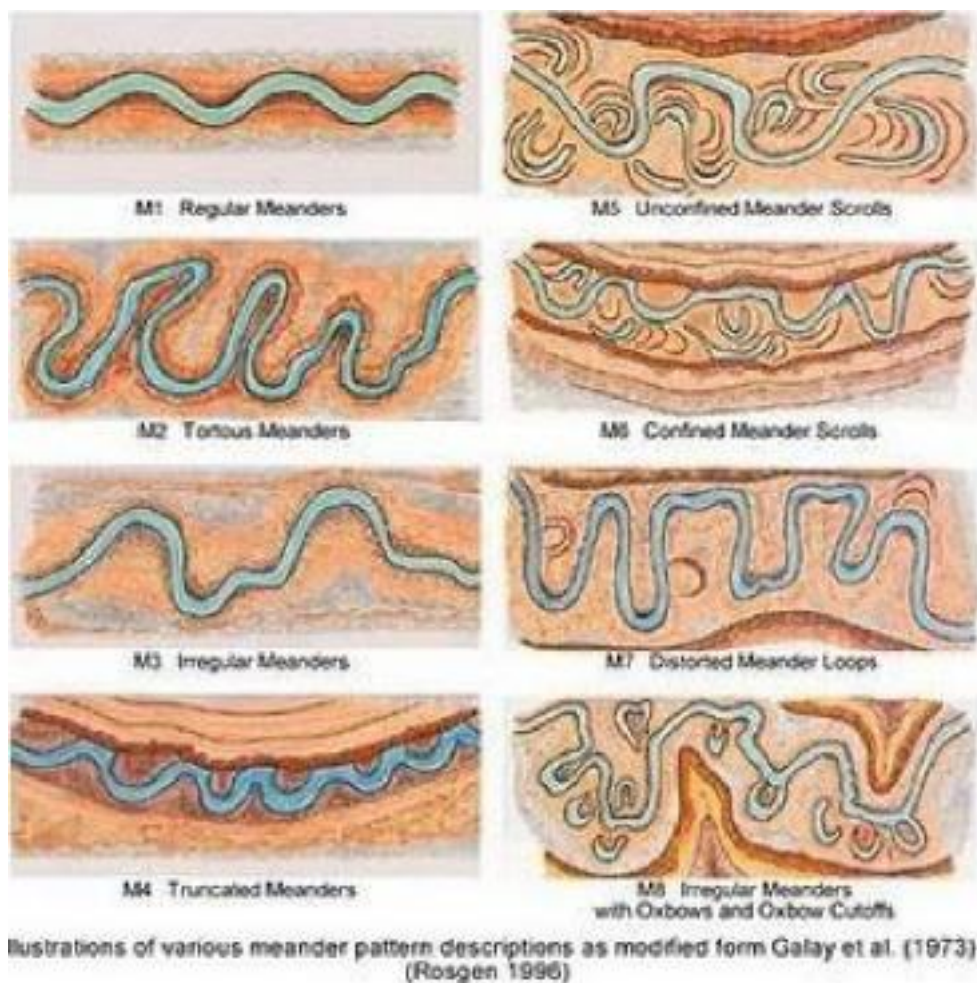
Slika 4: Prikaz stranskega rokava. (Vir: Ekoremediacije, 2007.)

9.1.2 Meandriranje struge

Meander je najnaravnejša oblika vodotoka po pokrajini z zelo majhnim naklonom.

Pri oblikovanju meandrov gre za preoblikovanje struge tako, da se obdrži pozitivne lastnosti meandriranja vodotoka po ravnici. Meandri, ki so načrtovani, niso nikoli enaki, ampak se spreminjajo glede na valovno dolžino in amplitudo. Na začetku se na zunanjih straneh okljukov pojavlja nevarnost erozije, zato jih je potrebno zaščititi.

Zaradi preoblikovanja vodotokov se poveča globina vode v pokrajini in podtalnici, zaradi nastanka novih meandrov pa se podaljša in poveča tudi obrežni pas, ki nemalokrat nudi zatočišče za redke vodne in obvodne vrste. Povečana površina stika med vodo in prstjo povzroča počasno izcejanje vode in s tem povečanje nizkih poletnih pretokov. Zelo pomembno vlogo imajo meandri tudi takrat, ko gre za čiščenje vode onesnažene s pesticidi, gnojili, omogoča pa tudi sedimentacijo in oksidacijo vode. (Zupančič Justin, 2010 in Vovk Korže in Vrhovšek, 2009).



Slika 5: Primeri meandriranja struge. (Vir: Medmrežje 3)

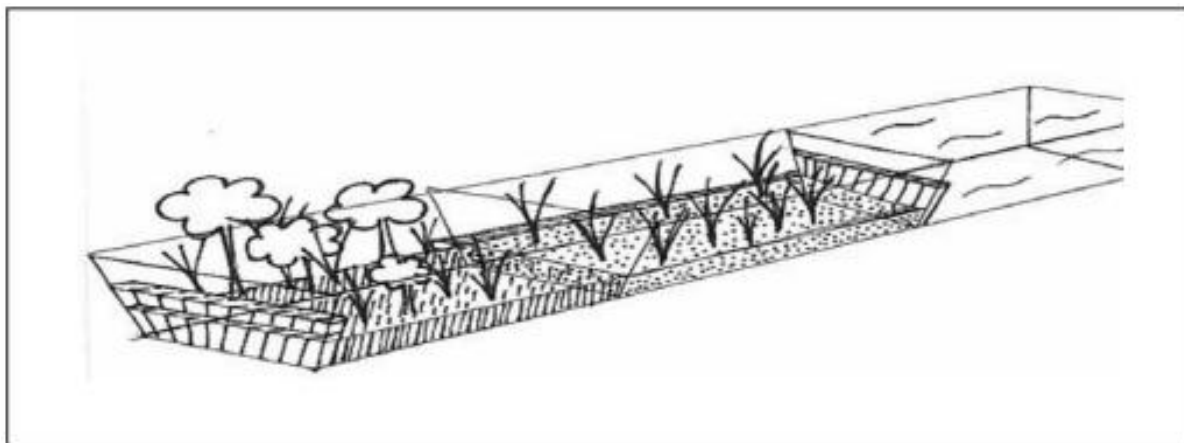
9.1.3 Ekoremediacijska preureditev melioracijskega jarka

ERM melioracijski jarki so preoblikovani klasični melioracijski jarki.

Klasični melioracijski jarki so goli kanali, katerih namen je hitro odvajanje vode s kmetijskih površin za ohranjanje njihove rodovitnosti. V te kanale zato iz kmetijskih površin odteka voda onesnažena s pesticidi, gnojili in od tu nato neposredno prehaja v vodotoke in podtalnico ter s tem povzroča onesnaženje. Z ureditvijo ERM melioracijskih jarkov pa se reši oz. vsaj omili težavo odtekanja škodljivih snovi v vodotoke in podtalnico (Vovk Korže in Vrhovšek, 2009). Ekoremediacijsko preoblikovani melioracijski jarki imajo poleg vloge odvajanja vode s kmetijskih površin tudi čistilno sposobnost, kot tudi sposobnost začasnega zadrževanja vode.

Po opisu Vovk Korže in Vrhovšek (2006) izvedba poteka tako, da se že obstoječi jarek razdeli na štiri odseke in vsak odsek ima določeno funkcijo. Prvi odsek je oblikovan tako, da omogoča maksimalno zadrževanje vode. V drugem delu jarka se nahaja zemlja in substrat, posajene rastline pa preko korenin črpajo višek hranil iz zemlje. V tretjem delu so posajene različne vodne in močvirske rastline, ki so življenjski prostor številnim živalim, s čimer se povečuje biotska raznovrstnost. V četrtem odseku pa se v ravnovesju nahajajo vse tri funkcije iz prvih treh.

Torej ERM melioracijski jarki ščitijo podtalnico in vodotoke pred onesnaženjem, zmanjšujejo vplive vetra in suš ter s tem posledično vplivajo na povečanje kmetijskega pridelka. Varujejo tudi zdravje ljudi in prispevajo k estetskemu videzu kmetijske pokrajine (Vovk Korže in Vrhovšek, 2006).



Slika 6: Shematski prikaz ERM melioracijskega jarka. (Vir: Ekoremediacije za učinkovito varovanje okolja, 2006.)

9.2 ERM ukrepi v obrežnem pasu vodotoka

Kot sem v zgornjem odstavku že omenila, je človek v preteklosti dostikrat nepremišljeno posegal v vodotoke in s tem posledično vplival tudi na obliko in funkcijo obvodnega prostora. Odstranitev obrežnega rastlinstva je vodilo v siromašenje biodiverzitete, zmanjšanje samočistilne sposobnosti vodotokov in tudi v izgubo zadrževanja vode.

Z uspešno revitalizacijo vodnega in obvodnega okolja se lahko vse to obnovi, hkrati pa se preprečuje širjenje onesnaževanja in iz vodotokov odstranjuje škodljive snovi. Tvrstni ukrepi posredno vplivajo na zmanjševanje obremenitev podtalnice.

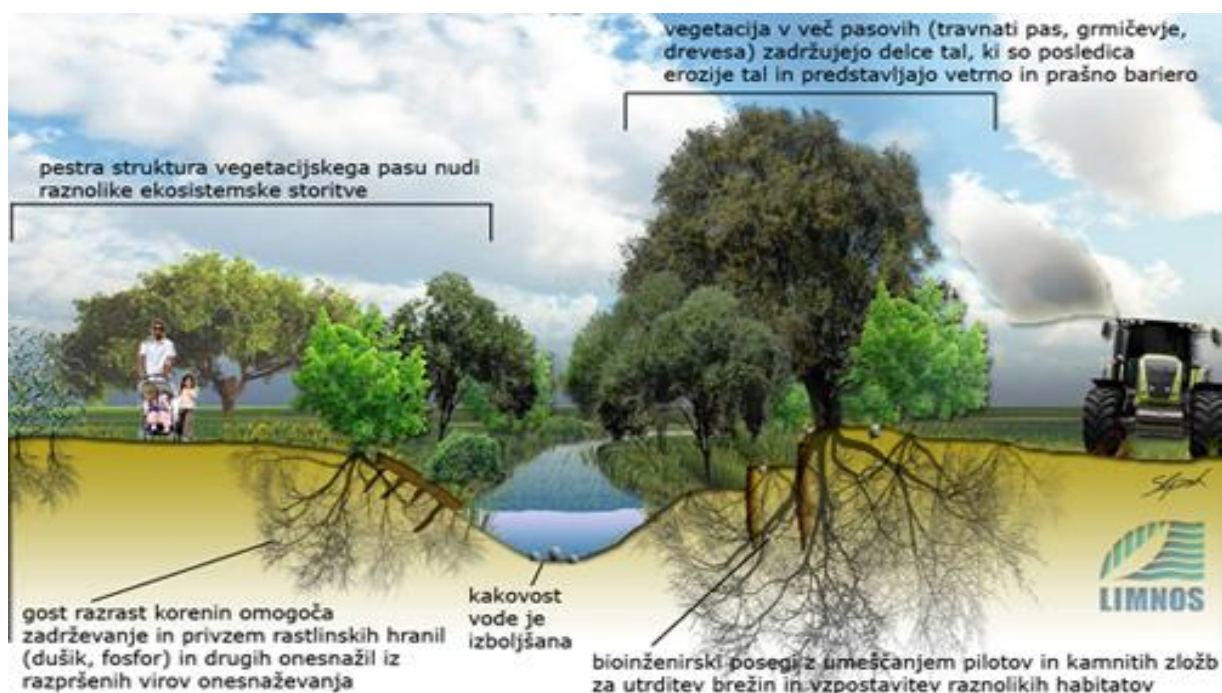
9.2.1 Vegetacijski pasovi

Vegetacijski pas je pas drevesne in grmovne vegetacije, ki je zasajen ob vodotoku.

Sestava in širina vegetacijskega pasu se razlikujeta od primera do primera, odvisno pa je predvsem od velikosti prispevnega področja (zaledja, ki lahko prispeva onesnaženje), oblikovanosti terena (nagnjen ali raven teren), vrste pokrovnosti tal (gozdne, kmetijske, urbane površine) in količine padavin na nekem območju.

Vegetacijske pasove uvrščamo v skupino ERM blažilnih območij, saj imajo mnogo funkcij, ki izboljšujejo kvaliteto vode in ščitijo tla in zrak. S tem pa se posledično povečuje biotska pestrost, saj se izboljšujejo prehranske in nastanitvene lastnosti nekega habitata. Obrežni vegetacijski pas vpliva tudi na svetlobne, temperaturne in kisikove razmere v vodi. Ena izmed najpomembnejših lastnosti vegetacijskih pasov pa je čiščenje onesnažene vode in zemljin, saj imajo sposobnost zadrževanja zelo velike količine hranil, še posebej fosforja, dušika in pesticidov (Vovk Korže in Vrhovšek, 2007). Drevesni pas in gosta travnata površina

na brežini ublaži hitrost površinskega odtoka, zadrži sedimente in onesnažila (Zupančič Justin, 2010). Z njimi lahko ščitimo površinske vode, podtalnico in vodna zajetja pred razpršenimi in točkovnimi viri iz kmetijstva. Matlock in Morgan (2011) omenjata, da naj bi se zaradi zasaditve vegetacijskih pasov onesnaženje vode s hranili in pesticidi zmanjšalo do 50 %, odstranjenih pa naj bilo 60 % patogenih organizmov in 75 % sedimentov, ki bi sicer z iztekanjem prešli v vodotoke. Počasnejši odtok zalednih vod in povečana samočistilna sposobnost vod se posredno lahko odražata na izboljšani izdatnosti in kvaliteti podtalnice.



Slika 7: Vegetacijski pas. (Vir: Medmrežje 5)

9.2.2 Grajena mokrišča

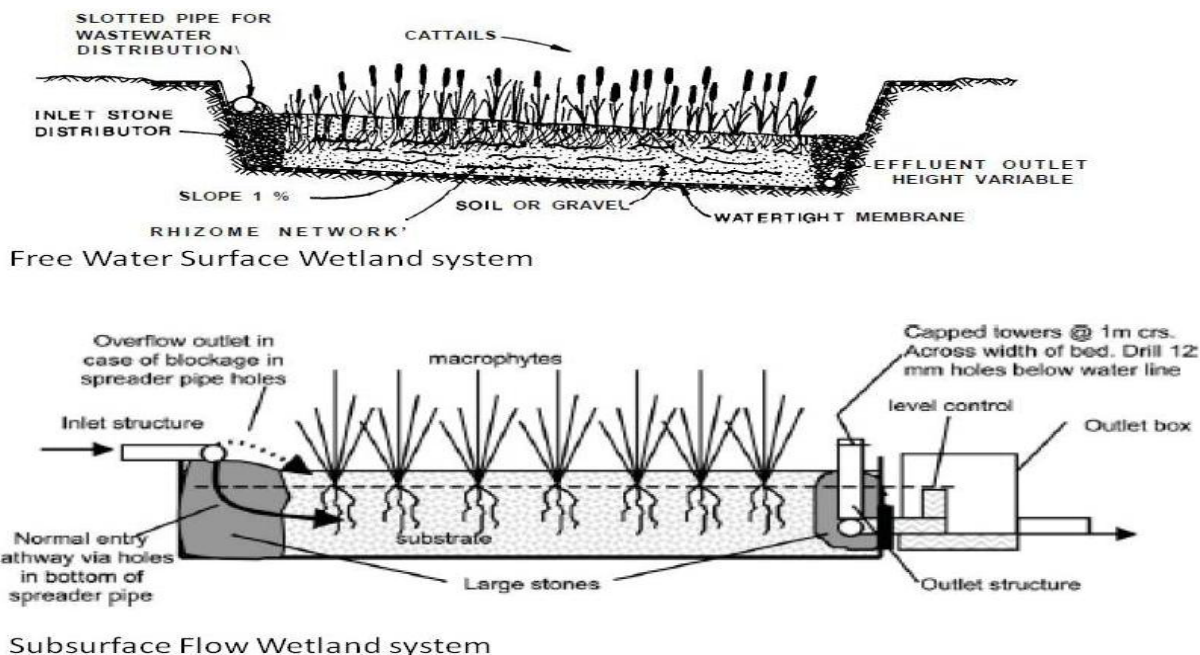
Grajena mokrišča so imitacije naravnih mokrišč, ki skozi naravne procese odstranjujejo onesnažila in s tem predstavljajo eno izmed zelo pomembnih ERM metod. Mokrišče se največkrat postavi ob vodotok z možnostjo preliivanja v vodotok. Lahko pa se jih postavi tudi kot samostojen element, ki je občasno poplavljen (Zupančič Justin, 2010).

Izdelava grajenih mokrišč je dobra tehnična in ekonomska rešitev za čiščenje onesnaženih in odpadnih voda. Mokrišča z različnimi biološkimi, fizikalnimi in kemijskimi procesi zmanjšujejo koncentracije onesnažil vse do stopnje, ko je voda sprejemljiva za odtekanje v naravo (Griessler Bulc idr., 2012). Zupančič Justin (2010) omenja še druge funkcije, ki uravnavajo količinsko stanje voda. Mokrišča so v času pomanjkanja vode kot nekakšen vodni rezervoar, v času poplavnih valov pa razbremenilnik poplavnega vala.

Zaradi ustreznega načrtovanja, polnila, sajenja ustreznih rastlin in opreme so sonaravna mokrišča veliko učinkovitejša od mokrišč v naravi, kljub temu da ne potrebuje dodatne energije. Učinkovitost se navadno ocenjuje na podlagi zmanjšanja vrednosti kemijske

potrebe po kisiku (KPK), biološke potrebe po kisiku (BPK), suspendiranih snovi in hranil (dušik, fosfor) (Griessler Bulc idr., 2012).

Poznamo dve vrsti sonaravnih mokrišč, in sicer mokrišča s površinskim in mokrišča s podpovršinskim tokom. Na dnu se navadno uporablja materiale z nizko prepustnostjo (npr. beton, glina, sintetične obloge), da bi se preprečilo onesnaženje podtalnice (Aarne idr. 2009, str. 384).



Slika 8: Shema grajenega mokrišča s površinskim in podpovršinskim tokom.
(Vir: Medmrežje 2)

9.3 In-situ metode remediacije podtalnice

Fitotehnologija je tehnologija, pri kateri se za in-situ remediacijo tal, sedimentov in vode uporablja rastline. S pomočjo fitoremediacijskih mehanizmov se preprečuje širjenje, ali se odstranjuje že nastalo onesnaženje. Metoda je zelo učinkovita na območjih s plitvo kontaminacijo s kovinami, nutrienti ali organskimi onesnažili, torej v predelu, do koder sežejo rastlinske korenine. Fitoremediacijo delimo glede na mehanizem rastlinskega privzema ali pretvorbe onesnažil na: rizofiltracijo, fitotransformacijo, fitostabilizacijo, fitoekstrakcijo, bioremediacijo fizosfere in fitorudarjenje (Regvar, 2008). V naslednjem poglavju je opisana metoda fitoremediacije oziroma fitotehnološki pristop, ki najbolj neposredno vpliva na odstranjevanje onesnažil iz podtalnice. Metoda bi bila izvedljiva in primerna tudi za slovensko okolje.

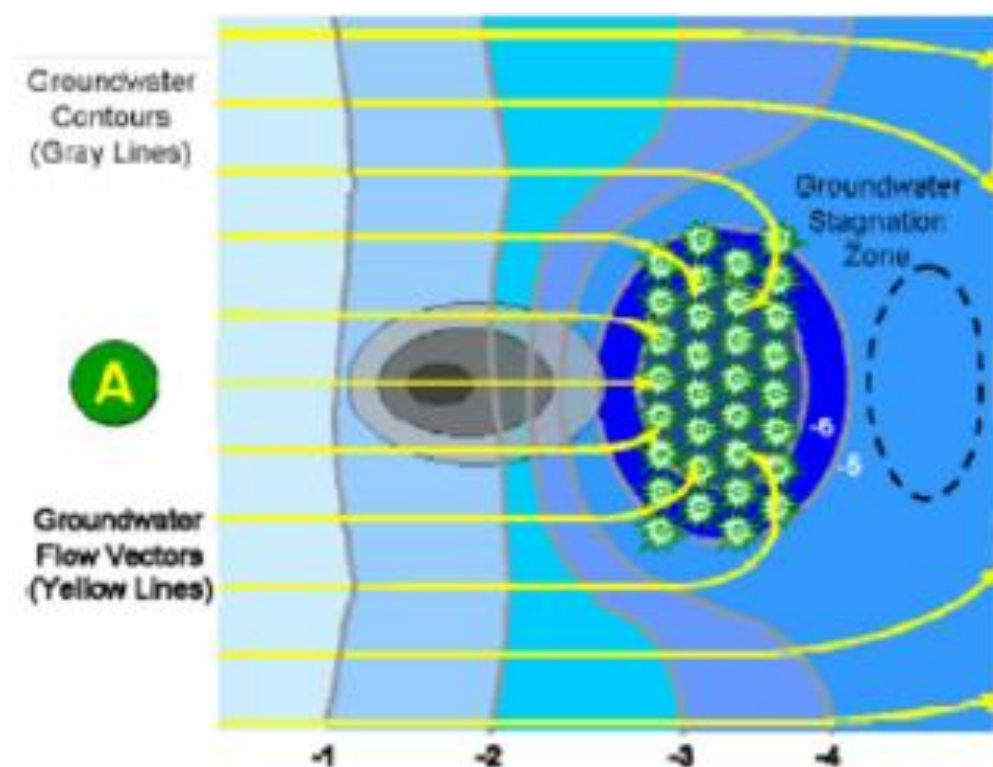
9.3.1 Hidravlične fitoremediacijske bariere

To so zelo velika območja zasajenih dreves, ki preprečujejo migracijo onesnažil v podtalnici in jih hkrati tudi odstranjujejo. Navadno so to drevesa z zelo globokim koreninskim sistemom, hitro rastjo in visoko stopnjo evatransporacije vode. Količina vode, ki jo drevesa lahko načrpajo, je odvisna od starosti dreves, globine podtalnice, stanja prsti in podnebja, v katerem se območje nahaja (Mueller idr., 2001).

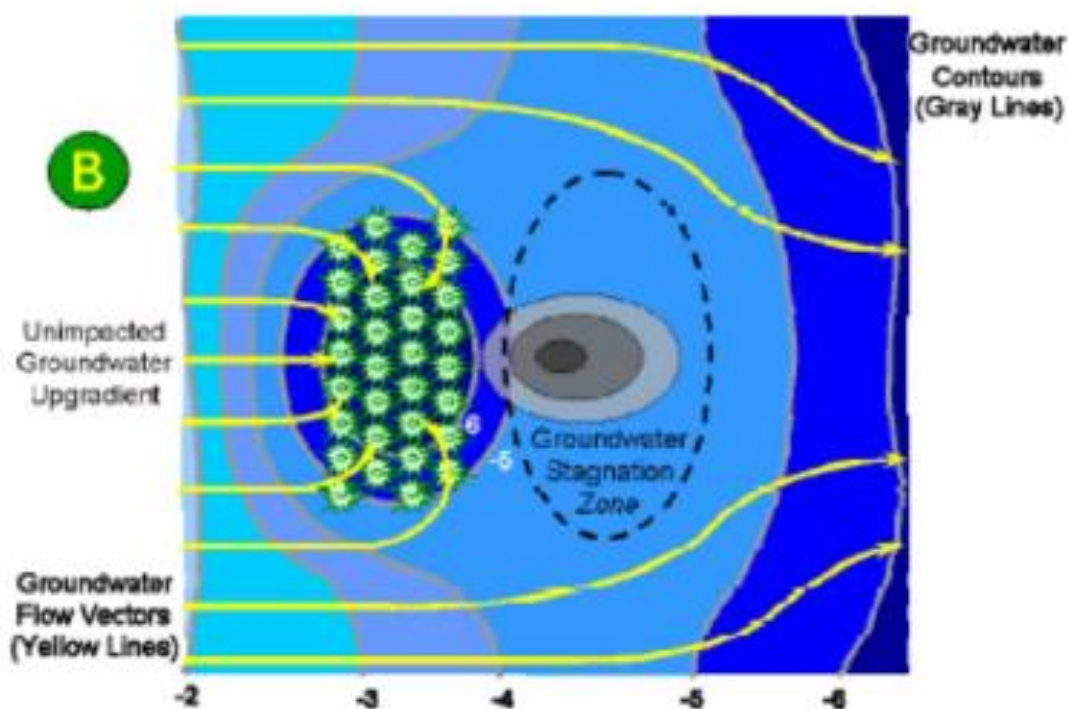
Onesnažila, ki so prisotna v tleh, lahko pridejo v stik s podtalnico in nato z njo migrirajo. Migracija onesnažil se v tleh upočasnjuje glede na tok podtalnice, s črpanjem vode pa se lahko zaustavi tok kontaminirane podtalnice. Vodo se črpa na dva načina:

- Dolgradientno (od toka kontaminiranega oblaka) – gradient se zaustavi in obrne v depresijski coni in s tem se ustvari cona zajetja.
- Gorgradientno (od območja kontaminiranega oblaka) – znotraj oblaka se hidravlični gradient zmanjša in s tem se upočasni migracija onesnaženega oblaka (Zupančič Justin, 2010).

Metoda je zelo uporabna v primerih, kadar je onesnaženje že nastalo in ga je potrebno omejiti ter odstraniti iz podtalnice. S pomočjo globokih koreninskih sistemov drevesa iz okolja odstranjujejo onesnažila, ki v okolje prehajajo iz točkovnih, kot tudi netočkovnih virov onesnaženja.



Slika 9: Shema delovanja drevesne hidravlične bariere-dolgradientni tok. (Vir: Strokovne podlage za zagotavljanje zaščite pitnih virov s pomočjo ekoremediacij, 2010.)



Slika 10: Shema delovanja drevesne hidravlične bariere-gorgradientna kontrola podtalnice. (Vir: Strokovne podlage za zagotavljanje zaščite pitnih virov s pomočjo ekoremediacij, 2010.)

9.4 ERM rešitve za čiščenje onesnaženih iztokov

Zaradi nepremišljenega in pretiranega odvajanja onesnaženih voda direktno v vodotoke vse prevečkrat prihaja tudi do onesnaženja podtalnice, zato je potrebno za to poskrbeti direktno na viru, ki predstavlja grožnjo za pitno vodo. Zelo resno grožnjo pa predstavljajo tudi padavinske vode, ki preko površja, ki ga izpirajo, prehajajo v podtalnico in jo onesnažujejo.

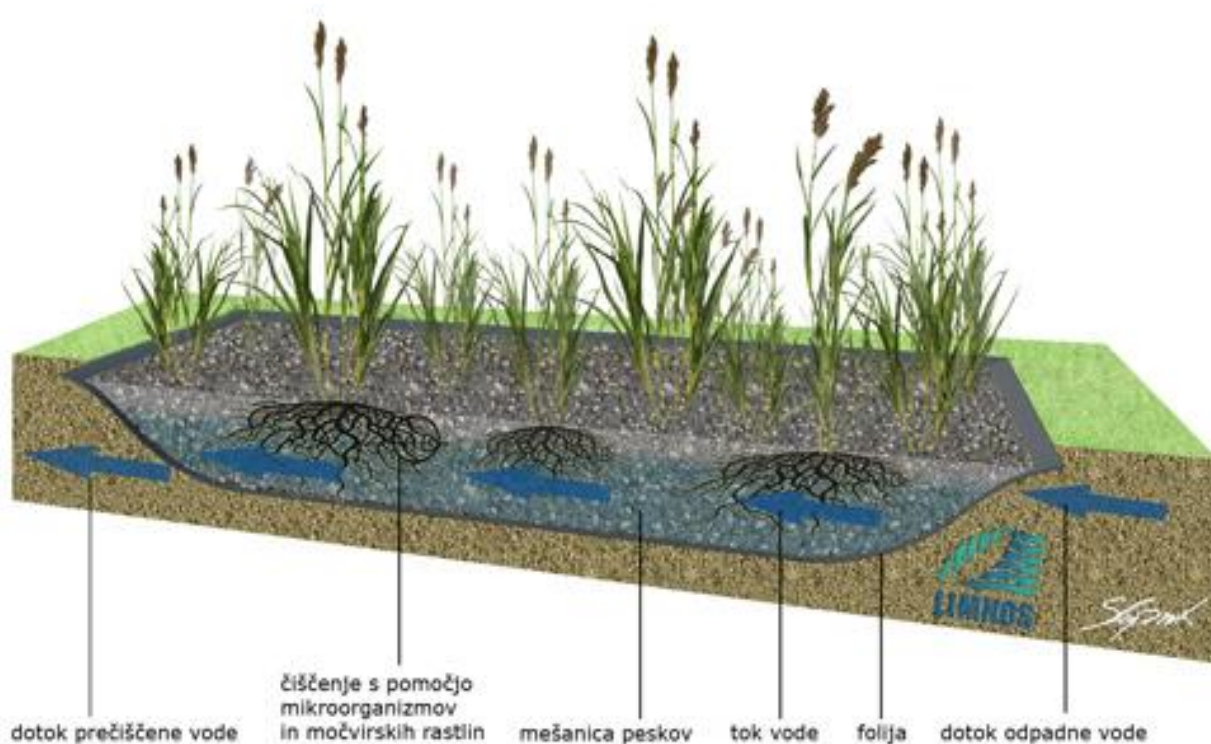
9.4.1 Rastlinska čistilna naprava

»RČN so naprave, ki posnemajo samočistilne procese v naravnih močvirskih ekosistemih, s tem, da je cilj strukture in funkcije teh sistemov v doseganju čim večje učinkovitosti čiščenja na čim manjšem prostoru.« (Griessler Bulc, 2008).

Rastlinske čistilne naprave se uporabljajo na območjih večje količine iztočnih voda iz kmetijskih površin, na območjih, kjer nastajajo komunalne vode, pa tudi za čiščenje površinskih in podpovršinskih vodotokov. RČN s fizikalnimi biokemijskimi procesi, kot so anaerobna razgradnja, filtracija, sedimentacija in absorpcija iz vode, učinkovito odstranjujejo dušikove in fosforjeve snovi, težke kovine, pesticide in tudi druge škodljive snovi (Vovk Korže in Vrhovšek, 2007).

RČN za svoje delovanje ne potrebuje kakršne koli strojne ali električne opreme, ampak deluje gravitacijsko. Čiščenje vode poteka skozi dva ali več zaporedno ali vzporedno vezanih bazenov izoliranih s folijo. Bazeni so napolnjeni s substratom (v katerem je navadno več vrst peska) in različnimi vlagoljubnimi rastlinami (lahko so zakoreninjene ali prosto plavajoče) (Vovk Korže in Vrhovšek, 2007).

Onesnažena voda najprej priteče v zadrževalnik, kjer se odstranijo vsi grobi delci. Nato voda prehaja v prvo gredo RČN, ki se imenuje tudi filtrirna greda. V filtrirni gredi se odstranijo še vsi ostali suspendirani delci, voda pa od tu odteka v čistilno gredo, kjer se voda tudi dokončno očisti in je primerna za odvajanje nazaj v okolje (Vovk Korže in Vrhovšek, 2007).



Slika 11: Shema rastlinske čistilne naprave. (Vir: Medmrežje 4)

9.4.2 Začasni zadrževalniki meteornih voda

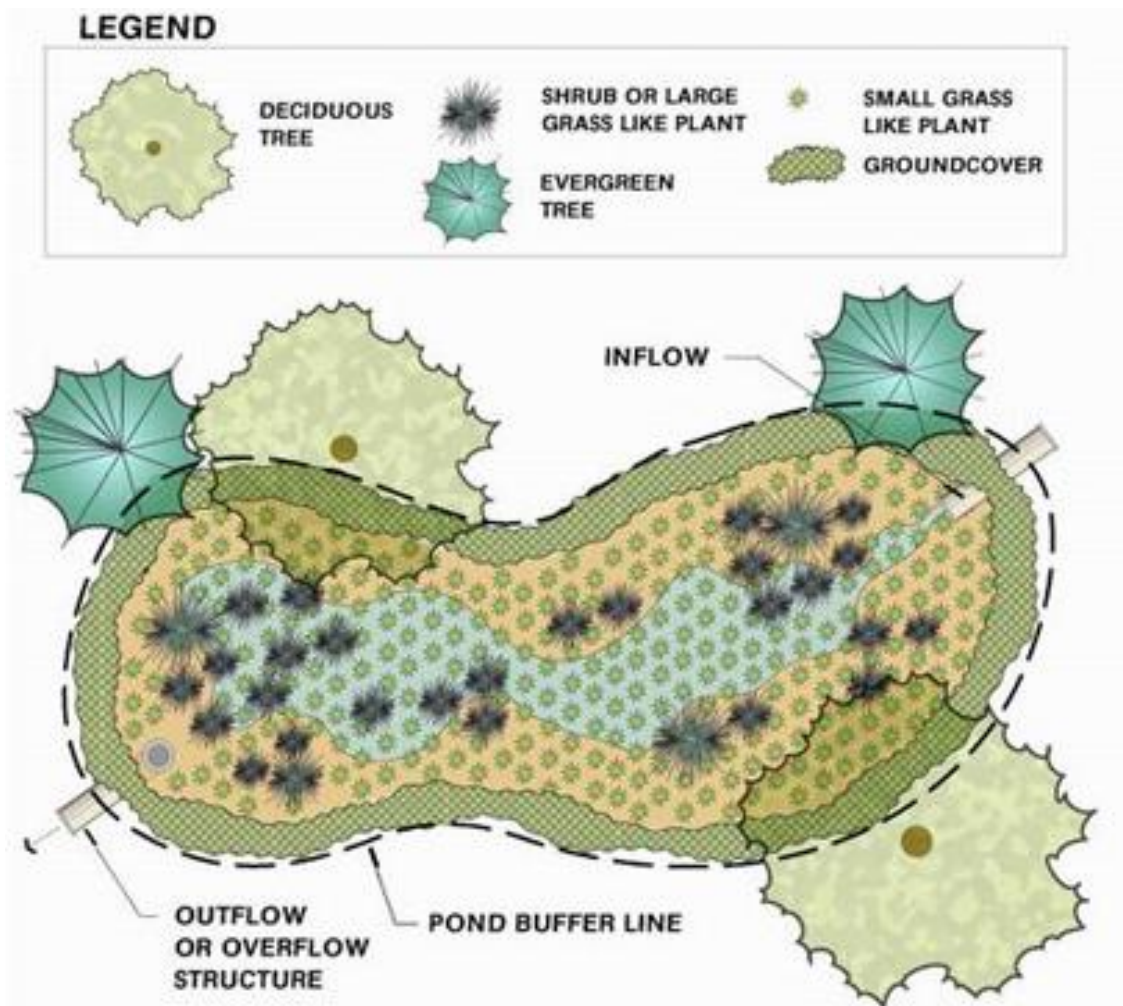
Začasni zadrževalniki meteornih voda so odprta vodna telesa, ki zadržujejo padavinsko vodo iz urbanih, kmetijskih in drugih območij. Upravljanje s padavinsko vodo mora biti prilagojeno na visoke pretoke iz odtokov tekom sušnih obdobj in visoke koncentracije onesnaževal v prvem valu, ki pa mu sledi glavni tok, v katerem so koncentracije onesnaževal že razredčene. Zadrževalniki so različni biološki sistemi s sposobnostmi, ki omogočajo zadrževanje vode in zmanjšujejo vnos onesnaževal v vodotok, ki vodi do objektov in s tem do uporabnikov vode (Hvitved-Jacobsen idr., 1994, v Griessler Bulc idr., 2012).

Voda, ki je bila zadržana in očiščena, se nato lahko uporablja za različne namene ali pa se odvaja v okolje. V zadrževalnikih se lahko pojavijo različne rastlinske vrste (po naravni poti), zato je čiščenje vode zelo podobno tistemu, ki se naravno pojavlja v manjših jezerih (Griessler Bulc idr., 2012).

Čiščenje poteka tako, da onesnažilo s sedimentacijo preide na dno, kjer poteka absorbcija delcev ter razgradnja biološko razgradljivih snovi z mikroorganizmi in črpanje onesnažil s pomočjo rastlin. Glavni odstranjevalni mehanizem v zadrževalnikih je sedimentacija. Sistemi so navadno zelo učinkoviti pri odstranjevanju neraztopljenih delcev (Terzakis idr., 2008,

Griessler Bulc idr., 2012). Organske delce navadno vse do končne transformacije v anorganske snovi počasi razgrajujejo mikrobi in nevretenčarji, ti pa se nato kopičijo v sedimentih. Po ocenah Hvitved-Jacobsen (1994) naj bi bila odstranitev sedimenta iz zadrževalnikov potrebna vsakih 25 let (Griessler Bulc idr., 2012).

Z zadrževanjem prvega vala padavinskega odtoka in njegovim čiščenjem posredno ščitimo tudi podtalnico pred onesnaženjem.



Slika 12: Shema začasnega zadrževalnika meteornih voda. (Vir: Medmrežje 6)

10. REZULTATI Z DISKUSIJO

10.1 Stanje virov pitne vode v Sloveniji in potreba po njihovi zaščiti

Kot smo že omenili v zgornjih poglavjih, so glavne obremenitve, ki predstavljajo grožnjo za podtalnico v Sloveniji, kmetijstvo, industrija, poselitev, promet itd. Zelo veliko težavo pa predstavlja tudi nižanje gladine podtalne vode, kar je največkrat posledica prekomernega črpanja podtalnice in poseganja v vodotoke in njihovo spreminjanje.

Med najbolj onesnažena in s tem tudi najbolj ogrožena območja v Sloveniji spadajo Savinjska kotlina, Dravska kotlina, Murska kotlina, Savska kotlina in Ljubljansko barje. Na teh območjih se največkrat pojavlja čezmerna obremenjenost z nitrati, atrazinom, desetil-atrazinom, lahkohlapnimi halogeniranimi ogljikovodiki, ponekod pa so presežene tudi vrednosti kroma. Onesnaženje z omenjenimi snovmi upada, a so mejne vrednosti omenjenih snovi še marsikje presežene. Med leti 2007 in 2011 so na omenjenih območjih beležili upadanje neustreznih merilnih mest, v letu 2012 pa se je število teh merilnih mest ponovno povečalo. Na vseh zgoraj omenjenih območjih in v Krški kotlini pa se pojavlja tudi težava nižanja gladine podtalne vode.

Savinjska kotlina je najbolj onesnaženo vodno telo v Sloveniji. Glavni viri onesnaževanja na tem območju so kmetijstvo in izpusti iz industrije ter gospodinjstev. Največjo obremenitev predstavljajo nitrati, atrazin in desetil-atrazin, pojavlja pa se tudi zniževanje gladine podtalnice.

Tudi območje Dravske kotline spada med zelo obremenjena območja, kar je posledica intenzivnega kmetijstva in industrije. Na tem območju se srečujejo s prekomerno vsebnostjo nitratov, atrazina, desetil-atrazina, na nekaterih območjih naraščajo tudi vsebnosti kroma. Na nižanje gladine podtalnice je imela največji vpliv suša in predvsem reguliranje vodotokov na Pohorju, iz katerih se vodno telo Dravska kotlina tudi napaja.

Vodno telo Murska kotlina ima zaradi intenzivne kmetijske in industrijske dejavnosti na tem območju že vrsto let slabo kemijsko stanje podtalne vode. Pojavlja se predvsem onesnaženje z nitrati, atrazinom, desetil-atrazinom in kloriranimi organskimi topili. Na tem območju je do nižanja gladine podtalnice prišlo predvsem zaradi izsuševanja kmetijskih površin, erozijskega poglobljanja in zaradi izkopov proda in peska pod gladino podzemne vode. Do nihanja gladine podtalnice pa prihaja tudi zaradi izmeničnega pojavljanja izrazitih suš in obdobj deževja.

Vodno telo Savska kotlina in Ljubljansko barje sicer nimata slabega kemijskega stanja, a je območje vseeno zelo obremenjeno zaradi industrije, kmetijstva in poselitve. V zadnjih letih se pojavlja predvsem onesnaženje z nitrati, atrazinom, desetil-atrazinom, kromom in tetrakloroetenom. Pomemben vpliv na zniževanje gladine podtalnice je imela izgradnja hidroelektrarne Mavčiče, kar je najprej povzročilo dvig gladine, nato pa je nalaganje sedimenta v akumulacijskem jezeru ta efekt zmanjšalo.

Tudi vodno telo Krška kotlina nima slabega kemijskega stanja. Glavna težava, ki se pojavlja na tem območju, je nižanje gladine podtalnice, kar je posledica erozijsko-sedimentacijskih procesov v rečni strugi Save, izsuševanja kmetijskih zemljišč in avtocestne drenaže.

Na posameznih črpališčih pitne vode pa je občasno zaznati prekomerno mikrobiološko onesnaženje vode, kar je pogosto posledica neurejene kanalizacije in neurejenih gnojišč.

Vse naštetu nakazuje na potrebo po preventivni zaščiti podtalnice, kar lahko dosežemo tudi z ukrepi umeščanja naravnih ekosistemskih rešitev, kot so ekoremediacije. V primerih, ko je podtalnica oziroma potencialni pitni vir že onesnažen, pa je na voljo določeno število kurativnih ekoremediacijskih ukrepov.

10.2 Možnosti zaščite in izboljšanja stanja virov pitne vode s pomočjo sistemov ekološkega inženirskega načrtovanja oz. ekoremediacij

V tem poglavju bomo podali ekoremediacijske metode za katere menimo, da bi bile najprimernejše za izboljšanje kemijskega in količinskega stanja podtalnice v Sloveniji.

Ekoremediacijske metode smo razdelili na ukrepe, ki (1) neposredno ščitijo vodno telo pred onesnaževanjem, na ukrepe, ki (2) upočasnjujejo hitrost površinskega odtoka in s tem prehajanja onesnažil v vodno telo in ukrepe (3) za odstranitev že nastalega onesnaženja v vodnem telesu.

Med ukrepe, ki neposredno ščitijo vodno telo pred onesnaževanjem, smo uvrstili vegetacijske bariere in obrežna mokrišča. Pri obeh metodah se s filtracijo vode skozi koreninsko cono ekoremediacijskega sistema dosega odstranjevanje onesnažil iz onesnažene vode. Ustrezna rešitev za preprečevanje prehajanja onesnaženja v površinska in podpovršinska vodna telesa so tudi rastlinske čistilne naprave, ki bi jih bilo potrebno urediti na območjih z neurejeno kanalizacijo

Med ukrepe, ki upočasnjujejo hitrost površinskega odtoka kot tudi prehajanje onesnažil v vodno telo, lahko štejemo začasne zadrževalnike meteornih voda. Le-ti zadržujejo vodo, ki odteka iz urbanih in kmetijskih površin. S tem omogočajo zadrževanje onesnažil, kar preprečuje njihov prehod v vodno telo. Daljše zadrževanje vode na površini danega območja hkrati omogoča napajanje podtalnice. K upočasnjevanju hitrosti površinskega odtoka ravno tako prispevajo tudi zgoraj omenjeni vegetacijski pasovi s travnato ali lesno vegetacijo.

Razpršeni viri onesnaževanja so poleg nezgodnih razlitij in stalnih točkovnih obremenitev najpogostejši razlog, da onesnažila prehajajo v vodno telo. V določenih primerih tega ne moremo preprečiti in posledice se kažejo v prisotnih onesnažilih v podtalnici. Z ustreznimi ukrepi za odstranitev že nastalega onesnaženja pa lahko ublažimo in zmanjšamo nastalo škodo. ERM metode, ki bi bile primerne za odstranjevanje že prisotnih obremenitev v vodnem telesu, lahko umeščamo v struge vodotokov ter s poseganjem v podtalnico z njenim črpanjem in čiščenjem ali z umeščanjem vegetativnih barier. Med posegi v strugi vodotoka za zmanjšanje količine že prisotnih bioloških in kemijskih obremenitev in izboljšanje samočistilnih sposobnosti lahko naštejemo stranski rokav, meandriranje struge, ERM preurejeni melioracijski jarek. Obremenjeno podtalnico lahko črpamo in na površini očistimo s pretokom skozi grajena mokrišča. Hidravlične fitoremediacijske bariere, kjer gre za zasaditev vegetacije z globokim in obsežnim koreninskim sistemom, pa lahko uporabimo za neposredno črpanje in čiščenje podtalnice.

Omenjene ekoremediacijske metode bi torej lahko prispevale k izboljšanju kemijskega in količinskega stanja podtalnice, seveda pa imajo še mnogo drugih pozitivnih vplivov na okolje, kot so npr. ohranjanje biotske raznovrstnosti, dvig raznolikosti pokrajine, preprečevanje prekomernega segrevanja in izhlapevanja vode ter izboljšanje zglada pokrajine.

11. POVZETEK

V Sloveniji glavni vir pitne vode predstavlja podtalnica, se pa za pitje uporablja tudi površinske vode, a le v redkih primerih, saj ta pogosto vsebuje večje količine suspendiranih snovi in mikroorganizmov in je zato bolj primerna za tehnološke namene. Približno tretjina podtalnice je primerna za pitje in uporabo brez predhodne obdelave, kadar pa do onesnaženja pride, se vodo lahko med drugim očisti s klasičnimi in konvencionalnimi postopki, ki pa so dragi in zahtevni. Obstajajo pa tudi metode, s katerimi se da preventivno preprečiti nastajanje oz. se zmanjša onesnaženje. To so ustrezno odvajanje in čiščenje odpadnih voda, dobra kmetijska praksa, čiščenje padavinskih voda in uvedba vodovarstvenih območij.

Glavni vir onesnaženosti površinskih vodotokov in podtalnice pri nas predstavljajo točkovni in netočkovni viri onesnaževanja, ki izvirajo iz kmetijstva, industrije, poseljenosti, prometa, turizma, zelo resno težavo pa predstavlja tudi poseganje v vodotoke in odvzem vode iz vodotokov, kar povzroča nižanje gladine podtalnice.

Največja obremenjenost podtalnih voda se pojavlja v SV Sloveniji in v okolici Celja. Slabo kemijsko stanje se zadnja leta pojavlja v Savinjski, Dravski in Murski kotlini, med ogrožena območja pa štejemo tudi Savsko kotlino in Ljubljansko barje. Na vseh omenjenih območjih in v Krški kotlini se pojavlja še dodatna težava nižanja gladine podtalnice. V podtalnici se največkrat pojavljajo nitrati, atrazin, desetil-atrazin, ponekod pa tudi krom in nekatere druge škodljive snovi, ki pa so zadnja leta v upadu, a še vedno presegajo mejne vrednosti.

Za odpravljanje posledic v okolju in zmanjševanje vplivov onesnaženja, ki nastaja iz točkovnih in netočkovnih virov, so razvili tako imenovane ekoremediacijske metode ali metode ekološkega inženirskega načrtovanja, s katerimi se nekemu ekosistemu vrača samočistilno sposobnost, pufersko sposobnost, poveča se biotska raznovrstnost, vodo se čisti in zadržuje.

V diplomu smo ekoremediacijske metode oz. ukrepe za izboljšanje stanja podtalnice razdelili na ukrepe, ki neposredno ščitijo vodno telo pred onesnaženjem, ukrepe za odstranitev že nastalega onesnaženja in ukrepe, ki upočasnjujejo hitrost odtoka površinske vode in s tem tudi prehajanje onesnažil v vodno telo.

Za neposredno zaščito podtalnice bi bila primerna umetna morišča in vegetacijske bariere, ki preprečujejo, da bi onesnaženje zajelo vodno telo. Onesnažila se zadržijo v omenjenih barierah, voda pa nato očiščena odteka naprej v okolje.

Sonaravna obnova vodotokov z gradnjo stranskih rokavov, meandriranjem struge in drugimi elementi v strugi so pristopi, s katerimi povečamo samočistilno sposobnost vodotoka in odstranimo že nastalo onesnaženje, hkrati pa zadržujemo vodo s čimer posredno izboljšujemo količinsko in kemijsko stanje podtalnice. Za neposredno odstranjevanje onesnažil iz podtalnice pa lahko uporabimo tudi hidravlične fitoremediacijske bariere, ki preprečujejo širjenje onesnaženja po podtalnem vodnem telesu in iz podtalnice odstranjujejo onesnaženje.

Med ukrepe, ki upočasnjujejo hitrost površinskega odtoka in s tem prehajanje onesnažil v vodno telo, pa štejemo obrežna mokrišča in začasne zadrževalnike meteornih voda. Z upočasnitvijo površinskega odtoka hkrati pripomoremo k količinskemu bogatenju podtalnice.

12. SUMMARY

In Slovenia, the main source of drinking water is groundwater, nevertheless surface water is also used for drinking, however in rare cases, because it often contains larger amounts of suspended solids and microorganisms and is therefore more suitable for technological purposes. Approximately one third of groundwater is suitable for drinking and use without prior processing, when it is polluted, we can purify it among others with classical and conventional procedures which are expensive and demanding. There are also methods that can prevent or reduce pollution. These are appropriate sewage disposal, cleaning residual water, good agricultural practice, cleaning drainage water and introduction of water protection areas.

The main source of pollution of watercourses and groundwater in our country are point sources and nonpoint sources pollution which origin from agriculture, industry, population, transport, tourism, a great trouble presents also interference in watercourses and deprivation of water from watercourses which cause lowering of groundwater level.

The greatest strain of groundwater occurs in north-east of Slovenia and in the vicinity of Celje. Bad chemical condition is appearing lately in Savinja, Drava and Mura valley, among endangered areas are also Savinja valley and Ljubljana mire. On all mentioned areas and in Krka valley there is also additional problem of lowering the groundwater level. In the groundwater are mostly occurring nitrates, atrazine, desethyl-atrazine, sometimes also chromium and certain other hazardous substances, which are in decline in recent years, but still exceed the limit value.

To eliminate the effects of the environment and reducing the impact of pollution that generates from point and nonpoint sources they have developed the so-called ecoremediation methods or methods of ecological engineering design, which return to an ecosystem self-cleaning ability, buffering capacity, increase biodiversity, water is being cleaned and held.

In diploma thesis we have divided ecoremediational methods or measures for improving the conditions of groundwater into measures that directly protect the water body from pollution, measures for the removal of already existing pollution and measures that slow down the rate of runoff of surface water and thus the passage of pollutants in the water body.

Suitable for the direct protection of the groundwater would be artificial wetlands and vegetation barriers that prevent inflow of the pollution into the water body. Pollutants are kept by above methods and the purified water is drained into the environment.

Natural restoration of watercourses with formation of side channel, meanders in streams and other elements in the water channels are approaches, by which the natural treatment capacity of the watercourses is increased, the existing pollution is removed and water holding capacity increased. Consequently, quantity and chemical status of groundwater is improved. For the direct removal of pollutants from the groundwater the phytoremediation hydraulic barriers could be used, which prevent the spread of pollution from underground water body and remove contamination from groundwater.

Among the measures that slow down the rate of runoff and thus the passage of pollutants in the water body are considered constructed wetlands and temporary dry rainwater detention ponds. With the slowing down of the runoff we contribute at the same time to the enrichment of the groundwater quantity.

13. VIRI IN LITERATURA

1. Aarne, P. V., M. Morgan, S., Heine, L., Introduction to environmental engineering. (2009). Indian Institute on Technology Kanpur.
2. Andjelov, M., Kerkeš, G., Krajnc, M., Uhan, J. 2013: Ocena stanja vodnih virov in vodne pravice. Medmrežje: http://www.sdzv-drustvo.si/si/vodni_dnevi/2007/referati/15-Krajnc.pdf (26. 4. 2013)
3. Andjelov. M., Mikulič, Z., Pavlič, U., Savić, V., Souvent, P., Trišič, N., Uhan, J. 2012: Količinsko stanje podzemnih voda v letu 2011: Poročilo o monitoringu. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Koli%C4%8Dinsko_stanje_podzemnih_voda_v_Sloveniji_Poro%C4%8Dilo_o_monitoringu_2011.pdf (12. 7. 2013)
4. Bat, M., Beltram, G., Cegnar, T., Dobnikar, T. M., Grbovič, J., Krajnc, M., Mihorko, P., Rejec, B. I., Remec, R. Š., Uhan, J. 2003: Vodno bogastvo Slovenije. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/vodno_bogastvo_slovenije.html (28. 5. 2013)
5. Brenčič, M., Drobne, F., Krajnc, S. (1998). Podzemne vode v Sloveniji. V: Kakovost pitne vode in varstvo vodnih virov. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje: zbornica sanitarnih tehnikov in inženirjev Slovenije, str. 7–12.
6. Čuček, S. (2011). Oskrba z vodo, ravnanje z odpadno vodo in namakanje zemljišč v Sloveniji v primerjavi z EU. V: Upravljanje voda v Sloveniji. Celje, Fit media d.o.o., str. 31–47.
7. Gacin, M., Mihorko, P. 2012: Ocena kemijskega stanja podzemnih voda v Sloveniji v letu 2011. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Poro%C4%8Dilo_kemija_podzemne_10_10_2011.pdf (13. 7. 2013)
8. Gacin, M., Mihorko, P. 2013: Ocena kemijskega stanja podzemnih voda v Sloveniji v letu 2012. Medmrežje: http://www.arso.gov.si/vode/podzemne%20vode/publikacije%20in%20poro%C4%8Dila/Poro_cilo_podzemne_2012_JULIJ.pdf (13. 7. 2013)
9. Griessler, B. T. (2008). Vloga rastlinskih čistilnih naprav v prihodnosti. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije. Ljubljana, KATR, str. 33–49.
10. Griessler, B. T., Istenič, D., Šajn, S. A. (2012). Ecosystem technologies and ecoremediation for water protection, treatment and reuse. V: Studies on water management issues. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Limnos d.o.o., str. 194–218.
11. Kakovost podzemne vode. (2009). Agencija republike Slovenije za okolje. Medmrežje: http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=178 (25. 4. 2013)

12. Mali, N. (2008). Podzemna voda v Sloveniji. Novi glasnik Unesco. Ljubljana, 2008, št. 75, str. 23–25.

13. Matlock, D. M., Morgan, A. R. (2011). Ecological engineering design: restoring and conserving ecosystem services. New Jersey, John Wiley & Sons.

14. Medmrežje 1: Katalog podatkovnih virov: točkovni vir onesnaženja. Agencija republike Slovenije za okolje.

http://kpv.arso.gov.si/kpv/Gemet_search/Gemet_report/report_gemet_term?ID_CONCEPT=6357&L1=302&L2=94 (3. 8. 2013)

15. Medmrežje 2: Wetlands for water quality management – the science and technology: a paper from current issues in water management. India water portal.

<http://www.indiawaterportal.org/articles/wetlands-water-quality-management-science-and-technology-paper-current-issues-water> (3. 10. 2013)

16. Medmrežje 3: <http://snippetseamstress.blogspot.com/> (3. 10. 2013)

17. Medmrežje 4: Rastlinska čistilna naprava Limnowet. Limnos.

http://www.limnos.si/rastlinske_cistilne_naprave.php (5. 10. 2013)

18. Medmrežje 5: Vegetacijski pasovi. Limnos. http://www.limnos.si/vegetacijski_pasovi.php (3. 10. 2013)

19. Medmrežje 6:

http://www.wbdg.org/ccb/AF/AFSUSTTOOLKIT/Strategies/Site/Strategies_DetentionPonds.shtml (10. 10. 2013)

20. Medmrežje 7: Varstveni pasovi. Posavski obzornik.

http://www.kostak.si/mediji/posavski_zbornik/kostak65.pdf (3. 4. 2013)

21. Medmrežje 8: Javni vodovod. Statistični urad Republike Slovenije.

http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=4872 (21. 4. 2013)

22. Medmrežje 9: Čiščenje odpadnih voda. Agencija republike Slovenije za okolje.

http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=533 (21. 8. 2013)

23. Mikulič, Z., Pavlič, U., Savić, V., Souvent, P., Trišič, N., Uhan, J. 2010: Vode v Sloveniji: Ocena stanja voda za obdobje 2006-2008 po določenih okvirne direktive o vodah. Medmrežje:

<http://www.arso.gov.si/vode/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/vode%20v%20sloveniji.pdf> (12. 6. 2013)

24. Mitsch, W., Jørgensen, S. E., Ecological engineering and ecosystem restoration. (2004). John Wiley & Sons.

25. Mueller, B., Goswami, D., Rock, S., Greene, A. K., Tsao, D., Kurnuc, J., Geller, K., Strauss, P., Coia, M., Thuraisingham, R., Hoddinott, K., Hall, T., Newman, L., Compton, H., Berti, B., Olson, K., Douglas, T., Gatchett, A., Lasat, M., Easley, D. Foote, E. 2001: Phytotechnology technical and regulatory guidance document. Medmrežje:

<http://www.state.nj.us/dep/dsr/bscit/Phytoremediation.pdf> (10. 9. 2013)

26. Pobrežnik, M., Bauman, M., Lobnik, A. (2011). Temeljni ukrep mora biti stalni nadzor vnosa onesnaževal. V: Upravljanje voda v Sloveniji. Celje, Fit media d.o.o., str. 118–128.
27. Poročilo o stanju okolja 2002. Agencija republike Slovenije za okolje. Medmrežje: <http://www.arso.gov.si/varstvo%20okolja/poro%C4%8Dila/poro%C4%8Dila%20o%20stanju%20okolja%20v%20Sloveniji/vode.pdf> (23. 3. 2013)
28. Pravilnik o oskrbi s pitno vodo, Ur. l. RS, št. 35/2006, 41/2008, 28/2011, 88/2012. Medmrežje: http://zakonodaja.gov.si/rpsi/r07/predpis_PRAV6487.html (13. 12. 2013)
29. Pravilnik o pitni vodi, Ur. l. RS, št. 19/2004, 35/2004, 26/2006, 92/2006, 25/2009. Medmrežje: http://zakonodaja.gov.si/rpsi/r03/predpis_PRAV3713.html (13. 12. 2013)
30. Prestor, J., Brenčič, M. (1999). Podzemna voda – kje in kdaj? V: Ogrožanje vodnih virov in nevarne snovi v vodi. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje, str. 27–28.
31. Revar, M. (2008). Fitoremediacijske tehnologije: možnosti in perspektive. V: Ekoremediacije: sredstvo za doseganje okoljskih ciljev in trajnostnega razvoja Slovenije. Ljubljana, KATR, str. 113–131.
32. Samec, N. 2006: Okoljsko inženirstvo: študijsko gradivo za podiplomski študijski program tehniškega varstva okolja.
- Medmrežje: http://iepoi.uni-mb.si/samec/Stud_gradivo/Okoljsko_inzenirtsvo-mag.pdf (3. 5. 2013)
33. Urbanc, J., Mali, N., Prestor, J. (2011). Varovanje pitne vode v Sloveniji. V: Upravljanje voda v Sloveniji. Celje, Fit media d.o.o., str. 76–84.
34. Uredba o stanju podzemnih voda, Ur. l. RS, št. 25/2009, 68/2012. Medmrežje: http://zakonodaja.gov.si/rpsi/r01/predpis_URED5121.html (13. 12. 2013)
35. Vmesno poročilo o poteku priprave načrta upravljanja voda na vodnem območju Donave. (2008). Agencija republike Slovenije za okolje. Medmrežje: http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/podrocja/okolje/pdf/vode/pzuv_povz_donava_maj08.pdf (3. 9. 2013)
36. Vovk, K. A., Vrhovšek, D. (2006). Ekoremediacije za učinkovito varovanje okolja. Maribor, Inštitut za promocijo varstva okolja.
37. Vovk, K. A., Vrhovšek, D. (2007). Ekoremediacije za doseganje okoljskih ciljev v Sloveniji. Ljubljana in Maribor, Revija za geografijo, leto 1-3, str. 39–53.
38. Vrhovšek, D., Vovk, K. A. (2009). Ekoremediacije. Ljubljana in Maribor, Limnos d.o.o., Filozofska fakulteta Maribor, Mednarodni center za ekoremediacije.
39. Zakon o varstvu okolja, Ur. l. RS št. 41/2004, 17/2006, 20/2006, 28/2006, 49/2006, 66/2006, 112/2006, 33/2007, 57/2008, 70/2008, 108/2009, 108/2009, 48/2012, 57/2012, 97/2012, 92/2013. Medmrežje: http://zakonodaja.gov.si/rpsi/r05/predpis_ZAKO1545.html (13. 12. 2013)

40. Zakon o vodah, Ur. l. RS št. 67/2002, 110/2002, 2/2004, 41/2004, 57/2008, 57/2012, 100/2013. Medmrežje: http://zakonodaja.gov.si/rpsi/r04/predpis_ZAKO1244.html (13. 12. 2013)

41. Zupan, M., Grčmar, H., Lobnik, F. 2008: Raziskave onesnaženosti tal Slovenije. Medmrežje:

http://www.mko.gov.si/fileadmin/mko.gov.si/pageuploads/svo/raziskave_onesnazenosti_tal.pdf (4. 9. 2013)

42. Zupančič, J. M., Vrhovšek, D., Vrhovšek, M., Istenič, D., Ameršek, I. (2010). Strokovne podlage za zagotavljanje zaščite pitnih virov s pomočjo ekoremediacij. Ljubljana, Limnos d.o.o.