

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Mateja KRALJ

**UČINKOVITOST EKOREMEDIACIJSKEGA JARKA
PRI LEŠNICI**

DIPLOMSKO DELO

Visokošolski strokovni študij

Ljubljana, 2009

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA AGRONOMIJO

Mateja KRALJ

Učinkovitost ekoremediacijskega jarka pri Lešnici

DIPLOMSKO DELO
Visokošolski strokovni študij

EFFICIENCY OF ECOREMEDIATION DITCH AT LEŠNICA

GRADUATION THESIS
Higher professional studies

Ljubljana, 2009

**Voda ni nikoli tako čista, da se ne bi mogla skaliti in
nikoli tako kalna, da se ne bi mogla zbistriti**
(Slovenski pregovor)

Diplomsko delo je zaključek Visokošolskega strokovnega študija kmetijstva- agronomije in hortikulture. Opravljeno je bilo na Katedri za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora in ekonomiko ter razvoj podeželja, v sodelovanju s podjetjem za aplikativno ekologijo LIMNOS d. o. o., na Oddelku za agronomijo, Biotehniške fakultete, Univerze v Ljubljani. Poskus je bil opravljen na ekoremediacijskem (ERM) jarku pri Lešnici (Prlekija), kemijske analize so bile izvedene v Zavodu za zdravstveno varstvo (ZZV) Maribor, na Inštitutu za varstvo okolja.

Študijska komisija Oddelka za agronomijo je za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Marino PINTAR in somentorja dr. Alenko ŠAJN- SLAK.

Komisija za oceno in zagovor:

- Predsednica: prof. dr. Katja VADNAL
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Članica: izr. prof. dr. Marina PINTAR
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
- Članica: dr. Alenka ŠAJN- SLAK
CGS plus, Inovativne informacijske in okoljske tehnologije, d.o.o.
- Član: prof. dr. Franc LOBNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisana se strinjam z objavo svoje diplomske naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddala v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Mateja KRALJ

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Vs
DK	UDK 626.86:63/.62:504.05(043.2)
KG	Osuševalni jarki/kmetijstvo/onesnaževanje voda/čiščenje voda/ekoremediacije
KK	AGRIS P01/P11
AV	KRALJ, Mateja
SA	PINTAR, Marina (mentor)/ŠAJN- SLAK, Alenka
KZ	SI- 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
LI	2009
IN	UČINKOVITOST EKOREMEDIACIJSKEGA JARKA PRI LEŠNICI
TD	Diplomsko delo (visokošolski strokovni študij)
OP	XII, 37 str., 19 pregl., 13 sl., 39 vir.
IJ	sl
JJ	sl/ en
AI	Ekoremediacije so sistemi, ki za izboljševanje okolja izkoriščajo naravne danosti in zakonitosti, med drugim se uporabljajo tudi za čiščenje odpadnih voda in zaščito podtalnice (ERM). Velik vir onesnaževanja vode predstavlja onesnaževanje iz kmetijskih dejavnosti, predvsem zaradi uporabe rastlinskih gnojil in zaščitnih sredstev. Hranila, ki se jih dodaja na kmetijska zemljišča in ki jih kulturne rastline ne morejo v celoti izkoristiti se spirajo v podtalnico in bližnje vode. Namen izgradnje pilotnega objekta (ERM osuševalnega jarka) je bil ugotoviti, kakšen vpliv imajo ERM jarki na čiščenje voda. ERM jarek pri Lešnici je bil zgrajen na obstoječem osuševalnem jarku v letu 2006. Od aprila do septembra 2007 smo vzorčevali vodo na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici na vsebnost hranil v vodi. Analize so bile opravljene v ZZV Maribor, na Inštitutu za varstvo okolja. Prav tako smo na objektu opravili meritve zadrževalnega časa z metodo elektroprevodnosti ter hitre teste za nitratni in amonijev ion, s pomočjo katerih smo lahko ugotovili, da je ocena učinkovitosti čiščenja hranil dovolj dobra tudi ob neupoštevanju zadrževalnega časa ob vzdrževanju. Laboratorijske analize so pokazale, da so koncentracije nitratov, nitritov, dušika po Kjeldahlu, KPK, BPK₅ in amonija ob prehodu skozi ERM jarek pri Lešnici na iztoku nižje, kot na dotoku, medtem ko se je vsebnost skupnih fosfatov in ortofosfatov zvišala. Na podlagi analiz smo lahko ugotovili, da je učinkovitost ERM jarka velika in da bi bila uporaba tako urejenih osuševalnih jarkov smotrna. Opozoriti pa je potrebno na dejstvo, da bi v primeru premajhnega prečnega profila jarka morali posegati v bližnja kmetijska zemljišča za povečanje profila, s čimer bi preprečili zastajanje vode na dotoku ERM osuševalnega jarka, kar bi lahko vplivalo na odločitev za izgradnje takega sistema

KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD)

DN Vs
DC UDK 626.86:63/.62:504.05(043.2)
CX Drainage ditch/agricultural production/water pollution/water cleaning/ecoremediation
CC AGRIS P01/P11
AU KRALJ, Mateja
AA PINTAR Marina (supervisor)/ ŠAJN- SLAK Alenka (co- supervisor)
PP SI- 1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo
PY 2009
TI EFFICIENCY OF ECOREMEDIATION DITCH AT LEŠNICA
DT Graduation Thesis (Higher professional studies)
NO XII, 37 p., 19 tab., 13 fig., 39 ref.
LA sl
AL sl/ en
AB Ecoremediations are systems, which exploit natural sources and processes. Among other uses that they have, they are efficient in cleaning waste waters and protecting underground waters (ERM). Agriculture is considered as a big source of water pollution, especially with its use of plant fertilizers and chemical preservatives. Plants can't entirely exploit fertilizers, which are used in agriculture, so they leak into nearest underground waters and other water bodies. The purpose of building pilot objects, such as ERM drainage ditches, is to figure out, what kind of influence they have on the cleaning of these waters. We have taken for a sample an ERM ditch near Lešnica, which was built in 2006 over an already existing melioration ditch. From September 2007 we have taken samples of waters from inflow and outflow of this particular ERM ditch, for the purpose of measuring concentration of fertilizers in water. Analyses were done on Institute for environment protection on Institute of public health in Maribor (ZZV Maribor). On the object we also did measurements of retention time with electro conductivity method and fast analyses for nitrate and ammonium ion. With their help we can say, that even if the retention time, which is maintained, is not taken into consideration, the estimation of the cleaning efficiency of the fertilizers is still good enough. Laboratory analyses have shown that concentration of nitrate, nitrite, nitrogen after Kjeldahl, KPK, BPK₅ and ammonium is lower on the outflow than on the inflow, when passing through the ERM ditch near Lešnica. On the other hand the collective concentration of phosphates and orthophosphates has increased. On the base of analyses we can say, that the efficiency of an ERM ditch is significant and that the use of such drainage ditches would be useful. But we have to point out the fact that if the cross-section of the ditch bed is too small, we would have to encroach on the farmland nearby to widen the cross-section in order to prevent water stagnation on the inflow of the ERM melioration ditch, which would influence our decision of building the ditch in the first place.

KAZALO VSEBINE

	Ključna dokumentacijska informacija	III
	Key words documentation	IV
	Kazalo vsebine	V
	Kazalo slik	VII
	Kazalo preglednic	VIII
	Okrajšave in simboli	X
	Slovarček	XI
1	UVOD	1
1.1	OPREDELITEV PROBLEMA	1
1.2	CILJI RAZISKOVANJA	1
2	PREGLED OBJAV	2
2.1	POMEN ERM SISTEMOV	2
2.2	DELITEV ERM	2
2.2.1	Klasična delitev ERM	3
2.2.1.1	Naravne ERM	3
2.2.1.2	Stari načini ERM	3
2.2.1.3	Novi načini ERM	3
2.2.1.4	ERM za sanacijo nepravilnih posegov	4
2.2.2	Delitev ERM glede na tip rasti makrofitov in glede na pretok vode skozi ERM	4
2.2.2.1	Fitoremediacije	5
2.3	KMETIJSTVO V SLOVENIJI	5
2.3.1	Kmetijstvo v Podravju	7
2.3.2	Poraba rastlinskih hranil v kmetijstvu	7
2.3.3	Najpogostejše oblike ERM sistemov v kmetijstvu	8
2.4	PROCESI DOGAJANJA V ERM IN NJIHOVA SESTAVA	9
2.4.1	Substrat	9
2.4.2	Makrofiti v ERM	9
2.4.3	Mikroorganizmi	11
2.4.4	Kroženje snovi in procesi razgradnje	12
2.4.4.1	Dušikov cikel v ERM jarku in močvirju	12
2.4.4.2	Cikel fosforja v ERM jarku in močvirju	13
2.4.4.3	Organska snov	14
2.5	PROFIL JARKA	14
3	MATERIALI IN METODE	16
3.1	OPIS IZBRANEGA OBMOČJA ZA IZGRADNJO ERM GREDE	16
3.1.1	Potrebe po gnojenju posameznih kulturnih rastlin	17
3.2	OPIS ERM GREDE	17
3.3	MERITVE	19

3.3.1	Merjenje zadrževalnega časa	19
3.3.2	Meritve amonijevega in nitratnega iona s pomočjo hitrih testov	20
3.3.3	Laboratorijske analize	20
3.3.4	Reakcija, temperatura in pretok vode ter vsebnost O₂	21
4	REZULTATI IN RAZPRAVA	22
4.1	ZADRŽEVALNI ČAS	22
4.2	HITRI TESTI	24
4.2.1	Amonijev ion	24
4.2.2	Nitratni ion	25
4.3	REAKCIJA, TEMPERATURA IN PRETOK VODE TER VSEBNOST O ₂	26
4.4	LABORATORIJSKE ANALIZE	26
5	SKLEPI	32
6	POVZETEK	33
7	VIRI	35
	ZAHVALA	

KAZALO SLIK

	Str.
Slika 1: Brežina osuševalnega jarka, tretirana s herbicidom	4
Slika 2: Prerez skozi gredo ERM	5
Slika 3: Navadni trst (<i>Phragmites australis</i>)	10
Slika 4: Kroženje dušika v močvirju	13
Slika 5: Kroženje fosforja v močvirju	14
Slika 6: Osuševalni jarek pri Lešnici pred izgradnjo ERM grede	16
Slika 7: Dotok ERM jarka pri Lešnici, narejen iz škarpnikov	18
Slika 8: ERM jarek pri Lešnici takoj po izgradnji, pred zasaditvijo z navadnim trstom (<i>Phragmites australis</i>)	18
Slika 9: Pogled na ERM jarek, zasajen z navadnim trstom (<i>Phragmites australis</i>)	19
Slika 10: Merjenje zadrževalnega časa vode v ERM jarku pri Lešnici z metodo elektroprevodnosti	20
Slika 11: Merjenje zadrževalnega časa ERM jarka pri Lešnici z metodo koncentracije elektrolitov ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na iztoku, dne 16. 12. 2006	22
Slika 12: Merjenje zadrževalnega časa ERM jarka pri Lešnici z metodo koncentracije elektrolitov ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na iztoku, dne 15. 3. 2007	23
Slika 13: Merjenje zadrževalnega časa ERM jarka pri Lešnici z metodo koncentracije elektrolitov ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na iztoku, dne 15. 6. 2007	24

KAZALO PREGLEDNIC

	Str.
Preglednica 1: Površine kmetijskih zemljišč, njiv in vrtov, travnikov in pašnikov ter trajnih nasadov za Slovenijo v letih 1991-2008, podane v ha	6
Preglednica 2: Površine kmetijskih zemljišč v celotni Sloveniji ter razčlenjena na vzhodni in zahodni del Slovenije za leto 2007, podane v ha	6
Preglednica 3: Obseg pridelave posameznih poljščin na površini celotne Slovenije in razčlemba na vzhodno in zahodno Slovenijo za leto 2007, podana v ha	7
Preglednica 4: Skupna površina zemljišč v Podravju, površina kmetijskih zemljišč, površina njiv (razčlenjena na pridelavo žit in zelene krme) za leto 2003, 2005 in 2007 podane v ha	7
Preglednica 5: Letna poraba mineralnih gnojil v kmetijstvu od leta 1995 do 2007 na vseh kmetijskih zemljiščih v Sloveniji	8
Preglednica 6: Prikaz metod, uporabljenih za merjenje posameznih parametrov, merjenih v ZZV Maribor, na Inštitutu za varstvo okolja	21
Preglednica 7: Vsebnost amonijevega iona (mg/l) v vzorcu vode, odvzetem na dotoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različni čas odvzema vzorca	25
Preglednica 8: Vsebnost amonijevega iona (mg/l) v vzorcu vode, odvzetem na iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različni čas odvzema vzorca	25
Preglednica 9: Vsebnost nitratnega ion (mg/l) v vzorcu vode, odvzetem na dotoku ERM jarka, glede na različni čas odvzema vzorca	25
Preglednica 10: Vsebnost nitratnega ion (mg/l) v vzorcu vode, odvzetem na iztoku ERM jarka, glede na različni čas odvzema vzorca	25
Preglednica 11: Meritve pretoka vode (ml/s), tem. vode (°C), O ₂ (%) in pH vode, v ERM jarku pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja	26
Preglednica 12: Vsebnost amonija (mg NH ₄ /l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja	27
Preglednica 13: Vsebnost nitrita (mg NO ₂ /l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja	27
Preglednica 14: Vsebnost nitrata (mg NO ₃ /l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja	27
Preglednica 15: Vsebnost dušika (mg N/l) po Kjeldahlu na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja	28
Preglednica 16: Vsebnost KPK – K ₂ Cr ₂ O ₇ (mg O ₂ /l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja	28

Preglednica 17:	Vsebnost BPK ₅ (mg O ₂ /l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja	29
Preglednica 18:	Vsebnost ortofosfatov (mg PO ₄ /l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja	29
Preglednica 19:	Vsebnost skupnih fosfatov (mg PO ₄ /l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja	30

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

KPK	Kemijska potreba po kisiku
BPK₅	Biokemijska potreba po kisiku
ERM	Ekoremediacija
TOC	(total organic carbon) celotni organski ogljik
RČN	Rastlinska čistilna naprava
Sod.	Sodelavci
SURS	Statistični urad Republike Slovenije

SLOVARČEK*

Adsorpcija: je pojav, ko se snov (plin, tekočina ali trdna snov) veže na površino druge snovi (pri absorpciji pa snov prodre v globino druge snovi). Vezi med snovjo, ki se veže na površino, so lahko fizikalne ali kemijske.

Aeroben: aerobni organizmi potrebujejo za življenje kisik iz ozračja. V to skupino organizmov sodijo rastline ter večina živali in mikroorganizmov.

Amonifikacija: razkroj organskih dušičnih snovi v amoniak

Anaeroben: je oznaka za okolje, v katerem ni kisika.

Anorganska gnojila: so snovi, ki pospešujejo rast rastlin in vsebujejo topne anorganske soli. Primer: gnojilo NPK vsebuje dušikove, fosforjeve in kalijeve soli.

Biodiverziteteta: biotska raznovrstnost

Biofilm ali biološka prerast: mikroorganizme, ki rastejo na nosilcu imenujemo biofilm. Biofilm je lepljiv, želatinast in vsebuje veliko raznovrstnih populacij živih organizmov. Uporablja se za procese biološkega čiščenja.

Biogeokemični cikel: izmenjava kemičnih elementov med atmosfero, kameninami zemeljske skorje, vodo in živimi bitji

BPK₅: pove nam, koliko kisika se porabi v petih dneh pri standardnih pogojih za oksidacijo lahko razgradljivih, večinoma organskih snovi

Denitrifikacija: Je biokemični proces redukcije nitratov in nitritov do elementarnega N₂, ki ga izvedejo nekatere heterotrofne bakterije v anaerobnih pogojih.

Ekoremediacije: uporaba naravnih procesov za obnovo in zaščito okolja (eko + remediacija = » naravna ponovna oživitev«)

Emergentni makrofiti: so ukoreninjene višje rastline, ki rastejo na stalno ali občasno poplavljenih tleh. Podzemni deli in del nadzemnih delov so potopljeni, medtem ko so asimilacijska tkiva in razmnoževalni organi nad vodo

* povzeto po virih: Dular in sod., 1997; Hutchinsonov ...,2004; Madigan in sod., 1997; Petauer, 1993; Tarman, 1992

Evtrofikacija: povečanje koncentracije hranilnih snovi v vodi, ki povzroči pretirano rast organizmov in pomanjkanje razpoložljivega kisika; proces, ki zaradi dotoka organskih snovi ali mineralnih gnojil povzroči, da ta postane evtrofna

Filtracija: uvrščamo jo med mehanske operacije čiščenja. Namen filtracije je ločevanje suspenzije v trdno in tekočo fazo na osnovi različne velikosti delcev, ki se jih loči s pomočjo filtrirnega sredstva. Ločena trdna snov se imenuje filtrna pogača, tekoča faza pa filtrat.

KPK: je mera za ekvivalent kisika za razgradnjo organskih snovi sposobnih oksidacije z močnim kemičnim oksidantom

Makrofit: splošno ime za vodne rastline, vidne s prostim očesom (večje alge, praprotnice in semenke)

Mikoriza: sožitje med glivami in višjimi rastlinami. Pri tem prihaja do povezav in izmenjave snovi: gliva prejema od rastline organske snovi, dovaja pa ji vodo, rudninske snovi, rastne hormone in nekatere vitamine.

Mikroorganizmi: so mikroskopsko majhni organizmi, ki sodelujejo v različnih biokemijskih procesih. Mednje sodijo bakterije, razne glive, alge in praživali.

Mineralizacija: imenujemo proces razkroja organskih snovi v anorganske. Poteka s pomočjo drobnoživk, ki živijo v tleh

Nitrifikacija: je oksidacija amonija do nitritov in nitritov do nitratov s pomočjo aerobnih mikroorganizmov (iz odmrlih živalskih in rastlinskih organizmov). Z nitrifikacijo označujemo oksidacijo amoniaka (iz odmrlih živalskih in rastlinskih organizmov) v dušikovo kislino oz. v nitrate.

Percipitacija ali obarjanje ali oboritev: izločanje snovi s kemijskimi reakcijami iz raztopine v obliki trdnih delcev

Perifiton: sestavljajo ga majhni organizmi, ki se naselijo na trdno podlago v vodnem okolju

Sedimentacija: je mehanska operacija, pri kateri se ločijo suspendirane snovi od tekoče faze na osnovi gravitacijske sile (ob predpostavki, da imajo večjo gostoto od tekoče faze), zaradi katere se težji delci posedajo na dno usedalnika

TOC: pove nam količino vsega organskega ogljika vezanega v organskih molekulah.

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Onesnaževanje vode v svetu postaja vse večji problem. Velik delež onesnaževanja se pripisuje tudi onesnaževanju iz kmetijskih dejavnosti, predvsem z vnosom rastlinskih gnojil in pesticidov v tla. Zaradi tega se pojavljajo vse večje potrebe po naravnih čistilnih napravah, tako imenovanih ekoremediacijskih (ERM) sistemih, ki bi v veliki meri očistile vodo na samem mestu vnosa oz. čim bližje vnosu onesnaževalcev.

V diplomski nalogi so predstavljeni predvsem ERM sistemi, ki temeljijo in so zasnovani ter namenjeni čiščenju onesnaževal iz vode. Diplomaska naloga je zasnovana na sistemu, ki je namenjen čiščenju hranil iz vode, ki pritečejo iz bližnjih kmetijskih zemljišč.

Prav tako je potrebno omeniti, da se pri nas uporablja več izrazov za ERM sisteme, kot so čistilna greda, ERM sistem, ERM jarek, rastlinska čistilna naprava, ERM greda. Zato se tudi v diplomski nalogi pojavljajo različni izrazi za ERM ureditve, ki so enakega pomena.

1.2 CILJI RAZISKOVANJA

Namen našega dela je proučiti učinkovitost ERM jarka pri Lešnici pri zmanjšanju vsebnosti hranil v vodi.

2 PREGLED OBJAV

2.1 POMEN ERM SISTEMOV

ERM so sistemi za čiščenje, zadrževanje in preprečevanje onesnaženja narave, ki so osnovani na uporabi samočistilnih sposobnosti naravnih sistemov. S pomočjo ERM sistemov lahko zmanjšamo negativne vplive, ki so posledica kmetijstva, urbanega okolja, prometa, industrije in podobno. Velika prednost ERM sistemov je tudi ta, da je njihova uporaba večnamenska, saj jih lahko uporabljamo tako za čiščenje in zadrževanje vode, kot za ohranitev biološke raznovrstnosti ter v namen energetske izrabe. Delovanje ERM lahko izboljšamo tako, da že obstoječim ali umetno vzpostavljenim ekosistemom povečamo samočistilno sposobnost (Berden Zrimec in sod., 2006).

ERM metode, ki se nanašajo na izboljšanje stanja voda, vključujejo različne procese, kot so zbiranje, zadrževanje in čiščenje vode. ERM metode izkoriščajo samočistilne sposobnosti naravnih ekosistemov. Delovanje naravnih ekosistemov lahko izboljšamo s postavitvijo RČN, vegetacijskih pasov in drugih sonaravnih metod. ERM so lahko zelo koristne na kmetijskih zemljiščih, saj lahko s postavitvijo sistemov zmanjšamo ali celo preprečimo odtekanje hranilnih snovi in zaščitnih sredstev, ki jih dodajamo na kmetijska zemljišča, v vodotoke in podtalnico (Vovk Korže in Vrhovšek, 2006).

Prednosti ERM sistemov (Istenič, 2006; Vovk Korže in Vrhovšek, 2006; Berden Zrimec in sod., 2006, Griessler Bulc in Vrhovšek, 2007):

- vzpostavitev sistema ni draga,
- ERM za svojo delovanje ne potrebuje elektrike ali kakršne koli druge oblike energije, saj deluje na principu naravnih zakonitosti,
- učinkovito odstranjuje dušikove in fosforjeve spojine, težke kovine ter druge strupene snovi,
- učinkovito zmanjšuje številne fekalne in druge bakterije,
- vzdrževanje je enostavno in poceni,
- ohranjajo se naravne zakonitosti,
- se lepo vključujejo v okolje in prispevajo k lepšemu zgledu krajine,
- vodna zajetja omogočajo namakanje v sušnih obdobjih,
- življenjski prostor mnogih rastlinskih in živalskih vrst,
- odpravlja in preprečuje dolgotrajne posledice škodljivih vplivov človekovih aktivnosti v okolju,
- omogoča čiščenje odpadnih voda iz netočkovnih (razpršenih) virov (meteorne vode, kmetijstvo).

2.2 DELITEV ERM

Zaradi obsega ERM so nastale številne klasifikacije. Osnovna klasifikacija ERM je klasična delitev (Vovk Korže in Vrhovšek, 2006; Istenič, 2006; Vrhovšek, 2006).

Obstajajo pa še številne delitve kot so: problemska delitev, ki se nanaša na problem, ki ga želimo rešiti z ERM, ekosistemska delitev (različnost ekosistemov), sektorska delitev itd. (Vovk Korže in Vrhovšek, 2006).

2.2.1 Klasična delitev ERM

- Naravne ERM
- Stari načini ERM
- Novi načini ERM
- ERM za sanacijo nepravilnih posegov

2.2.1.1 Naravne ERM

Naravne ERM temeljijo na procesih naravnih vodotokov, ki zajemajo vodne in obvodne ekosisteme. Med naravne ERM prištevamo: tolmane, brzice, prodne nanose, trstišča, stranske rokave, vegetacijske pasove in somorna močvirja v delti reke. Naravne ERM imajo tudi številne funkcije, med katerimi so pomembnejše: habitatna pestrost, varovanje pred poplavi, zadrževanje vode v sušnih obdobjih in velika samočistilna sposobnost (Vrhovšek, 2006; Vovk Korže in Vrhovšek, 2006).

2.2.1.2 Stari načini ERM

Te načine ERM ureditev so uporabljali v preteklosti. Ljudje so na glinenih tleh naredili vodna zajetja oz. objekte, kjer se je zadrževala deževnica. Taka zajetja so imenovali kal, puč, lokev ali mlaka. Tla so kmalu zarasle različne rastlinske vrste ter se naselile mnoge živali in mikroorganizmi. Med stare načine ERM se uvrščajo tudi mejice. Gre za pasove dreves ali grmovnic med njivami. Funkcija mejic je predvsem v zadrževanju vlage, kar je še posebej pomembno v sušnih obdobjih. Na drevesih in v grmovnicah domujejo številne ptice in druge živali, ki uničujejo mnoge škodljivce na bližnjih njivah. Prav tako pa med dobre lastnosti takega načina ureditve štejemo zadrževanje hranil v drevesnih pasovih, ki bi v nasprotnem primeru odtekla v bližnje vodotoke ali v podtalnico (Vrhovšek, 2006).

2.2.1.3 Novi načini ERM

Novi načini ERM sistemov pripomoremo k zmanjšanju in zaščiti pred različnimi vrstami onesnaževanja in temeljijo na naravnih procesih in različnih oblikah ekosistemov. V to skupino ERM prištevamo rastlinske čistilne naprave (RČN), vegetacijske pasove in bariere, ERM za zaščito mokrišč, zadrževalnike vode ter sonaravne sanacije deponij.

2.2.1.4 ERM za sanacijo nepravilnih posegov

Pod to skupino ERM se uvrščajo ukrepi, ki temeljijo na sanacijah nepravilnih posegov. Slika 1 prikazuje tretiranje brežine osuševalnega jarka s herbicidom, kar negativno vpliva na jarek, saj je sposobnost zadrževanja odvečnih hranil, ki pritečejo iz bližnjih kmetijskih zemljišč, v tem primeru manjša, prav tako je taka brežina jarka bolj izpostavljena eroziji. Namen teh ERM sistemov je vzpostavitev ekološkega ravnovesja in čiščenje degradiranih tal ali sedimentov (Vrhovšek, 2006). Čiščenje tal ali sedimentov pa nam omogoča zasaditev tal z ustreznimi rastlinami (uporabljeno metodo imenujemo fitoremediacija). Fitoremediacije se delijo na podenote, in sicer glede na to, na kakšen način rastlina pripomore k čiščenju snovi iz tal (Fraser, 2000).



Slika 1: Brežina osuševalnega jarka, tretirana s herbicidom

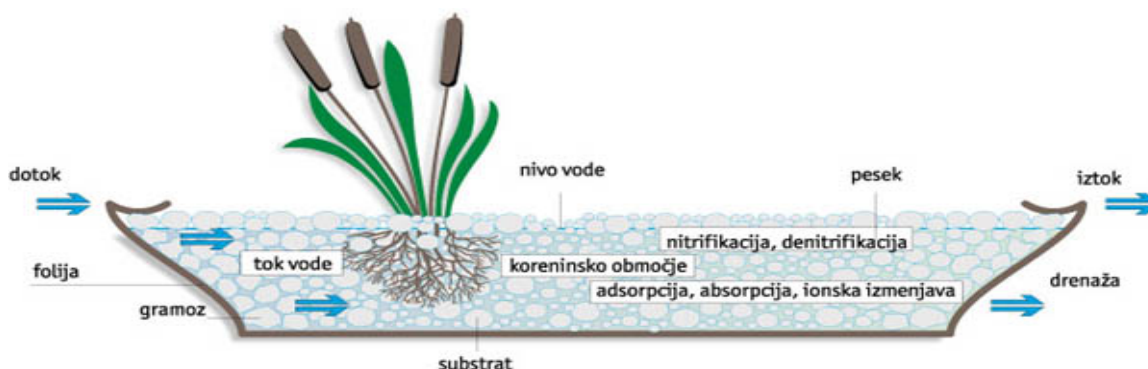
2.2.2 Delitev ERM glede na tip rasti makrofitov in glede na pretok vode skozi ERM

Obstaja tudi klasificiranje ERM glede na tip rasti makrofitov ter glede na to, na kakšen način voda prehaja skozi ERM.

Tukaj razlikujemo (Griessler Bulc in Vrhovšek, 2007):

- sisteme s prosto plavajočimi makrofiti; najpogostejše se uporabljata sistema z vodno hijacinto (*Eichornia crassipes*) in vodno lečo (*Lemna spp.*),
- sisteme z ukoreninjenimi emergentnimi makrofiti – horizontalni tok vode je pod površino; rastline, ki jih najpogostejše uporabljamo pri teh sistemih so navadni trst (*Phragmites australis*) in rogoz (*Typha spp.*),

- sisteme z ukoreninjenimi emergentnimi makrofiti – tok vode je vertikalni pod površino; ti sistemi imajo enak princip delovanja kot prej omenjeni sistem, vendar je tukaj omogočena boljša prezračevnost (slika 2).



Slika 2: Prerez skozi gredo ERM (Vrhovšek in Kroflič, 2007)

2.2.2.1 Fitoremediacije

S fitoremediacijami lahko izboljšamo kemijsko in ekološko stanje vode. Pri fitoremediacijah uporabljamo rastline za fiksacijo ali odstranjevanje onesnaženosti voda ali tal (Fraser, 2000). Poznamo več mehanizmov fitoremediacij, ki na različne načine pripomorejo pri čiščenju voda ali tal. Mehanizmi fitoremediacij so: fitovolatizacija (uporabljamo rastline, ki privzemajo in izločajo onesnaževala v hlapni obliki, kar pomeni, da pretvorijo škodljive snovi v manj škodljive ali neškodljive in jih v procesu transpiracije sproščajo v atmosfero), fitodegradacija (tukaj gre za uporabo rastlin v kombinaciji z mikroorganizmi, kateri organske onesnaževalce razgradijo v manj ali neškodljive), rizofiltracija (pri tem mehanizmu fitoremediacij se škodljive snovi zadržijo v območju korenin ali v samih koreninah), fitoekstrakcija (rastline prenesejo in zadržijo škodljive snovi v nadzemnih delih rastline – uporabljamo rastline z veliko produkcijo biomase), fitostabilizacija (tukaj uporabljamo rastline, ki stabilizirajo onesnaževalce okolja v tla) (Fraser, 2000).

2.3 KMETIJSTVO V SLOVENIJI

Obseg kmetijskih zemljišč v Sloveniji od leta 1997 do danes niha med 490000 in 510000 ha. Po letu 2000 se je povečal obseg njiv, hkrati pa se je zmanjšal obseg trajnih nasadov (posledica opuščanja kmečkih sadovnjakov). Iz podatkov, podanih v preglednici 1, lahko razberemo, da največji delež kmetijskih zemljišč zajemajo travniki in pašniki, sledijo jim njive in vrtovi, najmanjši deleže kmetijskih zemljišč je namenjen trajnim nasadom. Iz tega je razvidno, da je kmetijstvo v Sloveniji zelo razširjeno, kar pomeni, da je tudi vnos hranil in pesticidov v tla in v vodna telesa dokaj velik. Pomembno pa je poudariti tudi dejstvo, da prihaja do prehoda hranil in pesticidov iz kmetijskih zemljišč v vodno okolje tudi pri pravilni rabi omenjenih snovi. Do veliko večjega vnosa pride v primerih ob nepravilni rabi zaščitnih sredstev in gnojil.

V preglednici 1 so prikazani podatki, ki prikazujejo obseg skupnih kmetijskih zemljišč v kategorijah rabe v Sloveniji za leta od 1991 do 2008.

Preglednica 1: Obseg kmetijskih zemljišč, njiv in vrtov, travnikov in pašnikov ter trajnih nasadov za Slovenijo v letih 1991-2008, v ha (Statistični..., 2009)

Leto	Kmetijska zemljišča	Njive in vrtovi	Travniki in pašniki	Trajni nasadi
1991	561294	195117	334329	31848
1992	555871	190984	333300	31587
1993	552760	191351	330357	31052
1994	537586	187024	319106	31456
1995	524965	184874	308674	31418
1996	513473	181404	300806	31263
1997	494271	173518	289987	30766
1998	490918	172721	287473	30724
1999	498591	172082	296592	29917
2000	508960	170849	308196	29915
2001	509624	172672	307037	29615
2002	505462	168414	307176	29872
2003	509709	172753	308348	28608
2004	490520	175082	286830	28608
2005	508759	176314	304906	27539
2006	490318	177780	285000	27539
2007	498466	175035	297284	26147
2008	492424	180303	285973	26148

Kmetijstvo je veliko bolj razširjeno v vzhodnem delu Slovenije, kar je tudi razvidno iz preglednice 2, ki prikazuje obseg kmetijskih zemljišč v celotni Sloveniji in razčlenbo na vzhodni in zahodni del.

Preglednica 2: Obseg kmetijskih zemljišč v celotni Sloveniji razčlenjenih na vzhodni in zahodni del Slovenije za leto 2007, v ha (Statistični..., 2009)

	Celotno območje	Vzhodni del	Zahodni del
Vsa zemljišča	921226	597126	324100
Kmetijska zemljišča	524167	356287	167880
Njive	174709	143659	31049
Žita	98584	89925	8658
Zelena krma iz njiv	51469	33897	17571

Več kot 50 % njiv služi za pridelovanje žit, med katerimi prevladuje pridelava pšenice in koruze za zrnje. Pridelavi žit sledi pridelava zelene krme (več kot 25 %), med katerimi so najpogostejše: silažna kuruza, trave in travno- deteljne mešanice (Ocena stanja..., 2009).

Preglednica 3 prikazuje obseg kmetijskih zemljišč (ha) v Sloveniji za leto 2007 (in razčlemba na vzhodni in zahodni del Slovenije), na katerih so bile pridelane pšenica in pira, ječmen, rž, oves, koruza za zrnje, hmelj in oljna ogrščica.

Preglednica 3: Obseg pridelave posameznih poljščin v Sloveniji razčlenjen na vzhodno in zahodno Slovenijo za leto 2007, v ha (Statistični..., 2009)

Poljščina	Celotno območje	Vzhodni del	Zahodni del
Pšenica in pira	32040	29443	2597
Ječmen	18532	15906	2626
Rž	820	759	61
Oves	2332	1856	476
Koruza za zrnje	40906	38480	2426
Hmelj	1572	1572	/
Oljna ogrščica in repica	5358	5235	123

2.3.1 Kmetijstvo v Podravju

Kot je že razvidno iz prejšnje točke, je kmetijstvo v Podravju močno razširjeno. Skupen obseg kmetijskih zemljišč se giblje med 81500 in 84500 ha. Večji del kmetijskih zemljišč zajemajo njive, na katerih se večinoma pridelujejo žita (prevladuje pridelava pšenice in koruze za zrnje).

V preglednici 4 so prikazani podatki o obsegu zemljišč v Podravju, ki so razčlenjena na kmetijska zemljišča, njive in na površine, kjer se pridelujejo žita in zelena krma iz njiv. Podatki so podani za leta 2003, 2005 in 2007 ter izraženi v ha.

Preglednica 4: Skupen obseg zemljišč, kmetijskih zemljišč in njiv v Podravju (razčlenjena na pridelavo žit in zelene krme) za leta 2003, 2005 in 2007, v ha (Statistični..., 2009)

	2003	2005	2007
Skupna površina zemljišč	120554	119512	117786
Kmetijska zemljišča	84313	81486	83264
Njive	43401	43864	45305
Žita	28673	27470	29483
Zelena krma iz njiv	8419	9710	10070

2.3.2 Poraba rastlinskih hranil v kmetijstvu

V Pravilniku za izvajanje dobre kmetijske prakse pri gnojenju je zapisano, da lahko dodajamo tolikšno količino rastlinskih hranil, kolikor jo lahko rastlina v največji meri izkoristi, ter se pri pridelavi čim bolj preprečijo izgube hranil in posledično se tudi zmanjša vnos hranil v vode (Pravilnik ..., 2004). Po Uredbi o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla (1996) so določene mejne vrednosti za vnos rastlinskih hranil v tla, ki se jih ne

sme presegati. Te vrednosti so: za dušik N 210 kg/ha, za fosfor, izražen kot P_2O_5 , 120 kg/ha in kalij, izražen kot K_2O , 300 kg/ha (Uredba o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla, 1996). Poraba gnojil mora biti v skladu s potrebami rastlin po hranilih.

V preglednici 5 so prikazane letne porabe rastlinskih hranil za leta od 1995 do 2007 v Sloveniji na vseh kmetijskih zemljiščih, ki so v uporabi. Iz te preglednice lahko razberemo, da se giblje vnos hranil na kmetijska zemljišča od 115 kg/ha pa vse do 158 kg/ha. Razvidno je tudi, da se vnašanje rastlinskih hranil na kmetijska zemljišča od leta 2000 naprej zmanjšuje, kljub temu, da se je obseg njiv in vrtov povečal. To lahko pripišemo omejeni in smotrni porabi hranil ter vse večjemu zanimanju za biološko oz. ekološko pridelavo kulturnih rastlin.

Preglednica 5: Letna poraba mineralnih gnojil v kmetijstvu od leta 1995 do 2007 na vseh kmetijskih zemljiščih v Sloveniji (Statistični..., 2009)

Leto	Gnojila (t)	N(t)	P_2O_5 (t)	K_2O (t)	Rastlinska hranila (kg/ha)
1995	168780	32233	17391	21018	134,6
1996	168029	31296	16972	20903	134,7
1997	180599	33999	17431	22489	149,6
1998	184729	34801	18826	22945	156,0
1999	186370	34380	19717	24402	157,4
2000	174180	34159	18250	22227	146,6
2001	178166	34765	16607	20911	141,8
2002	175724	33412	15698	20655	138,0
2003	175889	34501	15311	20007	137,0
2004	162680	30264	14640	18593	129,4
2005	149504	29169	13431	16081	115,3
2006	146593	30383	12787	15458	119,6
2007	149587	29613	12745	15264	115,6

2.3.3 Najpogostejše oblike ERM sistemov v kmetijstvu

V kmetijstvu se predvsem poslužujemo ERM sistemov, ki pripomorejo pri preprečevanju odtekanja odvečnih hranil v podtalnico in bližnje površinske vodne vire ter hkrati pripomorejo tudi pri zmanjševanju vsebnosti hranil. Prav tako so zelo uporabna vodna zajetja kot oblika ERM, kar je v današnjem času še posebej pomembno, ko pojav suše ni redkost. Med najpogostejše oblike ERM sistemov, ki so vezani na kmetijstvo prištevamo naslednje (Vovk Korže in Vrhovšek, 2006):

- ERM osuševalni jarki,
- mejice,
- ERM vodotokov in stoječih voda,
- zadrževanje vode,
- RČN za gospodinjstvo,

- RČN za kmetijo,
- ERM za čiščenje zemljin,
- vegetacijski pas,
- vetrne prepreke,
- ERM za ohranjanje mokrišč,
- nasad odpornih sort kulturnih rastlin,
- ERM za ureditev celotne kmetije,
- ERM za čiščenje odvečne gnojevke.

Kot zelo koristne za zmanjševanje vsebnosti hranil, ki pritekajo iz kmetijskih zemljišč, so se pokazali obrežni varovalni pasovi. Raziskave so pokazale, da se je koncentracija nitratov s pomočjo obrežnih varovalnih pasov zmanjšala za 95 %. Iste raziskave so tudi pokazale, da denitrifikacija v varovalnih pasih, ki so zasajeni z drevesi niha od 9 do 200 kg N/ha/leto in v travnatih varovalnih pasih od 1,2 do 3 kg N/ha/leto (Hefting in de Klein, 1998).

2.4 PROCESI DOGAJANJA V ERM IN NJIHOVA SESTAVA

Pri ERM sistemih gre za sklop delovanja močvirskih rastlin, mikroorganizmov in substrata, med katerimi potekajo fizikalno-kemijski in biološki procesi, ki poskrbijo za čiščenje voda. Proces, ki poteka v ERM, so adsorpcija, sedimentacija, filtracija, mineralizacija ter aerobna in anaerobna mineralizacija. Zaradi procesov, ki potekajo v ERM sistemih je pomembno, da je čas pronicanja vode skozi sistem oz. zadrževalni čas ERM sistema čim daljši, saj to pomeni, da imajo tako mikroorganizmi kot rastline dovolj časa za procese čiščenja. Največji delež pri čiščenju vode gre pripisati aerobnim in anaerobnim bakterijam (približno 80 %), medtem ko preostali delež pri čiščenju predstavljajo rastlinska vezava mineralnih in drugih strupenih snovi v rastlinsko tkivo (Vrhovšek in Kroflič, 2007).

2.4.1 Substrat

Zelo pomembna je prava izbira substrata, saj je prav od substrata odvisna učinkovitost ERM. Substrat ima pomembne vloge pri delovanju ERM, saj omogoča filtracijo, sedimentacijo, sorbcijo, percipitacijo ter vpliva na ukoreninjenje rastlin in naselitev ter delovanje mikroorganizmov. Substrat je lahko iz različnih materialov, njegova izbira je odvisna od izbranega sistema ERM. Pri substratu, ki se uporablja za ERM sisteme, gre ponavadi za mešanico gramoza, peska, mivke, šote in tal, količina posamezne sestavine pa je odvisna od izbranega sistema ERM (Ileršič, 2007; Griessler Bulc in Vrhovšek, 2007).

2.4.2 Makrofiti v ERM

Prispevek rastlin pri čiščenju vode znaša približno 20 %. Vključujejo se v procese filtracije in adsorpcije in ohranjajo hidravlično prevodnost z razvojem rizomov in korenin. Rastline,

ki jih uporabljamo za zasaditev v ERM, morajo dobro uspevati na vlažnih tleh. Med take rastline se uvrščajo: navadni trst (*Phragmites australis*), močvirska perunika (*Iris pseudacorus*), vodna meta (*Mentha aquatica*), vodna hijacinta (*Eichornia crassipes*), rogozi (*Typha spp.*), šaši (*Carex spp.*), vodna leča (*Lemna spp.*). Naloga rastlin je, da pospešujejo fizikalno-kemijske in biološke procese za hitrejšo razgradnjo nitratov, nitritov, amoniaka, dušika, fosforja in težkih kovin in te snovi tudi privzemajo. Prav tako je njihova naloga, da dovajajo kisik pod površje oz. v vodo, kar je še posebej pomembno, saj se v teh razmerah v območju korenin naselijo aerobni mikroorganizmi, ki razgrajujejo organsko snov, med koreninami pa se naselijo anaerobni mikroorganizmi, ki pripomorejo pri čiščenju vode.

Navadni trst (*Phragmites australis*) (slika 3) je zelnata trajnica, ki jo uvrščamo v družino trav (*Poaceae*). Uspeva po vsem svetu, ponekod se pojavlja tudi kot kulturna rastlina. Uporablja se za izsuševanje močvirskih tal, sposobna pa je tudi očistiti vodo (tudi radioaktivne snovi). V višino doseže 200-400 cm, korenine se lahko razvijejo tudi do globine 75 cm. Gostota sajenja naj bo od 5 do 7 rastlin na m². Cveti v jeseni, barva cvetov je rjava. Pri navadnem trstu je bila ugotovljena in proučena stopnja mikorize. Ugotovitve so pokazale, da je stopnja koreninske mikorize pri navadnem trstu nizka, vendar se poveča v spomladanskih in jesenskih mesecih (Oliveira in sod., 2001). Prav tako je bila narejena študija o zmanjšanju hranil s pomočjo RČN z zasadnjo navadnega trsta. Ugotovljena je bila 36 % učinkovitost za zmanjšanje alg, ki so nastale kot posledica prevelike koncentracije hranil v vodi (Steinmann in sod., 2003).



Slika 3: Navadni trst (*Phragmites australis*)

Vodna meta (*Mentha aquatica*) je 50-100 cm visok zelnata trajnica, s štiriobim stebлом. Nahaja se v zmerno toplih predelih Evrope, Azije, Afrike in Severne Amerike. Listi so

jajčasti ali eliptični (dolgi 2-8 cm). Cvetovi so združeni v socvetja. Vodna meta spada v družino ustnatic (*Lamiaceae*).

Močvirska perunika (*Iris pseudacorus*) je zelnata trajnica, spada v družino perunikovk (*Iridaceae*). Uspeva v zmernih predelih severne poloble. V višino zraste od 80 do 100 cm, dobro prenaša občasno zastajanje vode, kar je pomembna lastnost rastlin, ki jih uporabljamo pri ERM.

Vodna hijacinta (*Eichornia crassipes*) je trajnica iz družine vodnih hijacintovk (*Pontederiaceae*), ki prihaja s tropskih območij Južne Amerike. Uporablja se za čiščenje odpadnih voda, saj na sebe veže dušične in fosforjeve spojine, težke kovine, nekatere organske kemikalije in zmanjšuje količino organske snovi in mikrobov. V višino zraste do 30 cm. Listi so razvrščeni v rozetah. Listni peclji so napihnjene z mehurčki, kar ji omogoča, da plava na površju.

Rogoz (*Typha spp.*) je zelnata trajnica iz družine rogozovk (*Typhaceae*). Razširjen je po vsem svetu. Najpomembnejša vrsta je širokolistni rogoz (*Typha latifolia*). Najdemo ga v plitvih do srednje globokih stoječih vodah. Rogozi imajo močne, razvejane korenike, v višino doseže 2,5 m, steblo je votlo, listi pa široki od 10 do 15 mm.

Šaši (*Carex spp.*) so zelnate trajnice, redko enoletnice, iz družine ostričevk (*Cyperaceae*), razširjeni po vsem svetu. Imajo plitvi koreninski sistem, v višino dosežejo do 40 cm. Gostota sajenja je 5 do 7 rastlin na m².

Vodna leča (*Lemna spp.*) spada v družino vodolečevk (*Lemnaceae*). Najdemo jo po vsem svetu. Najbolj razširjena je mala vodna leča (*Lemna minor*), ki doseže velikost od 2 do 4 mm. Narejena je bila tudi raziskava za čiščenje vode na osnovi ERM z vodno lečo (*Lemna gibba*), kjer se je pokazalo, da je učinkovitost čiščenja zadovoljiva, saj se je zmanjšala količina dušika na iztoku za 20 % medtem ko količina fosforja na iztoku ni bila bistveno spremenjena (Ran in sod., 2004).

2.4.3 Mikroorganizmi

Njihov prispevek pri čiščenju podtalnice in odpadnih voda v ERM sistemih znaša približno 80 %. S pomočjo aerobnih in anaerobnih mikroorganizmov potekajo številni procesi (amonifikacija, denitrifikacija, nitrifikacija, fiksacija) (Šajn Slak, 1999). ERM predstavljajo mikroorganizmom vir za ustvarjanje biofilma ali biološkega prerasta. Mikroorganizmi porabljajo organska hranila in snovi v vodi za lastne potrebe (metabolizem, rast in razmnoževanje). Da lahko mikroorganizmi pretvorijo organsko snov v anorgansko, je potreben kisik, katerega v ERM sisteme dovajamo preko rastlin.

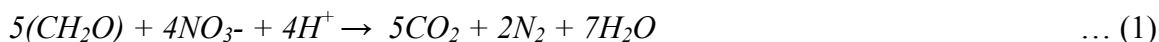
2.4.4 Kroženje snovi in procesi razgradnje

Kroženje hranil v ekosistemu poteka preko biogeokemičnih ciklov. Struktura vseh ciklov kroženja je sestavljena iz treh delov: vhoda, notranjega kroženja in izhoda.

2.4.4.1 Dušikov cikel v ERM jarku in močvirju

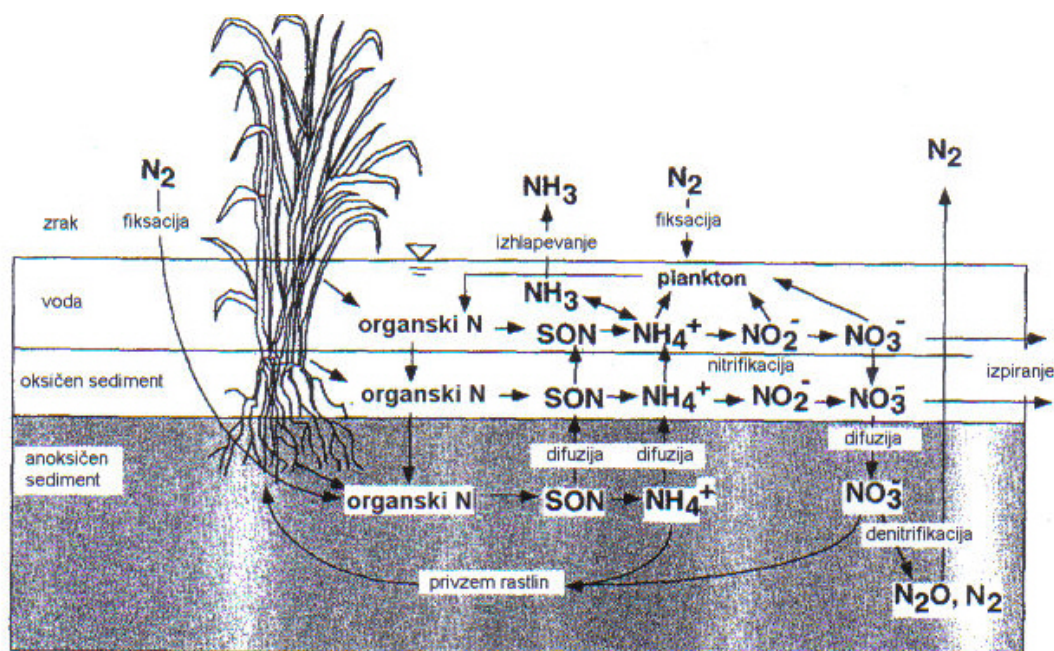
Dušik je glavni gradnik atmosfere (79 %) in je osnovni element proteinov. Večina dušika je vezanega v organske snovi. Ob mineralizaciji organske snovi nastane amonijev ion (amonifikacija ali mineralizacija). Proces amonifikacije poteka v oksičnih in anoksičnih pogojih. Amonijev ion lahko privzemajo rastline ali anaerobni mikroorganizmi, ki ga vgradijo nazaj v organsko snov. Ko pripotuje amonijev ion v oksidiran sloj v procesu nitrifikacije oksidira v nitrat. Najnižja koncentracija raztopljenega kisika za učinkovito nitrifikacijo je 2 mg/l, optimalen pH pa 7,5 – 8,5, če je pH nižji od 6, se proces nitrifikacije ustavi. Raziskave so tudi pokazale, da je stopnja nitrifikacije odvisna od temperature in je najnižja v mesecu juliju (Kusch in sod., 2003). Nitrati so negativno nabiti ioni, ki se slabo vežejo na talne koloide. Iz tega razloga je nitrat veliko bolj mobilen kot amonijev ion. Če nitrata ne asimilirajo rastline ali mikroorganizmi ali če ne zapusti ekosistema z iztoki, se lahko ponovno reducira (denitrifikacija). V tem primeru anaerobni mikroorganizmi v anaerobnih pogojih reducirajo nitrat v dušikov oksid (N₂O) ali molekularni dušik (N₂) – plina, ki takoj zapustita močvirje ali ERM jarek. Iz tega razloga je denitrifikacija najpomembnejši proces za odstranjevanje dušika iz vode. Prav tako kot pri nitrifikaciji ima temperatura pomembno vlogo tudi pri denitrifikaciji, saj je dokazano, da se denitrifikacija popolnoma ustavi, če pade temperatura pod 15 °C (Kusch in sod., 2003).

Denitrifikacija:



Rastline imajo pri procesu kroženja dušika pomembno vlogo, saj v območju korenin ustvarjajo pogoje za nitrifikacijo in denitrifikacijo. Prav tako je njihova vloga, da privzemajo določen delež dušika. Pri kroženju dušika imata pomembno vlogo tudi pH vode in temperatura, saj če je vrednost pH večja od 8, se lahko amonijev ion pretvori v amoniak, ki izhlapi v atmosfero. Fiksacija atmosferskega dušika v organski dušik se pojavi le ob zelo nizkih koncentracijah kisika, za fiksacijo pa so odgovorne aerobne in anaerobne bakterije in modrozelenke alge, ki vsebujejo encim nitrogenazo (Šajn Slak, 1999; Ileršič, 2007). Nizek pH zavira bakterijsko fiksacijo dušika. Dušik se lahko fiksira v sediment, v oksidirano rizosfero rastlin ali na površino listov ali stebel rastlin.

Kroženje dušika v močvirjih, kjer so podobni pogoji kot v ERM jarku, je prikazano na sliki 4.



Slika 4: Kroženje dušika v močvirjih (Šajn Slak, 1999)

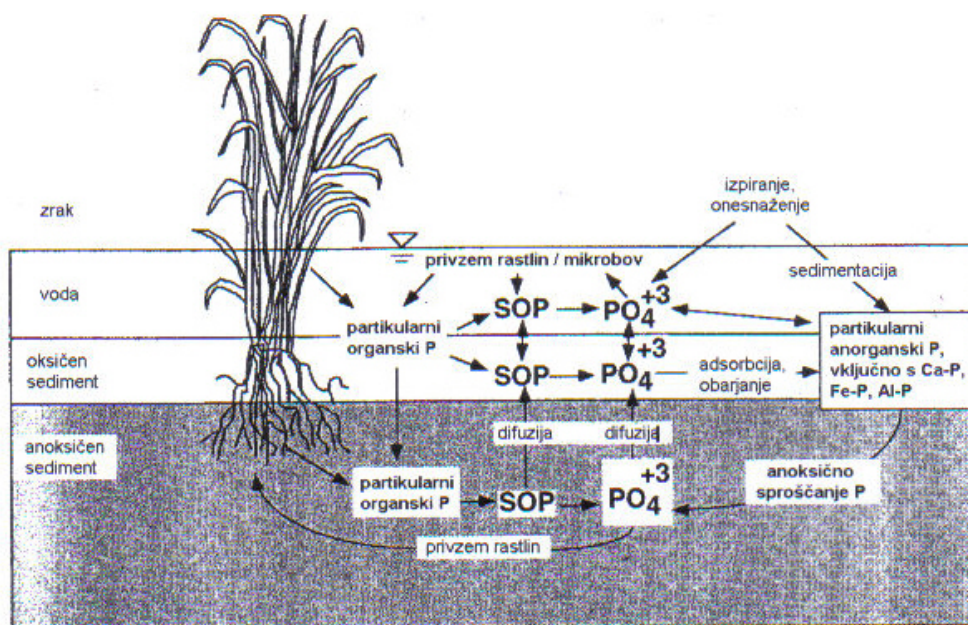
2.4.4.2 Cikel fosforja v ERM jarku in v močvirjih

Fosfor se v vodi lahko pojavlja v anorganski (npr. ortofosfati) ali organski obliki (npr. raztopljeni organski fosfati). Fosfor se lahko pojavi tudi v oblikah, ki so nedostopne tako rastlinam kot mikroorganizmom (raztopljen organski fosfat in netopni anorganski in organski fosfat). To se zgodi (Šajn Slak, 1999):

- če se obori kot anorganski fosfor, vezan na železov ion, kalcij in aluminij v anoksičnih pogojih,
- če se kot fosfat adsorbira na delce gline, organske snovi, na železov in aluminijev hidroksid in na okside,
- ko se vključi v organsko maso bakterij, alg in vaskularnih makrofitov (na rastline).

Nedostopne oblike fosforja se v procesu preoblikovanja v topno anorgansko obliko spremenijo v vodnem stolpcu s pomočjo suspendiranih mikrobov, v biofilmih na površinah emergentnih rastlin in na sedimentu. Fosfor se torej lahko izloča iz vode na podlagi adsorpcije, absorpcije v rastline, akumulacije v substrat, vezavo v komplekse in obarjanjem (Šajn Slak, 1999; Koželj in Vuk, 1987; Tarman, 1992).

Kroženje fosfata v močvirjih je podrobneje opisano na sliki 5.



Slika 5: Kroženje fosforja v močvirju (Šajn Slak, 1999)

2.4.4.3 Organska snov

Organska snov, ki jo vsebuje voda, je raznolika, najpogosteje so to fulvo in huminske kisline. Huminske snovi v vodi so biopolimeri, ki so produkt razpadanja tanina, terpenov, aminokislin, proteinov in spojin z dušikom in žveplom. Fulvo kisline so najmanjši predstavniki skupine huminskih snovi in so sestavni del topnih organskih snovi v vodi. Količino organske snovi ponavadi ugotavljamo posredno, tako da merimo količino kisika, potrebnega za njeno oksidacijo (kemijska potreba po kisiku (KPK), biokemijska potreba po kisiku (BPK₅), celotni organski kisik (TOC)). Fizikalni kemijski procesi za odstranjevanje organske snovi so adsorpcija in absorpcija. Hitrost adsorpcije je odvisna od oblike organske snovi in od vrste substrata oz. od površine pod vodo. Organska snov se lahko adsorbira na substrat ali na perifitonski biofilm na rastlinskih steblih in listih (Šajn Slak, 1999). Poleg zmanjševanja organskih snovi s fizikalnimi procesi se lahko organska snov zmanjšuje z biološkimi in biokemijskimi procesi. Ti procesi so podvrženi oksidacijsko-redukcijskim procesom, hidrolizi in fotolizi. Za učinkovito odstranjevanje organske snovi je zaželeno aerobno okolje. Kisik lahko vstopa v ERM na tri načine, in sicer: s prezračevanjem, s fotosintezo ali z rastlinskim vnosom. Proces za odstranjevanje organske snovi pa lahko potekajo tako v aerobnih kot v anaerobnih pogojih (Šajn Slak, 1999; Ileršič, 2007; Koželj in Vuk, 1987; Tarman, 1992).

2.5 PROFIL JARKA

Pri učinkovitosti delovanja ERM jarka je potrebno upoštevati tudi pretok vode skozi objekt. Pretok vode lahko izračunamo s pomočjo Manningove formule. V naše primeru, kjer gre za urejanje osuševalnega jarka, imamo trapezen prerez skozi ERM jarek. Na pretok vode skozi določen profil vpliva poleg velikosti profila tudi hrapavost, hidravlični

radij in podolžni padec. Slednje tri količine vplivajo na hitrost vode v jarku. To pomeni, da moramo pri širini oz. profilu korita upoštevati tudi to, koliko vode se nam bo stekalo v ERM sistem, saj se nam ob nepravilni širini jarka lahko pojavi zastajanje vode na dotoku ali prehitro prehajanje vode skozi prečni profil jarka, s čimer ne bi bilo doseženo zadovoljivo čiščenje hranil, saj je pomembno, da voda počasi prehaja skozi profil jarka, da imajo rastline dovolj časa za privzemanje hranil iz vode. Zastajanje vode se lahko pojavi zaradi zaraslosti grede, ki pomeni večji koeficient hrapavosti. To pomeni, če je hitrost vode manjša, bi za enak pretok potrebovali večji profil. Posledično bi to lahko pomenilo, da bi ob premajhni površini struge morali posegati v okoljska kmetijska zemljišča oz. bi posledično morali zmanjšati površine kmetijskih zemljišč, da bi lahko povečali površino rečne struge. Velikost korita, ki je potreben glede na velikost padca in pretok vode, izračunamo s pomočjo Manningove enačbe (Mikošek, 2008).

Manningova enačba za hitrost vode (Mikošek, 2008):

$$v = C \cdot R^{1/2} \cdot J^{1/2} \Rightarrow v = C \cdot \frac{1}{n_G} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad \dots (2)$$

Manningova enačba za pretok (Mikošek, 2008):

$$Q = A \cdot v = A \cdot \frac{1}{n_G} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad \dots (3)$$

v = povprečna hitrost vode v profilu (m/s)

C = koeficient hitrosti oz. Chezyjev koeficient hitrosti ($\text{m}^{1/2} \cdot \text{s}^{-1}$)

R = hidravlični radij

J = relativni padec oz. hidravlični gradient

n_G = koeficient hrapavosti po Manningu ($\text{s} \cdot \text{m}^{-1/3}$)

A = presek profila (m^2)

Q = pretok (m^3/s)

3 MATERIALI IN METODE

3.1 OPIS IZBRANEGA OBMOČJA ZA IZGRADNJO ERM GREDE

Osuševalni jarek (slika 6), na katerem je načrtovana izgradnja čistilne grede, leži v naselju Lešnica in se izliva v potok Lešnica. Potok Lešnica se na koncu zliva v reko Dravo. Naselje Lešnica leži v občini Ormož (SV del Slovenije), natančneje na Dravsko – Ptujskem polju. Območje za izgradnjo ERM jarka je bilo izbrano, ker je Dravsko – Ptujsko polje eno izmed območij, kjer je kmetijstvo zelo razvito in v velikem obsegu (preglednica 4). Posledica obsežnejše kmetijske pridelave pa je tudi večji vnos hranil v tla in vodne vire. Ker je prav na tem območju kmetijska pridelava močno razširjena, lahko sklepamo, da bo tudi koncentracija hranil v vodi visoka. Naš namen je ta, da ugotovimo, koliko pripomore ERM urejen osuševalni jarek k zmanjšanju hranil v vodi. Samo čista voda in okolje nam lahko zagotovita polno in kakovostno življenje tako ljudi kot živali.

V neposredni bližini osuševalnega kanala so njive, na katerih se izvaja triletni kolobar. Kolobar vključuje naslednje kulturne rastline: oljna ogrščica – koruza – strnišče. V času vzorčevanja so bile njive v neposredni bližini ERM jarka zasajene s koruzo. Iz kolobarja lahko sklepamo na vnos posameznih hranil v tla glede na potrebe po gnojenju posamezne kulturne rastline.



Slika 6: Osuševalni jarek pri Lešnici pred izgradnjo ERM grede

3.1.1 Potrebe po gnojenju posameznih kulturnih rastlin

Pri pridelavi oljne ogrščice njivo pognojimo z do 25 t/ha hlevskega gnoja (odvisno od založenosti tal z hranili). Potrebno je tudi dognojevanje z dušikom v obliki mineralnih gnojil, katerega moramo dodati od 120 – 170 kg N/ha (Leskošek, 1993). Pri pridelovanju koruze tla pognojimo s hlevskim gnojem, prav tako dodajamo hranila v obliki mineralnih gnojil in sicer v naslednjih količinah: 80 – 110 kg P_2O_5 /ha, 120 – 240 kg K_2O /ha in 90 – 120 kg N/ha. Količina gnojenja je spet odvisna od založenosti tal s hranili in od tipa tal. Potrebe po hranilih so podane za tla, ki so optimalno založena s hranili, kjer je vsebnost P_2O_5 v mg/ 100g tal 13 – 25 (Čergan in sod., 2008) in ob predvideni pridelavi 60 t/ha silažne koruze ali 10 t/ha zrnja. Kadar imamo na njivi strnišča, ne gnojimo s hlevskim gnojem, pač pa dodajamo hranila samo v obliki mineralnih gnojil. Strnišča imajo naslednje potrebe po hranilih: 80 – 150 kg N/ha, 70 – 80 kg P_2O_5 in 90 – 120 kg K_2O . Potrebe po gnojilih so podane za predvideno pridelavo 50 – 60 dt/ha pridelka (Leskošek, 1993).

3.2 OPIS ERM GREDE

Neto dolžina grede znaša 20 m. Po celotni dolžini je na dnu grede položena nepropustna folija, ki nam služi v namen, da nam voda ne prihaja v gredo od strani ali ponika v tla. Bruto dolžina grede znaša 26 m, kolikor je tudi dolžina folije. Pri vtoku ERM jarka je zgrajen 2 m vtočnega objekta, ki je narejen iz škarpnikov (slika 7), kar nam omogoča, da voda enakomerno prehaja skozi celoten prečni profil ERM jarka. Prav tako pa sta na začetku in koncu grede še dodatna 2 m za prilagoditev ERM grede obstoječim brežinam osuševalnega jarka. Folija je položena na straneh grede še 30 cm izven substrata. Na foliji je 40 cm debela plast gramozne mešanice, na katero so zasajene sadike navadnega trsta (*Phragmites australis*) v razdalji 30x30 cm. Na iztoku je narejena prečna betonska pregrada z iztočno cevjo. Brežina grede je zasajena s travnimi ploščami. Padeč grede je 1-2 ‰. Idealen padeč ERM grede bi bil 0,77 ‰, kar bi pomenilo 0,2 m višinske razlike na 26 m bruto dolžine grede. Padeč pripomore k temu, da se voda na zajezitvi ne zadržuje preveč. Na sliki 8 je prikazan ERM jarek pri Lešnici pred zasaditvijo z navadnim trstom (*Phragmites australis*), medtem ko slika 9 prikazuje že zasajen ERM jarek.



Slika 7: Dotok ERM jarka pri Lešnici, narejen iz škarpnikov



Slika 8: ERM jarek pri Lešnici takoj po izgradnji, pred zasaditvijo z navadnim trstom (*Phragmites australis*)



Slika 9: Pogled na ERM jarek pri Lešnici, zasajen z navadnim trstom (*Phragmites australis*)

3.3 MERITVE

Opravili smo meritve zadrževalnega časa ERM jarka pri Lešnici, katerega smo merili v treh ponovitvah. Namen teh meritev je bil, da bi ugotovili, koliko časa voda potrebuje, da preteče iz enega konca ERM jarka do drugega, torej iz dotoka na iztok. Opravili smo tudi meritve amonijevega in nitratnega iona, katerih namen je bil ugotoviti, ali je potrebno pri odvzemu vzorcev za merjenje hranil upoštevati zadrževalni čas ERM jarka. Na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici smo enkrat mesečno odvzeli vzorce vode, katere smo poslali na analizo v ZZV Maribor, na Inštitut za varstvo okolja, kjer so opravili laboratorijske analize za vsebnost hranil. Prav tako smo sočasno ob odvzemu vzorcev za analizo vsebnosti hranil merili pH vode, temperaturo vode, pretok vode in O_2 . Namen teh meritev je bil ugotoviti, ali vplivajo na vsebnost hranil v vodi tudi razlike med pretokom vode, pH vode in temperaturi.

3.3.1 Merjenje zadrževalnega časa

Zadrževalni čas smo merili z metodo elektroprevodnosti. Elektroprevodnost je posledica gibanja elektronov v raztopini. Je obratno sorazmerna vrednost upora v vodi. Kot sledilo smo uporabili kuhinjsko sol. Štiri kilograme kuhinjske soli smo raztopili v vodi, ki smo jo odvzeli na dotoku oz. na začetku ERM jarka pri Lešnici. Zapisali smo čas, ko smo dodali sol in nato spremljali koncentracijo elektrolitov na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici. Ko je bila koncentracija maksimalna oz. je bila dosežena najvišja točka, smo dobili zadrževalni čas grede oz. vode. Elektroprevodnost je podana v $\mu S/cm$. Slika 10 prikazuje merjenje koncentracije elektrolitov ($\mu S/cm$) v ERM jarku pri Lešnici. Zadrževalni čas smo merili v trikrat: 16. 12. 2006, 15. 3. 2007 in 15. 6. 2007.



Slika 10: Merjenje zadrževalnega časa vode v ERM jarku pri Lešnici z metodo elektroprevodnosti

3.3.2 Meritve amonijevega in nitratnega iona s pomočjo hitrih testov

Namen hitrih testov amonijevega in nitratnega iona je bil, da bi dokazali, da pri jemanju vzorcev za merjenje vsebnosti hranil v vodi ni potrebno upoštevati zadrževalnega časa. Pri tej meritvi smo najprej izmerili zadrževalni čas z metodo elektroprevodnosti (zadrževalni čas ERM jarka pri Lešnici je bil dne 15. 6. 2007, ko smo opravljali meritve, 179 min). Nato smo na osnovi dobljenih rezultatov zadrževalnega časa odvzeli različne vzorce vode na dotoku in iztoku ERM grede. Na dotoku smo vzeli dva vzorca vode, in sicer enega takoj, enega pa po treh urah. Vzorci, ki smo jih vzeli na iztoku, so bili vezani na izmerjen zadrževalni čas. Glede na to smo en vzorec odvzeli takoj, enega po poteku zadrževalnega časa (po 3 urah), enega eno uro po zadrževalnim časom grede (po 4 urah) in enega dve uri po poteku zadrževalnega časa (po 5 urah). Test posameznega vzorca smo opravili v treh ponovitvah zaradi točnosti meritev. Meritve amonijevega in nitratnega iona s hitrimi testi smo opravili dne 16. 6. 2007.

3.3.3 Laboratorijske analize

Laboratorijske analize so bile opravljene v ZZV Maribor, na Inštitutu za varstvo okolja. Opravljene so bile meritve za naslednje parametre: ortofasfati, amonij, KPK, BPK₅, nitrati, nitriti, dušik po Kjeldahlu in skupne fosfate. Vzorci, ki so bili pregledani, so bili odvzeti na dotoku in iztoku ERM jarka enkrat mesečno, in sicer v dnevih: 15. 3. 2007, 23. 4. 2007, 19. 5. 2007, 15. 6. 2007, 31. 8. 2007 in 12. 9. 2007. Metode, ki so bile uporabljene za merjenje posameznega parametra, so prikazane v preglednici 6.

Preglednica 6: Prikaz metod, uporabljenih za merjenje posameznih parametrov, merjenih v ZZV Maribor, na Inštitutu za varstvo okolja

Parameter	Metoda
Ortofosfati	ISO 15681
Amonij	ISO 11732
KPK	DIN 38409-H44, modif.
BPK ₅	EN 1899-2
Nitrit	ISO/ DIS 13395
Nitrat	ISO 10304-1
Dušik po Kjeldahlu	ISO 5663 mod.
Skupni fosfati	ISO 6878- pogl.8

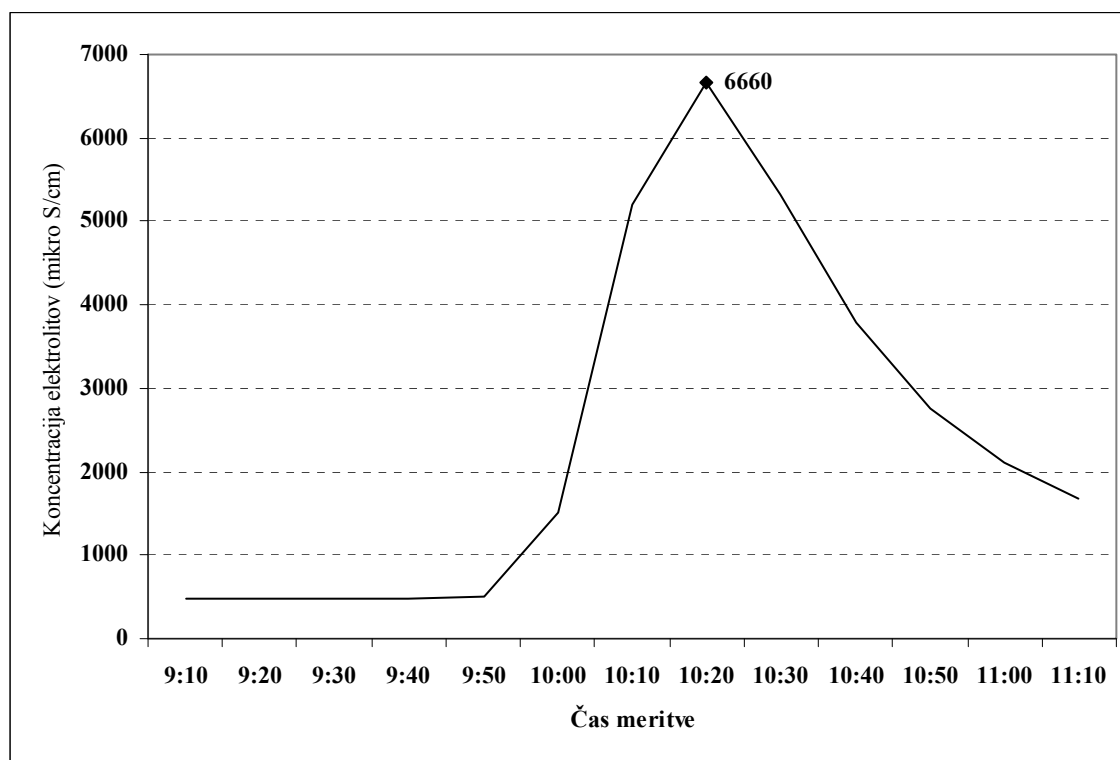
3.3.4 Reakcija, temperatura in pretok vode ter vsebnost O₂

Pretok vode smo merili s pomočjo merilnega valja. Na iztočno cev smo postavili posodo in zajemali vodo določen čas. Nato smo vodo prelili v merilni valj ter dobljeno količino vode delili s časom merjenja. Pretoke vode smo podali v ml/s. Temperaturo vode, pH in O₂ smo merili sočasno ob zadrževalnem času z merilnikom za merjenje elektroprevodnosti.

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

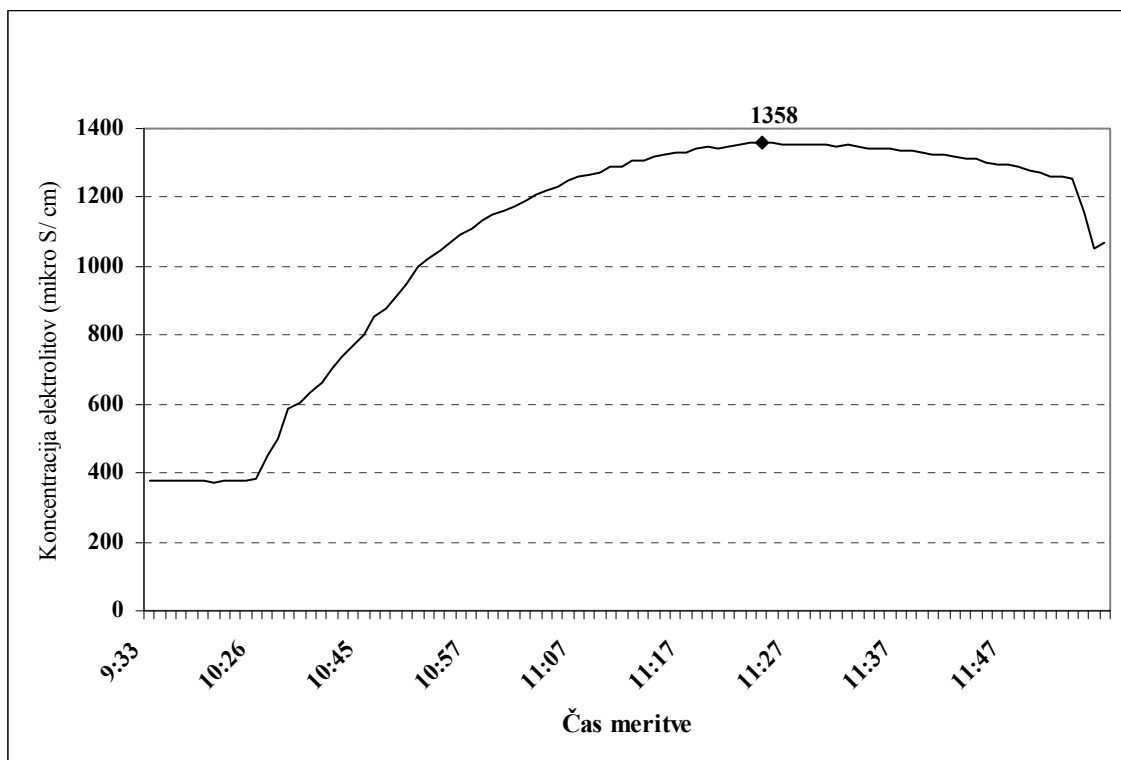
4.1 ZADRŽEVALNI ČAS

Meritve zadrževalnega časa ERM jarka pri Lešnici, ki smo jih opravili 16. 12. 2006, so nam pokazale, da je tega dne čas zadrževanja ERM jarka pri Lešnici znašal 70 min. Iz slike 11 je razvidno, da smo z meritvami pričeli ob 9¹⁰ uri, po 70 minutah je bil dosežen maksimum (ob 10²⁰ uri), saj je bila koncentracija elektrolitov na iztoku iz ERM jarka takrat najvišja, in sicer 6660 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Z meritvami smo končali ob 11¹⁰ uri, ko je koncentracija elektrolitov na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici padla na 1669 $\mu\text{S}/\text{cm}$, kar je bilo blizu izhodiščni vrednosti merjenja. Merjenje koncentracije elektrolitov smo opravljali v 10 min intervalih.



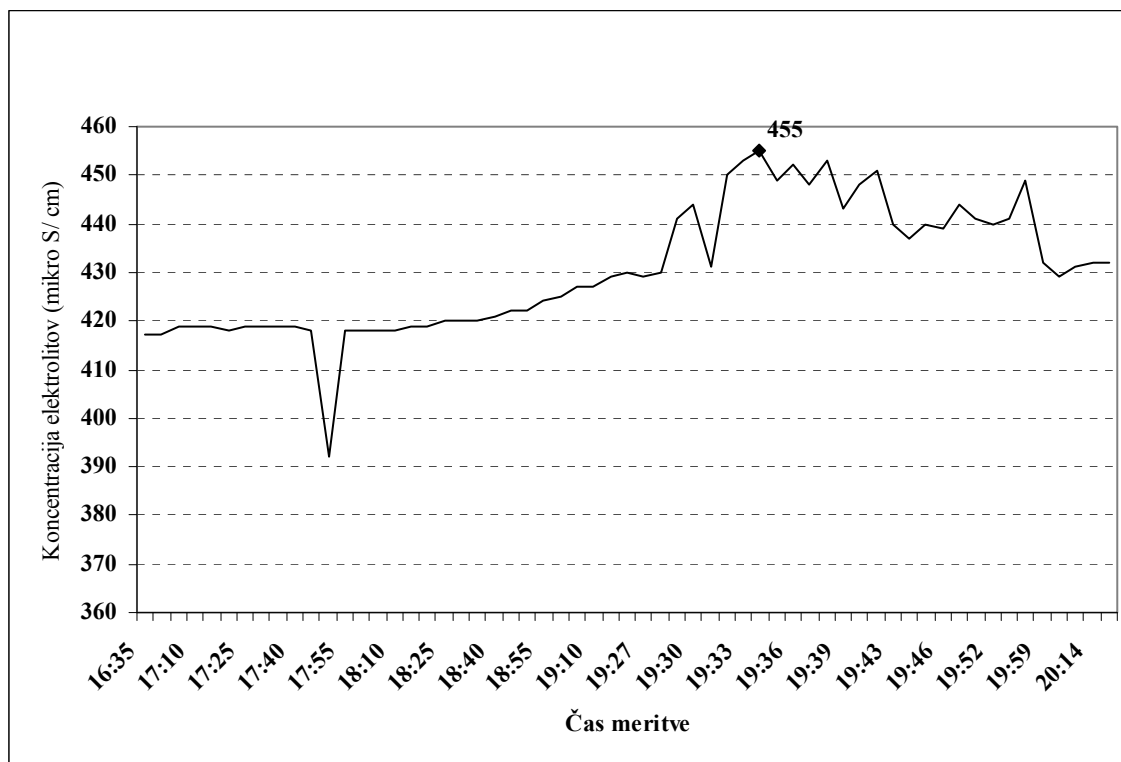
Slika 11: Merjenje zadrževalnega časa ERM jarka pri Lešnici z metodo koncentracije elektrolitov ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na iztoku, dne 16. 12. 2006

Dne 15. 3. 2007 smo opravili še eno meritev zadrževalnega časa z metodo elektroprevodnosti. Tega dne je zadrževalni čas ERM jarka pri Lešnici znašal 110 min. Z meritvami smo začeli ob 9³³ uri, in končali ob 12²⁶ uri. Maksimum je bil dosežen ob 11²⁴ uri. Slika 12 prikazuje rast koncentracije elektrolitov ($\mu\text{S}/\text{cm}$), dosežen maksimum in ponovno padanje koncentracije elektrolitov ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici.



Slika 12: Merjenje zadrževalnega časa ERM jarka pri Lešnici z metodo koncentracije elektrolitov ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na iztoku, dne 15. 3. 2007

Namen merjenja zadrževalnega časa ERM jarka pri Lešnici, merjenega dne 15. 6. 2007, je bil, da smo kasneje na podlagi tega zadrževalnega časa lahko opravili hitre teste, katerih namen je bil, da ugotovimo, ali je pri jemanju vzorcev za kemijske analize, potrebno upoštevati zadrževalni čas grede. Naše domneve so bile, da je koncentracija hranil v vodi, v dokaj stabilnih pogojih, konstantna in zato za odvzem vzorca za merjenje vsebnosti hranil ni potrebno upoštevati zadrževalnega časa grede. Meritve so nam pokazale, da je zadrževalni čas ERM jarka pri Lešnici tega dne znašal 179 min. Z meritvami smo pričeli ob 16³⁵ uri, ob 19³⁴ uri je bil dosežen maksimum, končali pa smo ob 20¹⁵ uri. Vsebnost koncentracije elektrolitov na začetku merjenja je znašala 417 $\mu\text{S}/\text{cm}$, maksimum je bil dosežen pri 455 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ob končanju meritev pa je bila vsebnost elektrolitov 432 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Slika 13 prikazuje koncentracije elektrolitov ($\mu\text{S}/\text{cm}$) glede na različne časovne intervale, merjene dne 15. 6. 2007.



Slika 13: Merjenje zadrževalnega časa ERM jarka pri Lešnici z metodo koncentracije elektrolitov ($\mu\text{S}/\text{cm}$) na iztoku, dne 15. 6. 2007

S pomočjo zadrževalnega časa lahko razberemo, koliko časa potrebuje voda, da preteče iz enega konca grede (iz dotoka) do drugega konca (na iztok). Sklepamo lahko, da so se razlike v zadrževalnem času pojavile zaradi razlik v pretokih (posledica padavin), zaradi sesedanja materiala v gredi in zaradi zaraslosti in zrelosti ERM jarka. Iz rezultatov je razvidno, da je bil zadrževalni čas, merjen na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici, dne 15. 6. 2007, najdaljši, saj je znašal 179 min, razlika v koncentraciji elektrolitov, glede na izhodiščno stanje ($417 \mu\text{S}/\text{cm}$) in maksimalno koncentracijo elektrolitov ($455 \mu\text{S}/\text{cm}$), je bila majhna. Iz tega lahko sklepamo, da je ERM sistem dosegel zrelost, saj je bila koncentracija elektrolitov nizka, zadrževalni čas pa razmeroma dolg, glede na prve meritve (16. 12. 2006) zadrževalnega časa. Pomembna lastnost ERM sistema je ta, da je zadrževalni čas čim daljši, saj to pomeni, da voda počasi pronica skozi jarek. Če voda počasi prehaja skozi ERM jarek, imajo rastline in mikroorganizmi na voljo več časa za čiščenje vode.

4.2 HITRI TESTI

4.2.1 Amonijev ion

V preglednici 7 in 8 smo prikazali rezultate, ki smo jih dobili pri merjenju amonijevega iona v vzorcih vode, odvzete v ERM jarku pri Lešnici, s pomočjo hitrih testov. Meritve so v treh ponovitvah posameznega vzorca vode zaradi točnosti rezultatov. Iz rezultatov lahko sklepamo, da je vsebnost amonijevega iona tako na dotoku kot na iztoku iz ERM jarka pri

Lešnici nična, kar kaže na to, da je vsebnost hranil ne glede na čas odvzema dokaj konstantna.

Preglednica 7: Vsebnost amonijevega iona (mg/l) v vzorcu vode, odvzetem na dotoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različni čas odvzema vzorca

Vzorec odvzet takoj	Vzorec odvzet po 3 urah
0,00	0,01
0,00	0,00
0,00	0,00

Preglednica 8: Vsebnost amonijevega iona (mg/l) v vzorcu vode, odvzete na iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različni čas odvzema vzorca

Vzorec odvzet takoj	Po 3 urah	Po 4 urah	Po 5 urah
0,01	0,01	0,00	0,01
0,01	0,01	0,02	0,02
0,02	0,02	0,01	0,01

4.2.2 Nitratni ion

Preglednici 9 in 10 prikazujeta rezultate meritev nitratnega iona v vzorcih vode na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici glede na različne čase odvzema, ki so vezani na zadrževalni čas same grede. Tako kot amonijev ion je tudi nitratni ion dokaj konstanten, ne glede na čas odvzema vzorca. Tudi vzorca, ki sta bila odvzeta na dotoku ERM jarka pri Lešnici, sta nam pokazala, da je dotok nitratnega iona dokaj konstanten ne glede na čas odvzema. Koncentracija nitratnega iona na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici se je nekoliko povišala, vendar moramo opozoriti na to, da hitri testi niso popolnoma zanesljivi in so odvisni od natančnosti meritve.

Preglednica 9: Vsebnost nitratnega ion (mg/l) v vzorcu vode, odvzetem na dotoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različni čas odvzema vzorca

Vzorec odvzet takoj	Vzorec odvzet po 3 urah
8,6	8,7
8,5	8,5
8,7	8,5

Preglednica 10: Vsebnost nitratnega ion (mg/l) v vzorcu vode, odvzetem na iztoku ERM jarka, glede na različni čas odvzema vzorca

Vzorec odvzet takoj	Po 3 urah	Po 4 urah	Po 5 urah
9,8	11,2	8,8	10,9
12,3	9,5	10,2	9,7
9,8	9,6	9,7	9,3

Rezultati, ki smo jih dobili pri merjenju vsebnost amonijevega in nitratnega iona v ERM jarku pri Lešnici, kažejo na to, da je bila količina ionov konstantna tako na dotoku kot na iztoku, ne glede na čas odvzema vzorca. Zato lahko na podlagi rezultatov sklepamo, da za

odvzem vzorcev za merjenje vsebnosti hranil ni potrebno upoštevati zadrževalnega časa. Vsebnost hranil je namreč v določenem obdobju dokaj konstantna in je odvisna od vnosa hranil (npr. z gnojenjem kmetijskih zemljišč) in od izpiranja hranil v vodne vire (količina padavin).

4.3 REAKCIJA, TEMPERATURA IN PRETOK VODE TER VSEBNOST O₂

V preglednici 11 so podani rezultati meritev za temperaturo vode (°C), pH, pretok (ml/ s) in O₂ (%). Sklepamo lahko, da je prišlo do razlik v pretoku zaradi različne količine vode na dotoku ERM jarka pri Lešnici, kar je posledica količine padavin. Razlike v temperaturi vode pa so se pojavile zaradi različnega obdobja vzorčevanja.

Preglednica 11: Meritve pretoka vode (ml/s), tem. vode (°C), O₂ (%) in pH vode, v ERM jarku pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja

Dan vzorčevanja	Pretok vode (ml/s)	Tem. vode (°C)	O ₂ (%)	pH
16. 12. 2006	250	4,7	*	*
15. 3. 2007	502	4,45	9,28	*
29. 5. 2007	6,2	19,7	4,8	7,47
15. 6. 2007	38	23,1	*	9,72
31. 8. 2007	10	18,5	4,53	7,85
12. 9. 2007	72	17,3	4,86	7,14

Opombe: * ni meritve

Iz rezultatov lahko sklepamo, da na razlike v vsebnosti hranil na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici vplivajo tudi razlike v pretoku, temperaturi vode in pH vode, saj se ti razlikujejo med posameznimi dnevi vzorčevanja. Reakcija vode (pH) je bila ustrezna, za učinkovito delovanje mikroorganizmov, v vseh meritvah, saj je za proces nitrifikacije najugodnejši pH od 7,5 do 8,5. V naših meritvah je bil pH višji samo v vzorcu, odvzetem 15. 6. 2007.

4.4 LABORATORIJSKE ANALIZE

Na podlagi analiz, ki so bile opravljene v ZZV Maribor, na Inštitutu za varstvo okolja, lahko sklepamo učinkovitost čiščenja ERM jarka pri Lešnici za vsebnost hranil.

Amonij

Vsebnosti in učinkovitost čiščenja (%) posameznih parametrov za amonij v vodi, so prikazane v preglednici 12. Iz preglednice 12 lahko tudi razberemo, da se je koncentracija amonija zmanjševala na iztoku iz ERM jarka. Naravno stanje vode za amonij znaša 15 µg NH₄/l. Iz preglednice 12 torej lahko razberemo, da je vsebnost amonija na dotoku ERM jarka pri Lešnici v vseh meritvah presegla dano vrednost, medtem, ko je bila vsebnost amonija na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici v vzorcih odvzetih 15. 3. 2007, 29. 5. 2007, 31.

8. 2007 in 12. 9. 2007 pod mejnimi vrednostmi za naravno stanje voda (Kazalci okolja, 2005).

Preglednica 12: Vsebnost amonija ($\text{mg NH}_4/\text{l}$) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja ter učinkovitost čiščenja v %

Dan vzorčevanja	Dotok ERM	Iztok ERM	Učinkovitost čiščenja
15. 3. 2007	0,09	0,01	89 %
23. 4. 2007	0,18	0,03	83 %
29. 5. 2007	0,05	<0,01	...
15. 6. 2007	0,03	0,03	0 %
31. 8. 2007	0,09	<0,01	...
12. 9. 2007	0,04	<0,01	...

Nitriti

Vsebnost nitrita (mg/l NO_2) v posameznih dnevih vzorčevanja smo prikazali v preglednici 13. Preglednica 13 prikazuje tudi učinkovitost čiščenja v posameznih dnevih vzorčevanja. Menimo lahko, da so bili doseženi zadovoljivi rezultati pri zmanjšanju koncentracije nitritov skozi ERM jarek pri Lešnici.

Preglednica 13: Vsebnost nitrita ($\text{mg NO}_2/\text{l}$) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja ter učinkovitost čiščenja v %

Dan vzorčevanja	Dotok ERM	Iztok ERM	Učinkovitost čiščenja
15. 3. 2007	0,033	<0,007	...
23. 4. 2007	0,033	0,010	70 %
29. 5. 2007	0,010	0,007	30 %
15. 6. 2007	0,122	0,020	84 %
31. 8. 2007	0,013	0,013	0 %
12. 9. 2007	0,108	0,007	94 %

Nitrati

Posamezne vsebnosti nitratov na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja, so prikazane v preglednici 14. Prav tako preglednica 14 prikazuje učinkovitost čiščenja glede na posamezne dneve vzorčevanja. Glede na naravno stanje voda lahko rečemo, da je bila vsebnost nitratov v vseh odvzetih vzorcih vode iz ERM jarka pri Lešnici presežena, saj znaša okvirna vrednost nitratov za naravno stanje voda $1 \text{ mg NO}_3/\text{l}$ (Kazalci okolja, 2005).

Preglednica 14: Vsebnost nitrata ($\text{mg NO}_3/\text{l}$) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja ter učinkovitost čiščenja v %

Dan vzorčevanja	Dotok ERM	Iztok ERM	Učinkovitost čiščenja
15. 3. 2007	4,0	4,4	Vsebnost koncentracije narašča
23. 4. 2007	<2,2	<2,2	...
29. 5. 2007	<2,2	13,7	...
15. 6. 2007	9,3	4,0	57 %
31. 8. 2007	<2,2	<2,2	...
12. 9. 2007	4,0	3,1	22,5 %

Dušik po Kjeldahlu

Preglednica 15 prikazuje vsebnosti dušika po Kjeldahlu (mg N/l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja. Prikazane so tudi posamezne učinkovitosti čiščenja glede na različne dneve vzorčevanja.

Preglednica 15: Vsebnost dušika (mg N/l) po Kjeldahlu na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja ter učinkovitost čiščenja v %

Dan vzorčevanja	Dotok ERM	Iztok ERM	Učinkovitost čiščenja
15. 3. 2007	<0,5	<0,5	...
23. 4. 2007	<0,5	0,7	...
29. 5. 2007	1	0,7	30 %
15. 6. 2007	0,6	0,6	0 %
31. 8. 2007	1,2	<0,5	...
12. 9. 2007	<0,5	<0,02	...

KPK

Vsebnosti KPK v vodi, kot pokazatelja vsebnosti organske snovi, so nam pokazale, da se je koncentracija KPK v vodi manjšala skozi ERM jarek. Posamezni parametri meritve so prikazani v preglednici 16. Preglednica 16 tudi prikazuje posamezne dneve vzorčevanja in učinkovitost čiščenja glede na dotok in iztok iz ERM jarka pri Lešnici.

Preglednica 16: Vsebnost KPK – $K_2Cr_2O_7$ (mg O_2/l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja ter učinkovitost čiščenja v %

Dan vzorčevanja	Dotok ERM	Iztok ERM	Učinkovitost čiščenja
15. 3. 2007	<5	<5	...
23. 4. 2007	17	8	53 %
29. 5. 2007	24	14	42 %
15. 6. 2007	8	12	Vsebnost koncentracije narašča
31. 8. 2007	34	18	47 %
12. 9. 2007	12	12	0 %

BPK₅

Meritve posameznih vzorcev za vsebnost BPK₅ (mg O_2/l) za ERM jarek pri Lešnici, so prikazane v preglednici 17. Ista preglednica tudi prikazuje posamezne učinkovitosti čiščenja glede na različne dneve vzorčevanja. Sklepamo lahko, da so bili doseženi zadovoljivi rezultati pri zmanjšanju BPK₅ skozi ERM jarek.

Preglednica 17: Vsebnost BPK₅ (mg O₂/l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja ter učinkovitost čiščenja v %

Dan vzorčevanja	Dotok ERM	Iztok ERM	Učinkovitost čiščenja
15. 3. 2007	<0,5	<0,5	...
23. 4. 2007	2	<0,5	...
29. 5. 2007	3	0,6	80 %
15. 6. 2007	1,3	<0,5	...
31. 8. 2007	2,8	2	29 %
12. 9. 2007	0,8	0,8	0 %

Ortofosfati

Preglednica 18 prikazuje vsebnosti ortofosfatov (mg PO₄/l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici glede na različne dneve vzorčevanja. Sklepamo lahko, da je do večanja vsebnosti ortofosfatov prišlo zaradi nedozorelosti jarka, zaradi tega, ker je pilotski objekt po obsegu premajhen ali zaradi možnosti erozije. Vsebnost ortofosfatov v naravnem stanju voda znaša 10 µg P₂O₅ (Kazalci okolja, 2005). Iz tega lahko razberemo, da je bila v naših vzorcih vode, odvzetih v ERM jarku pri Lešnici, koncentracija ortofosfatov praviloma višja od naravnega stanja voda.

Preglednica 18: Vsebnost ortofosfatov (mg PO₄/l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja ter učinkovitost čiščenja v %

Dan vzorčevanja	Dotok ERM	Iztok ERM	Učinkovitost čiščenja
15. 3. 2007	<0,031	<0,031	...
23. 4. 2007	<0,031	0,077	...
29. 5. 2007	0,113	0,193	Vsebnost koncentracije narašča
15. 6. 2007	<0,031	0,45	...
31. 8. 2007	0,334	0,42	Vsebnost koncentracije narašča
12. 9. 2007	0,266	0,48	Vsebnost koncentracije narašča

Skupni fosfati

Tudi pri skupnih fosfatih je prišlo do povišanja vrednosti na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici. Količina fosfatov je v povprečju znašala na dotoku 0,46 mg PO₄/l, medtem ko je količina fosfatov na iztoku v povprečju znašala 0,73 mg PO₄/l. Iz dobljenih rezultatov lahko sklepamo, da se je vsebnost fosfatov na iztoku iz ERM jarka zvišala za 58 %. Posamezne meritve za vsebnost fosfatov (mg PO₄/l) so prikazane v preglednici 19.

Preglednica 19: Vsebnost skupnih fosfatov (mg PO₄/l) na dotoku in iztoku ERM jarka pri Lešnici, glede na različne dneve vzorčevanja ter učinkovitost čiščenja v %

Dan vzorčevanja	Dotok ERM	Iztok ERM	Učinkovitost čiščenja
15. 3. 2007	0,107	0,08	25 %
23. 4. 2007	0,612	0,208	66 %
29. 5. 2007	0,337	0,551	Vsebnost koncentracije narašča
15. 6. 2007	0,08	1,622	Vsebnost koncentracije narašča
31. 8. 2007	1,1	1,3	Vsebnost koncentracije narašča
12. 9. 2007	0,55	0,64	Vsebnost koncentracije narašča

Iz rezultatov je razvidno, da je bila učinkovitost čiščenja dosežena pri nitratih, nitritih, KPK, BPK₅, amoniju in dušiku po Kjeldahlu. Pri ortofosfati in skupnih fosfati (58 %) se je koncentracija vsebnosti na iztoku iz ERM jarka zvišala. Vzrok za povišanje vsebnosti ortofosfatov in skupnih fosfatov lahko pripišemo nedozorelosti ERM grede in premajhnemu obsegu ERM za samo čiščenje, sklepamo lahko tudi, da se je koncentracija zvišala zaradi erozije.

Okvirne vrednosti za naravno stanje voda znašajo za amonij pa 15 µg NH₄/l, za nitrato 1 mg NO₃/l, za ortofosfate 10 µg P₂O₅/l, (Kazalci okolja, 2005). Iz tega lahko razberemo, da je vsebnost amonija (preglednica 12) na dotoku presegala mejne vrednosti glede na naravno stanje voda, medtem ko je na iztoku v štirih meritvah (15. 3. 2007, 29. 5. 2007, 31. 8. 2007 in 12. 9. 2007) bila pod mejnimi vrednostmi. Vsebnosti nitrato (preglednica 14) so bile večje od mejnih vrednosti v vseh odvzetih vzorcih, prav tako so ortofosfati (preglednica 18) presegli vse mejne vrednosti glede na naravno stanje voda.

Sklepamo lahko, da je prišlo do manjše vsebnosti hranil na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici zaradi medsebojnega delovanja rastlin in mikroorganizmov in zaradi vezave hranil v substrat oz. v gramozno mešanico. Z rastlinami smo omogočili dovajanje kisika v vodo ter naselitev mikroorganizmov, ki tvorijo biofilme. Prav tako so rastline prevzele določen delež hranil s fiksacijo v tla ali v rastline. V ERM jarku so s pomočjo rastlin in mikroorganizmov potekali procesi nitrifikacije, denitrifikacije, amonifikacije, fiksacije in še mnogi drugi. Naša naloga je bila vzpostavitev čim boljših pogojev za prej omenjene procese čiščenja oz. odstranjevanja hranil iz vode.

Učinkovitost grede je bila zadovoljiva. Še boljše rezultate bi lahko dosegli z izgradnjo večjega objekta. Sklepamo lahko tudi, da bi bili doseženi boljši rezultati za čiščenje, če bi opravljali meritve v večjem časovnem razponu, ko bi ERM greda dosegla določeno zrelost, ki je potrebna za učinkovito delovanje. Na uspešno delovanje grede pa vplivajo tudi pH vode, temperatura vode in pretok.

Iz Manningove enačbe za pretok lahko sklepamo, da je pretok poleti in takrat, ko ERM sistem doseže zrelost in je zaraščen manjši, saj se koeficient hrapavosti povečuje. Koeficient hrapavosti po Manningu se giblje od 0,0275 ob zmerno zaraslem jarku pa vse do 0,0375 ob zelo zaraslem jarku (doseženo poleti in ob zrelosti objekta) (Mikošek, 2008). To pomeni, da se ob večanju koeficienta hrapavosti manjša pretok, kar posledično pomeni, da moramo ob manjšem pretoku večati prečni profil jarka. S tem bi posledično morali za večanje struge osuševalnega jarka zmanjšati površine okoliških kmetijskih zemljišč, kar pa bi lahko vplivalo na odločitve za izgradnjo takega sistema. V primeru, da ne bi povečali struge jarka, bi se nam lahko pojavilo zastajanje vode na dotoku in na bližnjih okoliških kmetijskih zemljiščih, s čimer bi se lahko izničil načrtovan učinek osuševalnega sistema.

5 SKLEPI

V diplomski nalogi je predstavljena ERM ureditev osuševalnega jarka pri Lešnici. Znano je, da predstavlja kmetijstvo velik vir onesnaževanja podtalnice in površinskih voda, predvsem z vnosom hranil in pesticidov. Območje izgradnje objekta je bilo izbrano na podlagi dejstev, da je kmetijska pridelava v vzhodnem delu Slovenije močno razširjena in posledično je tudi vnos hranil v tla in vodo večji. Projekt izgradnje ERM jarka pri Lešnici je bil zasnovan tako, da bi odstranjevali hranila iz površinskih voda čim bližje vnosu hranil. To pomeni, da bi uredili osuševalne jarke na način, ki je podoben naravni zasaditvi jarka.

Meritve, ki so bile opravljene v obdobju šestih mesecev, so pokazale učinkovito odstranjevanje hranil iz vode. Bili so doseženi zadovoljivi rezultati predvsem pri odstranjevanju nitratov, nitritov, dušika po Kjeldahlu in amonija. Prav tako so bili dobri rezultati doseženi z zmanjšanjem organske snovi, saj smo dosegli zmanjšanje tako BPK₅ kot KPK. Slabše rezultate smo dosegli pri ortofosfatih in skupnih fosfatih, katerih koncentracija je bila višja na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici kot na dotoku. Sklepamo lahko, da se je to zgodilo zaradi nedozorelosti objekta, zaradi erozije in premajhnega obsegu delovanja.

Sklepamo lahko tudi, da bi bila čistilna sposobnost jarka še večja, če bi bil objekt zgrajen v večjem obsegu in opazovan v daljšem časovnem obdobju, ko bi ERM greda pri Lešnici dosegla določeno zrelost, predvsem z razraslostjo navadnega trsta (*Phragmites australis*).

6 POVZETEK

ERM sistemi so sistemi, ki stremijo k naravnemu povratku krajine in hkrati pripomorejo pri čiščenju tal in vode. Namen naše naloge je bil ugotoviti, kako ERM urejen osuševalni jarek vpliva na čiščenje hranil v vodi. Sklepali smo, da bo koncentracija hranil na dotoku višja, kot koncentracija hranil na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici. Izbrali smo si območje, kjer je kmetijstvo zelo razvito in v velikem obsegu. Izbrali smo območje na Dravsko-Ptujskem polju, kjer je velika površina zemljišč namenjena kmetijski pridelavi in kjer je kmetijstvo zelo razvito in v velikem obsegu.

Pri pregledu objav smo ugotovili, da je bilo veliko narejenega, tako v Sloveniji, kot v svetu, na področju raziskovanja ERM sistemov, zaradi vse večjih težav z onesnaževanjem pitne vode in tal. Veliko več je tudi povpraševanja po naravnih sistemih ureditve krajine, prav tako lahko razberemo, da so taki sistemi ureditve poceni, tako za izgradnjo, kot za njihovo vzdrževanje.

Na ERM jarku pri Lešnici smo opravili meritve zadrževalnega časa, hitre teste, laboratorijske analize in meritve reakcije, temperature in pretoka vode ter vsebnosti O₂. Zadrževalni čas ERM jarka pri Lešnici smo merili z metodo elektroprevodnosti. S pomočjo zadrževalnega časa smo lahko določili, koliko časa potrebuje voda, da preteče skozi ERM objekt. Zadrževalni čas smo merili v treh ponovitvah. Rezultati meritev so pokazali, da je bil zadrževalni čas, merjen 16. 12. 2006, 70 min, 15. 3. 2007 smo izmerili 110 min zadrževalni čas, zadrževani čas, ki smo ga merili 15. 6. 2007 je znašal 179 min. Iz rezultatov lahko razberemo, da se je zadrževalni čas ERM grede pri Lešnici večal, kar lahko pripišemo dozorevanju objekta, različnemu obdobju meritev, različnih pretokov vode in sesedanju substrata v ERM gredi. Pomembno pri zadrževalnem času je to, da je le-ta čim daljši, saj to pomeni, da voda počasi prehaja skozi gredo in posledično imajo rastline in mikroorganizmi več časa za privzemanje posameznih parametrov.

Opravili smo tudi hitre teste za določitev koncentracije nitratnega in amonijevega iona na dotoku in iztoku iz ERM jarka pri Lešnici, s pomočjo katerih smo dokazali, da pri odvzemu vzorcev za laboratorijske analize, za vsebnosti hranil v vodi, ni potrebno upoštevati zadrževalnega časa, čeprav pa ima le-ta pomembno vlogo za učinkovito delovanje ERM sistema. Vsebnost amonijevega in nitratnega iona je bila dokaj konstantna, tako na dotoku kot na iztoku iz ERM jarka pri Lešnici, ne glede na čas odvzema vzorca.

Laboratorijske analize so opravili v ZZV Maribor, na Inštitutu za varstvo okolja. Meritve so bile opravljene za naslednje parametre: nitrate, nitrite, ortofosfate, amonij, KPK, BPK₅, dušik in skupne fosfate. Rezultati analiz so pokazali, da se je v povprečju znižala vsebnost amonija, nitrata, Kjeldahlovega dušika in nitrita. Prav tako se je znižala vsebnost organskih snovi: BPK₅ in KPK. Slabši rezultati so bili doseženi pri čiščenju oziroma zadrževanju fosfatov, saj se je le-ta na iztoku ERM jarka zviševal. Menimo, da je do večanja vsebnosti ortofosfatov in skupnih fosfatov prišlo zaradi nezrelosti pilotskega objekta in zaradi

majhne površine, na katerem je bil ERM jarek zgrajen. Prav tako bi lahko kot vzrok večanja vsebnosti ortofosfatov in skupnih fosfatov pripisali eroziji in poplavljanju grede.

Iz rezultatov lahko sklepamo, da je učinkovitost ERM jarka za čiščenje hranil velika, hkrati tako urejeni objekti pomenijo povratek k naravnemu urejanju krajine. Čista voda in okolje pomenita kakovostno življenje ljudi in živali.

Opozoriti pa moramo tudi na to, da je potrebno upoštevati, da bi ob premalem prečnem profilu struge bilo potrebno posegati v bližnja območja kmetijskih zemljišč. Velikost profila je lahko odločilnega pomena za pretok vode. Če bi imeli premajhen profil, bi se nam lahko zgodilo, da bi nam voda na dotoku zastajala, ali bi nam tekla prehitro preko ERM sistema, kar bi pomenila, da ne bi bil dosežen namen ERM urejenega osuševalnega jarka, katerega namen je zmanjšanje onesnaževal iz bližnjih kmetijskih zemljišč. V primeru, da obdržimo nespremenjen profil jarka, ki ga zapolnimo z vegetacijo, se nam lahko zgodi, da bi nam voda na dotoku zastajala, prav tako bi voda zastajala na bližnjih kmetijskih zemljiščih. Torej to lahko posledično pomeni, da bi za zvečanje struge morali zmanjšati površino okoliških kmetijskih zemljišč, kar pa lahko v določenih primerih vpliva na odločitve za izgradnjo takega sistema.

7 VIRI

- Berden Zrimec M., Drinovec L., Zrimec A. 2006. Biomonitoring ekoremediacij. V: Pogledi na ekoremediacije. Zbornik znanstvenega sestanka 13. 6. 2006. Vovk Korže A., Smaka- Kincl V. (ur.). Maribor, Inštitut za promocijo varstva okolja: 30 – 36
- Čergan Z., Jejčič V., Knapič M., Modic Š., Moljk B., Poje T., Simončič A., Sušin J., Urek G., Verbič J., Vrščaj B., Žerjav M. 2008. Koruza. Kmetijski inštitut Slovenije 110 let. Ljubljana, Založba Kmečki glas: 314 str.
- DIN 38409- H44, modif. German standard methods for the examination of water, waste water and sludge; parameters characterizing effects and substances (group H); determination of the chemical oxygen demand (COD), ranging from 5 to 50 mg/l (H44) <http://uk.ihs.com/> (13. 5. 2009)
- Direktiva sveta z dne 12. decembra 1991 o varstvu voda pred onesnaževanjem z nitrati iz kmetijskih virov. Ur. l. Evropskih skupnosti št. 91/676/EGS <http://eur-lex.europa.eu/> (15. 2. 2009)
- Dular M., Roš M., Trontelj A., Kompare B., Tišler T. 1997. Izrazje s področja voda. Ljubljana, Slovensko društvo za zaščito voda: 107 str.
- EN 1899- 2. Water quality - Determination of biochemical oxygen demand after n days (BOD_n) - Part 2: Method for undiluted samples (ISO5815:1989, modified). 2000: 12 str. <http://www.lsd.lt/> (13. 5. 2009)
- Fraser C. 2000. The Bioremediation and Phytoremediation of Pesticide- contaminated Sites. Technology Innovation Office, Washington: 55 str.
- Griessler Bulc T., Vrhovšek D. 2007. Letna konferenca Katedre za Biotehnologijo. Pomen Biotehnologije in mikrobiologije za prihodnost: voda. 18. – 19. 1. 2007. Limnos, Podjetje za aplikativno botaniko d.o.o.: 18 str.
- Hefting M. M., de Klein J. J. M.. 1998. Nitrogen removal in buffer strips along a lowland stream in the Netherlands: a pilot study. Environmental Pollution, 102, 1: 521 – 526
- Hutchinsonov priročnik znanosti. 2004. od naravoslovja in medicine do tehnike in tehnologije- številni podatki vedno pri roki. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 656 str.
- Ileršič T. 2007. Naravne danosti za postavitev vodnih ekoremediacijskih sistemov. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 39 str.
- ISO 15681. Water quality. Determination of orthophosphate and total phosphorus contents by flow analysis (FIA and CFA). Method by flow injection analysis (FIA). 2004: 30 str. <http://www.standardsdirect.org/> (13. 5. 2009)
- ISO 11732. Water quality. Determination of ammonium nitrogen by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection. 1997: 17 str. <http://www.innoq.gov.mz> (13. 5. 2009)

- ISO 10304- 1. Water quality. Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions. Determination of fluoride, chloride, nitrite, orthophosphate, bromide, nitrate and sulfate ions. Method for water with low contamination. 1995: 24 str.
<http://www.standardsdirect.org/> (13. 5. 2009)
- ISO 6878- pogl. 8. Water quality. Determination of phosphorus. Ammonium molybdate spectrometric method. 2004: 32 str.
<http://www.standardsdirect.org/> (13. 5. 2009)
- ISO 5663 mod. Water quality. Determination of Kjeldahl nitrogen. Method after mineralization with selenium. 1984: 4 str.
<http://www.innoq.gov.mz> (13. 5. 2009)
- ISO/ DIS 13395. Water quality. Determination of nitrite nitrogen and nitrate nitrogen and the sum of both by flow analysis (CFA and FIA) and spectrometric detection. 1996: 26 str.
<http://www.standardsdirect.org> (13. 5. 2009)
- Istenič D. 2006. Ekoremediacije v Svetu in Sloveniji: novi načini ekoremediacij. V: Pogledi na ekoremediacije. Zbornik znanstvenega sestanka 13. 6. 2006. Vovk Korže A., Smaka- Kincl V. (ur.). Maribor: 16 – 20
- Kazalci okolja 2005. 2005. Ministrstvo za okolje in prostor. Agencija Republike Slovenije za okolje: 242 str.
- Koželj B., Vuk D. 1987. Splošna ekologija z varstvom okolja. Založba Obzorja: 174 str.
- Kusch P., Wießnere A., Kappelmeyer U., Weißbrodt E., Kästner M., Stottmeister U. 2003. Annual cycle of nitrogen removal by a pilot- scale subsurface horizontal flow in a constructed Wetland under moderate climate. Water Research, 37: 4236 – 4242
- Leskošek M. 1993. Gnojenje. Za velik in kakovosten pridelek, za izboljšanje rodovitnosti tal, za varovanje narave. Ljubljana, ČZP Kmečki glas: 197 str.
- Madigan M. T., Martinko J. M., Parker J. 1997. Brock Biology of Microorganisms. 8. izdaja. International edition: 986 str.
- Mikošek M. 2008. Osnove hudourništva. Skripta. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 48 str.
- Ocena stanja v kmetijstvu v letu 2008 (spomladansko poročilo). 2009. Kmetijski inštitut Slovenije. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Ljubljana: 61 str.
<http://www.kis.si/> (10. 3. 2009)
- Oliveira R. S., Dodd J. C., Castro P. M. L. 2001. The mycorrhizal status of *Phragmites australis* in several polluted soils and sediments of an industrialised region of Northern Portugal. Mycorrhiza, 10, 5: 241 – 247
- Petauer T. 1993. Leksikon rastlinskih bogastev. 1. izdaja. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije: 684 str.
- Pravilnik za izvajanje dobre kmetijske prakse pri gnojenju. Ur. l. RS št. 130/04
<http://www.uradni-list.si/> (26. 3. 2009)

- Ran N., Agami M., Oron G. 2004. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. *Water Research*, 38: 2241 – 2248
- Steinmann C. R., Weinhart S., Melzer A. 2003. A combined system of lagoon and constructed wetland for an effective wastewater treatment. *Water Research*, 37: 2035–2042
- Statistični urad Republike Slovenije
<http://www.stat.si/> (15. 7. 2009)
- Šajn Slak A. 2007. Ekoremediacije kot zaščita vode pred onesnaženjem zaradi kmetijstva. *Geografski obzornik*, 54, 3 – 4: 17 – 20
- Šajn Slak A. 1999. Kopičenje hranilnih snovi v ekosistemih Cerkniško in Slivniško jezero. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 84 str.
- Tarman K. 1992. Osnove ekologije in ekologija živali. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 547 str.
- Uredba o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla. Ur. l. RS št. 68/ 96
<http://www.uradni-list.si/> (5. 6. 2009)
- Vovk Korže A., Vrhovšek D. 2006. Ekoremediacije za učinkovito varovanje okolja. Maribor, Inštitut za promocijo varstvo okolja: 56 str.
- Vrhovšek D. 2006. Razumevanje pojma ekoremediacije (ERM). V: Pogledi na ekoremediacije. Zbornik znanstvenega sestanka 13. 6. 2006. Vovk Korže A., Smaka-Kincl V. (ur.). Maribor, Inštitut za promocijo varstva okolja: 4 – 9
- Vrhovšek D., Kroflič B. 2007. Ekološka in ekonomska upravičenost rastlinskih čistilnih naprav. *Geografski obzornik*, 54, 3 – 4: 13 – 16
- Vrhovšek D., Vovk Korže A. 2007. Ekoremediacije. Filozofska fakulteta Maribor, Mednarodni center za ekoremediacije in Limnos d.o.o.: 128 str.

ZAHVALA

Ob zaključku diplomske naloge se zahvaljujem mentorici izr. prof. dr. Marini Pintar, ki me je vodila in usmerjala skozi celotno diplomsko delo. Prav tako hvala dr. Alenki Šajn Slak za nasvete, svetovanje in pomoč pri razumevanju delovanja ERM, in podjetju LIMNOS d.o.o., ki mi je omogočilo delo diplomske naloge na pilotnem objektu na Lešnici.

Moja zahvala je namenjena tudi možu Mihi in sinovoma Juretu in Jaku, za njihovo potrpljenje in vzpodbudo ter mami in očetu, ki sta me skozi celoten študij podpirala in mi stala ob strani.