

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Polonca OJSTERŠEK ZORČIČ

**IZBIRA IN UMEŠČANJE EKOREMEDIACIJSKIH
UKREPOV V VODOZBIRNO OBMOČJE
AKUMULACIJSKIH JEZER**

DOKTORSKA DISERTACIJA

Ljubljana, 2015

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA

Polonca OJSTERŠEK ZORČIČ

**IZBIRA IN UMEŠČANJE EKOREMEDIACIJSKIH UKREPOV V
VODOZBIRNO OBMOČJE AKUMULACIJSKIH JEZER**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**SELECTION AND IMPLEMENTATION OF ECOREMEDIATION
MEASURES IN THE RESERVOIR WATERSHED**

DOCTORAL DISSERTATION

Ljubljana, 2015

Na podlagi Statuta Univerze v Ljubljani ter po sklepu Senata Biotehniške fakultete in sklepa Komisije za doktorski študij Univerze v Ljubljani z dne 12. 10. 2012 je bilo potrjeno, da kandidat/ka izpolnjuje pogoje za opravljanje doktorata znanosti na Interdisciplinarnem doktorskem študijskem programu *Bioznanosti*, znanstveno področje *varstvo naravne dediščine*. Za mentorja je bil imenovan *prof. dr. Danijel Vrhovšek*. Z odločbo z dne 18. 3. 2015 je za somentorja bil imenovan *doc. dr. Matjaž Glavan*.

Komisija imenovana za oceno in zagovor:

Predsednik: prof. dr. Mihael Toman

Član: prof. dr. Franci Steinman

Članica: prof. dr. Marina Pintar

Podpisana Polonca OJSTERŠEK ZORČIČ izjavljam, da je doktorska disertacija rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Ljubljana, 2. 11. 2015

.....
(podpis)

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dd
DK	UDK 502:504.121:556.55(043.3)=163.6
KG	akumulacija/vode/vodozbirno območje/erozija/sediment/modeliranje/ SWAT/ERM/ukrepi/Ledavsko jezero/ Vodna direktiva/KOPOP
KK	/
AV	OJSTERŠEK ZORČIČ, Polonca, univ. dipl. inž. kraj. arh.
SA	VRHOVŠEK, Danijel (mentor)/GLAVAN, Matjaž (somentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Podiplomski študij Bioznanosti, znanstveno področje: varstvo naravne dediščine
LI	2015
IN	IZBIRA IN UMEŠČANJE EKOREMEDIACIJSKIH UKREPOV V VODOZBIRNO OBMOČJE AKUMULACIJSKIH JEZER
TD	Doktorska disertacija
OP	XIV, 188 str., 47 pregl., 44 sl., 13 pril., 334 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Erozijski procesi v vodozbornem območju in dotok suspendiranih snovi v akumulacijska jezera povzročajo izgubo koristne prostornine, hidromorfološke spremembe in zmanjšajo kakovost vode. Doktorska disertacija obravnava orodje (OrIU) za optimalno izbiro in umeščanje ekoremediacijskih (ERM) ukrepov v vodozbirno območje akumulacije. Namen orodja je podpirati odločitve, povezane z izbiro učinkovitih ukrepov glede na definiran problem in njihovega umeščanja v vodozbirno območje za izboljšanje in ohranjanje kakovosti voda ter zagotavljanje koristne prostornine. Orodje omogoča umeščanje ukrepov na območja, kjer so ukrepi najbolj potrebni in učinkoviti tj. na kritična območja virov obremenitev (KOVO). Da bi preverili delovanje orodja, smo izbrali akumulacijo Ledavsko jezero, katere vodozbirno območje obsega del SV Slovenije in del JV Avstrije v velikosti 105,25 km ² . Z uporabo modela Soil and water assessment tool (SWAT) smo določili KOVO in preverili učinkovitost osmih scenarijev na zmanjšanje erozije tal in dotoka suspendiranih snovi v akumulacijo. Ugotovili smo, da znaša obseg zemljišč, na katerih je potrebno izvajati ukrepe, 12,2 % vodozbornega območja in da lahko z določenimi ukrepi povprečni letni dotok suspendiranih snovi v akumulacijo zmanjšamo za 30,5 % in premeščanje suspendiranih snovi s prispevnih površin za 56,1 %. Ko smo določili najučinkovitejše ukrepe in KOVO, lahko pričnemo z oblikovanjem načrta umeščanja. S sistematičnim pristopom smo izboljšali izbiro in umeščanje ukrepov, s katerimi zmanjšamo erozijske procese v skladu s Kmetijsko-okoljsko politiko in sočasno prispevamo k ohranjanju koristne prostornine in izboljšanju kakovosti voda v skladu z Vodno direktivo.

KEY WORD DOCUMENTATION

DN Dd
DC UDC 502:504.121:556.55(043.3)=163.6
CX reservoirs/watershed/erosion/sediment/modeling/SWAT/ERM/measures/
Ledavsko jezero/Water Framework Directive/Agri-environmental-schemes
CC /
AU OJSTERŠEK ZORČIČ, Polonca
AA VRHOVŠEK, Danijel (supervisor) / GLAVAN, Matjaž (co-supervisor)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Postgraduate Study of
Biosciences
PY 2015
TI SELECTION AND IMPLEMENTATION OF ECOREMEDIATION
MEASURES IN THE RESERVOIR WATERSHED
DT Doctoral dissertation
NO XIV, 188 p., 47 tab., 44 fig., 13 ann., 334 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Erosion processes in the watershed and transport of suspended solids cause hydromorphological changes, eutrophication and loss of the storage capacity of the reservoirs. This doctoral dissertation deals with the tool (TSI) for optimal selection and implementation of the ecoremediation (ERM) measures in the reservoir watershed to improve water quality and reduce storage loss of the reservoir. The main purpose of this tool is to support decisions related to selection of measures due to defined problem and their implementation in the watershed for improvement of water quality and storage capacity of reservoir while minimizing transport of the suspended solids. This tool provides implementation of measures to the most critical source areas (CSAs) where they are most effective and necessary. In order to verify the operation of this tool, the Ledavsko jezero reservoir, with a watershed comprising 105,25 km² in NE Slovenia and SE Austria, was selected. With use of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) we were able to determine critical source areas and to simulate the effects of eight different scenarios on sediment yield reduction. The results showed that CSAs occupy 12,2 % of the watershed and that we could reduce inflow of sediment in to the reservoir up to 30,5 %. After the determination of most effective measures and CSAs, implementation plan can be defined. With this framework we could enable the selection of cost-effective measures and contribute to the long-term improvement of the ecological status of surface waters due to Water Framework Directive and mitigate erosion from agricultural land due to Common Agricultural Policy.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORD DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VII
SEZNAM PRILOG.....	XI
SEZNAM KRATIC.....	XII
1 UVOD.....	1
1.1 NAMEN IN CILJ.....	1
1.2 HIPOTEZE.....	2
1.3 PRISPEVEK DISERTACIJE K RAZVOJU ZNANOSTI.....	2
2 IZHODIŠČA.....	2
2.1 POMEN AKUMULACIJSKIH JEZER.....	2
2.2 PROBLEMI AKUMULACIJ.....	3
2.3 PREDVIDENO STANJE AKUMULACIJSKIH JEZER.....	5
2.4 VIRI ONESNAŽEVANJA AKUMULACIJSKIH JEZER.....	8
2.4.1 Točkovni in netočkovni (razpršeni) viri.....	8
2.5 PRENOS SUSPENDIRANIH SNOVI V AKUMULACIJSKA JEZERA.....	10
2.5.1 Erozijska tal v vodozbirnem območju.....	10
2.5.2 Dejavniki, ki vplivajo na erozijske procese.....	12
2.5.3 Premeščanje suspendiranih snovi po vodotoku.....	15
2.5.4 Dotok in odlaganje suspendiranih snovi v akumulacijah.....	17
2.5.5 Modeliranje procesov premeščanja v vodozbirnih območjih.....	18
2.5.6 Soil and Water Assessment Tool (SWAT).....	21
2.6 UKREPI ZA ZMANJŠANJE DOTOKA SUSPENDIRANIH SNOVI V AKUMULACIJSKA JEZERA.....	25
2.6.1 Preventivni in korektivni ukrepi.....	25
2.6.2 Ukrepi in instrumenti politike.....	27
2.6.3 Ekoremediacijski (ERM) ukrepi.....	33
2.6.4 Učinkovitost ERM ukrepov.....	55
3 ORODJE ZA IZBIRO IN UMEŠČANJE ERM UKREPOV (OrIU).....	58
3.1 IZBIRA UKREPOV - FAZA I.....	58
3.1.1 Analiza vodnega telesa.....	59
3.1.2 Analiza vodozbirnega območja.....	59
3.1.3 Kritična območja vira obremenitev (KOV).....	60
3.1.4 Določanje ciljev in meril za izbiro ukrepov.....	61
3.1.5 Nabor možnih ukrepov.....	62
3.1.6 Izbor ukrepov in oblikovanje scenarijev.....	64
3.1.7 Vrednotenje in izbira ukrepa.....	65
3.2 UMEŠČANJE UKREPOV - FAZA II.....	66
3.2.1 Oblikovanje in izvedba načrta umeščanja ukrepa.....	66
4 MATERIALI in METODE.....	69
4.1 IZBIRA TESTNEGA OBMOČJA.....	69
4.2 AKUMULACIJA LEDAVSKO JEZERO.....	70
4.2.1 Opis Ledavskega jezera.....	70
4.2.2 Kakovost vode v Ledavskem jezeru.....	71
4.2.3 Odlaganje suspendiranih snovi.....	72
4.3 REKA LEDAVA.....	73
4.3.1 Kakovost reke Ledave.....	73
4.4 VODOZBIRNO OBMOČJE LEDAVSKEGA JEZERA.....	74
4.4.1 Geologija in geomorfologija.....	74
4.4.2 Pedologija.....	77
4.4.3 Raba zemljišč.....	78
4.4.4 Naravna dediščina.....	80
4.4.5 Viri onesnaževanja.....	82

4.4.6	Podnebje	82
4.5	MERITVE KAKOVOSTI VODE	87
4.6	VZPOSTAVITEV MODELA SWAT	89
4.6.1	Vhodni podatki	90
4.6.2	Analiza senzitivnosti	95
4.6.3	Kalibracija in validacija	97
5	REZULTATI	107
5.1	KAKOVOST VODE V REKI LEDAVI IN LEDAVSKEM JEZERU	107
5.1.1	Hranila v reki Ledavi	107
5.1.2	Hranila in kisik v akumulaciji Ledavsko jezero	108
5.1.3	Povezanost med reko Ledavo in Ledavskim jezerom	110
5.1.4	Suspendirane snovi	111
5.1.5	Padavine in pretoki	112
5.2	REZULTATI MODELA SWAT	113
5.2.1	Analiza površin vodozbirnega območja	113
5.3	KRITIČNA OBMOČJA VIROV OBREMENITEV	116
5.3.1	Premeščanje suspendiranih snovi s površinskim odtokom	116
5.3.2	Kritična območja	118
5.4	IZBOR ERM UKREPOV ZA VODOZBIRNO OBMOČJE LEDAVSKEGA JEZERA	123
5.5	OBLIKOVANJE SCENARIJEV	125
5.5.1	Vegetacijski varovalni pasovi med 0 in 11 % naklona - S1	126
5.5.2	Vegetacijski varovalni pasovi med 11 in 24 % naklona - S2	126
5.5.3	Vegetacijski varovalni pasovi med 0 in 24 % naklona - S3	126
5.5.4	Ohranitvena obdelava tal - S4	127
5.5.5	Obdelava tal vzporedno s plastnicami med 11 in 24 % naklona - S5	127
5.5.6	Terase na zemljiščih z nakloni med 11 in 24 % - S6	127
5.5.7	Kolobar brez prezimne ozelenitve - S7	128
5.5.8	Ozelenitev njivskih površin - S8	128
5.6	REZULTATI SCENARIJEV	130
5.6.1	Osnovni scenarij	130
5.6.2	Učinkovitost predlaganih scenarijev	133
5.6.3	Vrednotenje in izbira ukrepov	141
6	RAZPRAVA	145
6.1	ORODJE ZA IZBIRO IN UMEŠČANJE UKREPOV (OrIU)	146
6.1.1	Nadgradnja OrIU	147
6.2	UPORABA ORODJA (OrIU) PRI AKUMULACIJI LEDAVSKO JEZERO	148
6.2.1	Analiza akumulacije in definiranje problema	148
6.2.2	Kritična območja vira obremenitev (KOVO)	149
6.2.3	Nabor ERM ukrepov	151
6.2.4	Vrednotenje ukrepov	153
6.2.5	Prihodnost akumulacij in vloga modelov	157
7	SKLEPI	159
8	POVZETEK (SUMMARY)	161
8.1	POVZETEK	161
8.2	SUMMARY	163
9	VIRI	167

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Priporočene in mejne vrednosti določenih parametrov podane v predpisih.	7
Preglednica 2:	Operacije in zahteve ukrepov KOPOP	28
Preglednica 3:	Temeljni in dopolnilni ukrepi NUV vezani na izboljšanje hidromorfološkega stanja	32
Preglednica 4:	Pregled opisanih negradbenih in gradbenih ukrepov na kmetijskih površinah in ob vodotokih	47
Preglednica 5:	Rezultati modeliranja ERM ukrepov z modelom SWAT	53
Preglednica 6:	Povprečne letne koncentracije nekaterih fizikalno-kemijskih parametrov v akumulaciji Ledavsko jezero glede na OECD kriterije za razvrstitev v trofično kategorijo in okoljski standard za mataloklor	71
Preglednica 7:	Vrednosti suspendiranih snovi (mg/l) v akumulaciji Ledavsko jezero v okviru državnega monitoringa med leti 2003 in 2006. Vzorci so bili odvzeti v hipo- in metalimniju. (Agencija RS za okolje, ARSO)	72
Preglednica 8:	Povprečne letne koncentracije hranil in suspendiranih snovi v reki Ledavi med leti 2007 in 2012 z osnovnimi statističnimi vrednostmi (ARSO) in z mejnimi ter priporočenimi vrednostmi	74
Preglednica 9:	Raba zemljišč na vodozbirnem območju Ledavskega jezera	80
Preglednica 10:	Povprečne mesečne vrednosti za referenčno evapotranspiracijo (mm) za postaji Murska Sobota in Veliki Dolenci (1971 - 2000) (ARSO, Agrometeorologija)	87
Preglednica 11:	Obseg (ha) razredov rabe zemljišč po oblikovanju HOE za vodozbirno območje L.jezera	92
Preglednica 12:	Podatki o čistilnih napravah in pripadajoče povprečne dnevne vrednosti parametrov (organski fosfor – orgP, sediment, organski dušik - orgN) na vodozbirnem območju Ledavskega jezera	94
Preglednica 13:	Parametri z razponi vrednosti uporabljenimi pri analizi senzitivnosti. Z odebeljeno so označeni najbolj občutljivi parametri, uporabljeni za umerjanja modela	96
Preglednica 14:	Parametri uporabljeni pri kalibraciji in validaciji modela za pretok z razponom (min. and maks. vrednost), priporočeno in prilagojeno vrednostjo po končanem umerjanju	98
Preglednica 15:	Statistične vrednosti za letni, mesečni in dnevni korak za kalibracijo pretoka za reko Ledavo (2006-2010)	99
Preglednica 16:	Primerjava osnovnih statističnih vrednosti med merjenimi in simuliranimi dnevnimi pretoki (m ³ /s) za obdobje kalibracije (2006-2010)	99
Preglednica 17:	Vrednosti statističnih kriterijev za povprečni dnevni pretok (m ³ /s) na reki Ledavi (junij 2013 – marec 2014)	100
Preglednica 18:	Parametri uporabljeni pri kalibraciji modela za sediment z razponom (minimalna, maksimalna vrednost), priporočeno in prilagojeno vrednostjo po končanem umerjanju ..	102
Preglednica 19:	Statistične vrednosti kalibracije (2013 -2014) za oceno napovedi modela SWAT za suspendirane snovi	102
Preglednica 20:	Primerjava osnovnih statističnih vrednosti med merjenimi in simuliranimi mesečnimi koncentracijami suspendiranih snovi v reki Ledavi (2013-2014)	103
Preglednica 21:	Povprečna letna koncentracija suspendiranih snovi v reki Ledavi na merilnem mestu Sv. Jurij (2007 – 2012) (ARSO)	103
Preglednica 22:	Vrednosti statističnih kriterijev za dnevne in mesečne vrednosti suspendiranih snovi v reki Ledavi (Pertoča) (junij 2013 – marec 2014)	106
Preglednica 23:	Povprečne, maksimalne in minimalne vrednosti hranil (nitrati NO ₃ ⁻ , celotni dušik TN, celotni fosfor TP in ortofosfor PO ₄ ³⁻) v reki Ledavi	108
Preglednica 24:	Povprečne, maksimalne in minimalne vrednosti hranil (nitrati NO ₃ ⁻ , celotni dušik TN, celotni fosfor TP in ortofosfor PO ₄ ³⁻) v akumulaciji Ledavsko jezero	109
Preglednica 25:	Povprečne mesečne vrednosti za koncentracijo suspendiranih snovi v reki Ledavi in akumulacijau Ledavsko jezero (2013 - 2014)	111
Preglednica 26:	Površine (ha) razredov rabe zemljišč (SWAT) glede na naklon v vodozbirnem območju Ledavskega jezera	114

Preglednica 27:	Površina (ha) in odstotek površin generaliziranih talnih enot po podpovodjih vodozbirnega območja Ledavskega jezera	115
Preglednica 28:	Površine generaliziranih talnih enot glede na naklon.....	116
Preglednica 29:	Povprečne letne vrednosti in odstopanja povprečnih letnih količin suspendiranih snovi (t/ha/leto), ki se iz podpovodij premeščajo s površinskim odtokom v vodozbirnem območju Ledavskega jezera (2006-2013). Odebeljeno so označene najvišje vrednosti	117
Preglednica 30:	Vrednosti in odstopanja od povprečnih letnih količin suspendiranih snovi (t/ha/leto), ki se iz HOE premeščajo s površinskim odtokom v vodozbirnem območju Ledavskega jezera....	118
Preglednica 31:	Povprečne vrednosti prenosa suspendiranih snovi iz HOE, ki presegajo 0,5 t/ha/leto, površina (ha) njiv (AGRR, AGRM) in kmetijskih površin (AGRR, AGRM, FESC, FESM, ORCH, GRAP) po podpovodjih z odstotki (%) površin njiv v podpovodju (2006-2013)	119
Preglednica 32:	Pregled povprečnih letnih vrednosti suspendiranih snovi (t/ha), ki se iz HOE premešča s površinskih odtokom, razdeljen po razredih prenosa (2006 - 2013)	120
Preglednica 33:	Povprečni letni prenos suspendiranih snovi (t/ha) in površine (ha), ki se s površinskim odtokom premešča iz HOE, glede na naklon	122
Preglednica 34:	Povprečni letni prenos suspendiranih snovi (t/ha), ki se s površinskim odtokom premešča iz HOE, glede na rabo tal vodozbirnega območja Ledavskega jezera	122
Preglednica 35:	Povprečni letni prenos suspendiranih snovi (t/ha), ki se s površinskim odtokom premešča iz hidrološke odzivne enote (HOE), glede na tip tal v vodozbirnem območju Ledavskega jezera. V tej preglednici so tla, zaradi preglednosti, združena glede na opisne lastnosti zgornjega horizonta. Podroben pregled prenosa suspendiranih snovi glede na tip tal je v Prilogi G .	123
Preglednica 37:	Obseg (ha) scenarijev, njiv (AGRR, AGRM), vseh kmetijskih zemljišč (AGRR, AGRM, FESC, FESM, GRAP, ORCH) in površin podpovodij vodozbirnega območja Ledavskega jezera.....	125
Preglednica 38:	Podatki o vrednostih parametrov uporabljenih pri simulaciji scenarijev za vodozbirno območje Ledavskega jezera	129
Preglednica 39:	Povprečje povprečnih letnih vrednosti pretoka (m^3/s) po podpovodjih vodozbirnega območja Ledavskega jezera za obdobje simulacije 2006-2013	130
Preglednica 40:	Povprečna letna simulirana količina suspendiranih snovi (t/leto) na iztokih iz podpovodij ter na vtoku v podpovodje 18 vodozbirnega območja Ledavskega jezera v osnovnem scenariju (2006-2013)	132
Preglednica 41:	Odstotek spremembe (%) modeliranih povprečnih letnih pretokov (m^3/s) na iztoku iz podpovodij vodozbirnega območja Ledavskega jezera. Z odebeljeno označenih pet najvišjih pozitivnih ali negativnih vrednosti (2006 - 2013).....	134
Preglednica 42:	Vpliv scenarijev na povprečno letno količino suspendiranih snovi (t/leto) na iztokih iz podpovodij reke Ledave ter vtoku v podpovodje 18, izražen kot odstotek (%) spremembe glede na osnovni scenarij (2006-2013). Z odebeljeno označenih pet največjih sprememb v scenariju.	137
Preglednica 43:	Vpliv scenarijev na povprečno letno količino suspendiranih snovi prenesenih na nivoju podpovodja vodozbirnega območja Ledavskega jezera izražen kot odstotek (%) spremembe glede na osnovni scenarij (2006-2013).	140
Preglednica 44:	Vpliv scenarijev na povprečno letno koncentracijo skupnih suspendiranih snovi (TSS) v odsekih reke Ledave (2006-2013). Z odstotki so prikazane spremembe scenarijev glede na osnovni scenarij.	142
Preglednica 45:	Pregled povprečnih sprememb scenarijev glede na osnovni scenarij za pretok (m^3/s), količino suspendiranih snovi v reki Ledavi na dotoku v podpovodje 18 (t/leto), prenos suspendiranih snovi iz HOE (t/ha/leto) ter koncentracijo suspendiranih snovi v reki Ledavi (mg TSS/l) za obdobje 2006 - 2013	143
Preglednica 47:	Primerjava ukrepov za zmanjšanje prenosa suspendiranih snovi med rezultati po pregledu literature v poglavju 2.6.3 in rezultati modeliranja s SWAT na vodozbirnem območju Ledavskega jezera	156

KAZALO SLIK

Slika 1:	Dotok suspendiranih snovi s prispevnih površin do iztoka v akumulaciji.....	11
Slika 2:	Vzdolžni prerez akumulacije z rečnim, prehodnim in jezerskim območjem (prirejeno po Thornton, 1990)	17
Slika 3:	Vegetacijski varovalni pasovi (Waidler, 2009)	40
Slika 4:	Prikaz razmerja med prispevnim območjem pasu in učinkovitim območjem pasu (prirejeno po Dosskey in sod., 2002)	41
Slika 5:	Učinkovitost ukrepov (%) po pregledu 43 virov literature (n – število rezultatov).....	56
Slika 6:	Postopek izbire in umeščanja ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacij	68
Slika 7:	Vodozbirno območje Ledavskega jezera na karti površinskih voda Republike Slovenije	69
Slika 8:	Ledavsko jezero na aero- in ortofotoposnetkih med leti 1987 in 2011, kjer je opaziti širjenje delte in izginjanje zaliva v SZ delu akumulacije (Geodetski inštitut Republike Slovenije, Izdaja arhivskih aeroposnetkov)	72
Slika 9:	Geološka karta vodozbirnega območja Ledavskega jezera (Krajinski park Goričko in Geološki zavod Slovenije, Geologische Bundesanstalt Österreich, KM500 Austria Geologie).....	75
Slika 10:	Nakloni in nadmorske višine vodozbirnega območja Ledavskega jezera oblikovane na digitalnem modelu višin DMV (GURS, 2012).....	76
Slika 11:	Gosta mreža vodotokov na vodozbirnem območju Ledavskega jezera (Geodetska uprava Republike Slovenije in Zavod za geoinformacijski sistem dežel Štajerske in Gradiščansko - GIS Steiermark in GIS Burgenland).....	77
Slika 12:	Digitalna pedološka karta tal vodozbirnega območja Ledavskega jezera (M 1:25000)	78
Slika 13:	Dejanska raba zemljišč vodozbirnega območja Ledavskega jezera	79
Slika 14:	Krajinski park Goričko je del Trideželnega parka Goričko – Raab – Örség (a). Vodozbirno območje Ledavskega jezera v Sloveniji je v celoti del Krajinskega parka Goričko, ki obsega Ekološko pomembna območja, Območje Nature2000 in nekaterih naravnih vrednot, v Avstriji se na severnem delu območja nahajajo območja Nature2000 (b)	81
Slika 15:	Merilna mesta za kakovost voda in podebbe, za vodomerno postajo Nuskova in lokacije čistilnih naprav na širšem območju akumulacije Ledavsko jezero	83
Slika 16:	Povprečna, maksimalna in minimalna mesečna temperatura za obdobje 2003-2013 na postajah Bad Radkersburg in Bad Gleichenberg.....	84
Slika 17:	Povprečne mesečne (a) in letne (b) padavine vodozbirnega območja Ledavskega jezera za obdobje 2003-2013 (ARSO in ZAMG)	84
Slika 18:	Povprečna mesečna količina padavin in povprečni pretok na vodomerni postaji Nuskova (2003 - 2013)	85
Slika 19:	Povprečna mesečna hitrost vetra (km/h) na vodozbirnem območju Ledavskega jezera (2003-2013)	86
Slika 20:	Povprečno mesečno obsevanje (MJ/m ²) in relativna vlažnost zraka na vodozbirnem območju Ledavskega jezera (povprečje postaj Bad Gleichenberg in Bad Radkersburg, 2003-2013).....	86
Slika 21:	Merilno mesto za kakovost na reki Ledavi z multiparametersko sondo WTW Multi 340i (a), vodomerna leta ob izlivnem objektu na Ledavskem jezeru (b) in vodomerna postaja v Nuskovi na	88
Slika 22:	Vodozbirno območje je SWAT na podlagi digitalnega modela višin, merilnih mest in točkovnih virov onesnaženja razdelil na 18 podpovodij	90
Slika 23:	Razredi rabe SWAT za vodozbirno območje Ledavskega jezera.....	91
Slika 24:	Simulirane in merjene dnevne vrednosti pretoka (m ³ /s) v reki Ledavi za obdobje kalibracije 2006-2010.....	100
Slika 25:	Primerjava med simuliranimi (SWAT) in merjenimi (ARSO) vrednostmi za povprečni dnevni pretok (m ³ /s) na reki Ledavi (2011 - 2013).....	101

Slika 26:	Povprečne merjene in simulirane vrednosti suspendiranih snovi (mg TTS/l) v reki Ledavi (Pertoča) med junijem 2013 in majem 2014.....	104
Slika 27:	Primerjava simuliranih in preračunanih dnevnih količin suspendiranih snovi (t/dan) v Pertoči za obdobje junij 2013 in marec 2014. Na sliki a je s puščico označena odstopajoča vrednost, ki je iz grafa na sliki b izvzeta.	105
Slika 28:	Primerjava simuliranih in preračunanih mesečnih količin suspendiranih snovi (t/mesec) na reki Ledavi (Pertoča) za obdobje junij 2013 in marec 2014. Na sliki a z odstopajočo vrednostjo (17.2. 2014), ki je iz grafa na sliki b izvzeta	106
Slika 29:	Nihanje povprečnih mesečnih vrednosti za nitrat (NO_3^-) in celotni fosfor (TP) v reki Ledavi v obdobju meritev (2013-2014)	108
Slika 30:	Nihanje povprečnih mesečnih vrednosti za nitrat (NO_3^-) in celotni fosfor (TP) v akumulaciji Ledavsko jezero za obdobje meritev (2013 - 2014).....	110
Slika 31:	Povprečne, minimalne in maksimalne mesečne vrednosti koncentracije kisika ($\text{mg O}_2/\text{l}$) v akumulaciji Ledavsko jezero in reki Ledavi v obdobju med junijem 2013 in majem 2014	110
Slika 32:	Nihanje povprečnih mesečnih vrednosti za skupne suspendirane snovi (mg TSS/l) v akumulaciji Ledavsko jezero in v reki Ledavi za obdobje meritev (2013 - 2014).....	112
Slika 33:	Koncentracija celotnega fosforja (mg TP/l) in suspendiranih snovi (mg TSS/l) v reki Ledavi in Ledavskem jezeru za obdobje meritev (2013 - 2014).....	112
Slika 34:	Dnevne vrednosti padavin (mm) za vodozbirno območje Ledavskega jezera in pretoka (m^3/s) na vodomerni postaji Nuskova (junij 2013 - marec 2014).....	113
Slika 35:	Povprečna letna vrednost suspendiranih snovi (t/ha/leto), ki se prenese v vodotok iz HOE (a) in podpovodja (b).....	116
Slika 36:	Primerjava med povprečno letno količino suspendiranih snovi, ki se iz HOE prenese v reko Ledavo (a) in povprečno letno količino erodiranega suspendiranih snovi (b)	120
Slika 37:	Karte z vrisanim prispevnim območjem Ledavskega jezera s prikazom (a) specifičnega premeščanja tal (t/ha/leto) v Sloveniji z uporabo metode Komac in Zorn (2005), (b) stopnjo erozije tal (t/ha/leto) v Alpah z uporabo modela RUSLE in (c) erozije tal (t/ha/leto) v Evropi z uporabo modela PESERA.....	121
Slika 38:	Povprečne mesečne vrednosti (a) pretoka (m^3/s) v reki Ledavi in suspend. snovi (t/mesec) ter (b) pretoka (m^3/s) in površinskega odtoka z vodozbirnega območja (mm/mesec) Ledavskega jezera (2006 - 2013)	131
Slika 39:	Spremembe v povprečni mesečni vrednosti pretoka po izbranih podpovodjih (2, 4, 6, 12, 15 in dotok v podpovodje 18) med osnovnim in testnimi scenariji	135
Slika 40:	Povprečne, minimalne in maksimalne količine suspendiranih snovi (t/leto)(a) ter povprečne, minimalne in maksimalne spremembe glede na osnovni scenarij (b).....	138
Slika 41:	Vpliv izbranih scenarijev (osnovni, 1, 3, 6, 8) na sediment v vodotoku prikazan kot odstotek (%) mesečnih povprečij vseh podpovodij v vodozbirnem območju Ledavskega jezera.....	139
Slika 42:	Spremembe v povprečni letni količini suspendiranih snovi prenesenega s površinskim odtokom iz HOE za posamezne scenarije v vodozbirnem območju Ledavskega jezera.....	141
Slika 43:	Orodje za izbiro in umeščanje ukrepov (OrIU) v vodozbirno območje akumulacije Ledavsko jezero	144
Slika 44:	Kritična območja virov obremenitev (KOVO) v Avstriji (a) in Sloveniji (b) določena s SWAT in prikazana na ortofotu.	150

SEZNAM PRILOG

- Priloga A: Razmerje med namensko rabo zemljišč v Avstriji (Flächenwidmung), dejansko rabo zemljišč v Sloveniji in razredi rabe v SWAT
- Priloga B: Koledar opravil in tehnologije pridelovanja za njive (AGRR)
- Priloga C: Podatki o tleh za novo karto tal v SWAT
- Priloga D: Površine razredov rabe po naklonih in podpovodjih vodozbirnega območja Ledavskega jezera
- Priloga E: Površine tipov tal po naklonih in podpovodjih vodozbirnega območja
- Priloga F: Prenos suspendiranih snovi iz HOE po razredih rabe, naklonih in podpovodjih vodozbirnega območja Ledavskega jezera
- Priloga G: Povprečni letni prenos suspendiranih snovi iz HOE s površinskim odtokom glede na tip tal in naklon po podpovodjih
- Priloga H: Povprečni prenos sedimenta (t/ha/leto) s površinskim odtokom iz HOE glede na naklon, razrede rabe in tip tal. Označeni so razredi prenosa glede na legendo spodaj
- Priloga I: Površine (ha) enotnih kombinacij njiv, tal in naklonov po podpovodjih na katerih je povprečni letni prenos sedimenta s površinskim odtokom večji od 0,5 t
- Priloga J: Učinkovitost scenarijev (%) pri zmanjšanju prenosa suspendiranih snovi iz HOE, kjer je povprečni letni prenos suspendiranih snovi $> 0,5$ t/ha
- Priloga K: Specifično sproščanje tal v Sloveniji po modelu Komaca in Zorna (vir: Zorn in Mikoš, 2010)
- Priloga L: Stopnja erozije v Alpah (vir: vir: Evropski center za raziskavo tal: <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/erosion/ClimChalp/>)
- Priloga M: Pan-Evropska karta ocene ogroženosti tal: karta PESERA (vir: Evropski center za raziskavo tal: http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/pesera/pesera_data.html)

SEZNAM KRATIC

AGNPS	Agricultural Non-Point Source Pollution Model	MODFLOW	Modular finite-difference flow model
AGRM	njiva z osuševalnimi jarki	MPVT	močno preoblikovana vodna telesa
AGRR	njiva vrstni posevki	MUSLE	Modified Universal Soil Loss Equation
ANSWERS	Areal Nonpoint Source <i>Watershed</i> Environment Response Simulation	NRCS	Agencija za varstvo naravnih virov ministrstva za kmetijstvo ZDA
APEX	Agricultural Policy/Environmental eXtender	NUV	Načrt upravljanja voda
CAP	Common Agricultural Policy	OMD	območje omejenih dejavnikov
CREAMS	Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems	ORCD	sadovnjak
DAFSratio	koeficient varovalne površine	OrIU	Orodje za optimalno izbiro in umeščanje ERM ukrepov
DEM	digital elevation model	PBIAS	percent bias
DMV	digitalni model višin	PE	populacijska enota
DOF	digitalna ortofoto karta	PK25	digitalna pedološka karta merila 1:25000
DUDDS	dopolnilni ukrepi za doseganje dobrega stanja oziroma dobrega potenciala	PKE	pedo-kartografska enota
DUPPS	dopolnilni ukrepi za preprečitev poslabšanja ali slabšanja stanja	PRP	Program razvoja podeželja
EC JRC	Skupni raziskovalni center Evropske komisije	PSE	pedosistematska enota
EEA	European Environment Agency / Evropska Agencija za okolje	PU NUV	Program ukrepov Načrta upravljanja voda
EKSRP	Evropski kmetijski sklad za razvoj podeželja	R²	koeficient determinacije
ENS	Nash-Sutcliffe koeficient učinkovitosti	RMSE	Root Mean Square Error
EPA	United States Environmental Protection Agency	RSR	RMSE - observations standard deviation ratio
ERM	ekoremediacije	RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation
EU	Evropska unija	SKP	skupna kmetijska politika
EUROSEM	European Soil Erosion Model	SPARROW	Spatially Referenced Regressions On Watershed attributes
FAO	Organizacija združenih narodov za hrano in kmetijstvo	SPAW	Soil-Plant-Air-Water model
FESC	travnik	SUFI 2	Sequential Uncertainty Fitting Algorithm
FESM	trajni travnik z osuševalnimi jarki	SWAT	Soil and Water Assessment Tool
FRST	gozd	SWRRB	Simulator for Water Resources in Rural Basins
GA	genetski algoritem	TMDL	Total Maximum Daily Load
GERK	grafična enota rabe zemljišča kmetijskega gospodarstva	TN	skupni dušik
GIS	geo-informacijski sistem	TP	celotni fosfor
GRAP	vinograd	TSS	Total Suspended Solids/skupne suspendirane snovi
HOE	hidrološka odzivna enota	URMD	urbano območje - srednja gostota
HRU	hydrologic response unit	USDA	United States Department of Agriculture
HSPF	Hydrologic simulation Program - Fortran	UVT	umetna vodna telesa
KOP	Kmetijsko okoljski program	VFSMOD	Vegetative Filter Strip Modeling System
KOPOP	kmetijsko-okoljska podnebna plačila	WaTEM/SEDEM	Water and Tillage Erosion Model and Sediment Delivery Mode
KOVO	kritična območja virov obremenitev	WATR	voda
LIDAR	Light Detection And Ranging / lasersko skeniranje terena	WEPP	The Water Erosion Prediction Project model
MIKE-SHE	Mike Système Hydrologique Européé	WETL	mokrišče
		ZPP	zaporedni pedološki profil

1 UVOD

Gradnja jezov na rekah poruši ravnotežje med dotokom in odtokom plavin po strugi vodotoka in povzroči odlaganje plavin v akumulacijah. Dotok suspendiranih snovi je posledica erozije tal in brežin vodotokov v vodozbrinem območju, tj. območju, s katerega se, zlasti pod vplivom padavin, površinsko in podpovršinsko premeščajo snovi do vodnega telesa. Z odlaganjem plavin se zmanjšuje koristna prostornina, potrebna za zagotavljanje osnovnega namena (poplave, namakanje, rekreacija) akumulacij, kopičijo se onesnaževala vezana na suspendirane snovi, spreminja se morfologija in z njo povezani biogeokemični procesi v akumulacij. Hkrati zmanjšana prostornina akumulacije vpliva na morfologijo vodotoka gorvodno. Težave se v obdobju po nastanku hitro stopnjujejo, zato se doseganje dobrega ekološkega stanja ali potenciala, ki ga predpisuje Vodna direktiva, oddaljuje.

S širjenjem kmetijskih zemljišč, urbanizacijo, krčenjem in redčenjem gozdov so se erozijski procesi v vodozbirnih območjih in posledično dotok plavin v akumulacije močno povečali (Morris in Fan, 2010). Če želimo problem akumulacij rešiti trajno, je treba začeti z izvajanjem preventivnih ukrepov, ki omilijo erozijske procese v vodozbirnem območju in zmanjšajo dotok plavin v akumulacijo. Na ta način omejimo ponavljajoče se izvajanje korektivnih ukrepov, kar pogosto predstavlja visoke stroške. Med stroškovno sprejemljive in učinkovite preventivne ukrepe se že vrsto let uvrščajo ekoremediacijski ukrepi (ERM), ki jih za varstvo tal pred erozijo vključuje tudi Kmetijsko okoljski program (KOP).

Številne študije (Ahmadi in sod., 2014; Bouraoui in Grizzetti, 2014; Ghebremichael in sod., 2013; Panagopoulos in sod., 2011) navajajo, da lahko s smotrnim umeščanjem izbranih ERM ukrepov na vodozbirno območje vodnih teles dotok plavin bistveno zmanjšamo. Vendar je učinkovitost ukrepov odvisna od hidroloških in podnebnih dejavnikov, tipa tal, rabe zemljišč in topografije. Zato se še vedno poraja vprašanje katere ukrepe, v kolikšnem obsegu in na katera zemljišča vodozbirnega območja jih je treba umestiti, da bomo izboljšali kakovost voda in upočasnili izgubo koristne prostornine akumulacij. Glede na številne ukrepe in možne kombinacije izbranih ukrepov in primernih mest njihove umestitve, so se raziskave usmerile v iskanje optimalne rešitve.

1.1 NAMEN IN CILJ

Namen naloge je izdelati nabor dokazano učinkovitih ekoremediacijskih ukrepov za izboljšanje in ohranjanje kemijskega in ekološkega stanja akumulacijskih jezer in določiti obseg ter mesto njihove umestitve v prostor vodozbirnega območja.

Glavni cilj naloge je razviti orodje za podporo odločanju pri izbiri in umeščanju ekoremediacijski ukrepov v prostor vodozbirnega območja za zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi in nanje vezanih onesnaževal v akumulacije.

1.2 HIPOTEZE

Disertacija preverja hipotezo, da lahko razvijemo orodje, s katerim bo mogoča optimalna umestitev ekoremediacijskih ukrepov v prostor vodozbirnega območja za obnovo in zaščito izbrane akumulacije.

Predvidevamo, da lahko na podlagi rezultatov dosedanjih raziskav zberemo podatke o učinkovitosti posameznih ekoremediacijskih ukrepov glede na vrsto obremenitve in lastnosti obravnanega območja.

Predvidevamo, da lahko za izbrane tipe ekoremediacij določimo merila za njihovo umestitev v prostor tako, da bosta doseženi njihova optimalna učinkovitost in razporeditev.

Predvidevamo, da bomo lahko podali oceno učinka izbranih ukrepov za obravnavano vodozbirno območje in akumulacijo.

1.3 PRISPEVEK DISERTACIJE K RAZVOJU ZNANOSTI

V okviru disertacije bo razvito orodje s katerim bomo prispevali k razumevanju odločitvenih procesov pri načrtovanju urejanja povodij in izbire in umeščanja ukrepov za izboljšanje kakovosti vodnih teles.

Na podlagi pregleda znanstvenih objav o učinkovitosti ukrepov bomo izboljšali znanje o dejavnikih, ki vplivajo na učinkovitost ukrepov pri zmanjšanju prenosa snovi s vodozbirnih površin v akumulacije.

Z vključitvijo računalniškega modela Soil and water assessment tool (SWAT) v orodje, bomo nadgradili dosedanja znanja s področja modeliranja erozijskih procesov in prenosa snovi z vodozbirnih območij v akumulacije.

2 IZHODIŠČA

2.1 POMEN AKUMULACIJSKIH JEZER

Akumulacije so umetna jezera, nastala z zaježitvijo vodotoka ali z izkopom jam za pridobivanje rude, proda ali kamnin. Izgradnja akumulacij za namakanje in skladiščenje pitne vode se je pričela že v zgodnji dobi poselitev. Z razvojem civilizacije je potreba po oskrbi z vodo, namakanju, nadzorovanjem poplav, regulaciji vodnega režima, pridobivanju električne energije in plovbi, vse bolj naraščala (ICOLD, 2013). V Evropi obsegajo jezera in akumulacije (brez Kaspijskega jezera) 300.000 km², kar je 3 % površja Evrope. Akumulacijam pripada več kot tretjina te površine. Zabeleženih je okvirno 7000 velikih akumulacij (višina jezu presega 15 m) in tisoče manjših (European waters, 2012). V Sloveniji pokrivajo stoječe vode s površino 68,93 km² le 0,3 % celotnega ozemlja. Skoraj polovica (31,01 km²) teh vodnih površin je umetnega nastanka (Bat in sod., 2003). Izgradnja

pregrad in jezov se je v preteklih desetletjih zmanjšala, saj se povečujejo stroški vzdrževanja in izgradnje ter naraščajo negativne posledice na okolje. Hkrati je prostora, primerne za izgradnjo, vse manj (European waters, 2012).

Pomen akumulacijskih jezer se razlikuje v prostoru in času. Hitra rast svetovnega prebivalstva povzroča intenzivnejšo rabo prostora, vse večje potrebe po upravljanju vodnega režima in izrabi vodnih virov. V sedanjem času po svetu vse bolj narašča število večnamenskih akumulacij, tj. akumulacij, ki se ob osnovni (primarni) rabi sočasno uporabljajo še za druge namene. Po svetu je 49 % vseh velikih akumulacijskih jezer namenjenih namakanju, 20 % pridobivanju električne energije, 13 % oskrbi s pitno vodo in 9 % varstvu pred poplavami (ICOLD, 2013). V Sloveniji je evidentiranih 58 vodnih akumulacij. Od tega jih je 21 namenjenih energetski izrabi, 12 varstvu pred poplavami in 2 namakanju, preostale so večnamenske (Kryžanowski in sod., 2012).

Kljub umetnemu nastanku akumulacijska jezera predstavljajo pomemben vodni ekosistem s pestro biotsko raznovrstnostjo. Litoralni pas z emerznimi makrofiti nudi zavetišče številnim pticam, plazilcem in žuželkam in je hkrati 'past' za plavine in onesnaževala pred dotokom v akumulacija. Pestra združba makrofitov vodo bogati s kisikom in nudi pritrdilno površino za vodne organizme. Zakon o ohranjanju narave (2004) in Uredba o zvrsteh naravnih vrednot (2002) akumulacij sicer ne navajata, vendar bi jih lahko, vzporedno z jezeri, uvrstili med hidrološko naravno vrednoto in tudi med oblikovano naravno vrednoto, ki je del narave in jo je človek preoblikoval z namenom vzgoje, izobraževanja, oblikovanja krajinskih elementov ali s katerim drugim namenom in je pomembna zaradi ohranjanja biotske raznovrstnosti. Navsezadnje je, kot navajata Margules in Pressey (2000), prav ohranjanje biotske raznovrstnosti glavni cilj pri varovanju narave, saj se z ohranjanjem biotske raznovrstnosti ohranja naravno ravnotežje in obratno.

2.2 PROBLEMI AKUMULACIJ

Upravljalci in lastniki akumulacij se danes soočajo s številnimi problemi. Zaradi večnamenske uporabe se pogosto pojavljajo konflikti glede kakovosti vode, prostornine, varnosti za uporabo, vzdrževanja objekta in opredelitve stroškov (Jørgensen in sod., 2005). Za akumulacije je značilna kratka življenjska doba. Zgrajene so bile v nižinskih delih rek, kjer je raba prostora intenzivnejša, zato so močno podvržene vnosu plavin, hranil in onesnaževal. Kakovost vode je sicer slabša v prvih letih po nastanku, ko so razmere dokaj nestabilne zaradi še nerazvitega vodnega ekosistema. Takrat je kakovost vode odvisna tudi od obsega in vrste vegetacije ter tipa tal, ki jih je voda poplavela, kot tudi do lege akumulacije v krajini (Jørgensen in sod., 2005). Hkrati so akumulacije podvržene umetnemu nihanju vodne gladine, ki ima lahko večje negativne posledice zlasti, kadar traja daljše obdobje ali se izvaja neodvisno od naravnih procesov (Straškraba, 2004). V osnovi se z izgradnjo akumulacij pojavljata dva problema, ki se med seboj prepletata:

1. izguba koristne prostornine in hidromorfološke spremembe zaradi dotoka in odlaganja plavin in
2. izguba kakovosti vode zaradi dotoka hranil in drugih onesnaževal.

Izguba koristne prostornine je posledica odlaganja plavin, ki v akumulacijo prispejo zaradi erozije tal in brežin vodotokov v vodozbirnem območju (Pope in Odhiambo, 2014) ter usedanja avtohtonega organskega materiala, ki nastane zaradi bioloških in kemijskih procesov v akumulaciji (Bloesch, 2004). Z odlaganjem plavin v akumulacijah se spreminjajo morfološke lastnosti (globina, morfologija obale in brežin) in hidrološke razmere (pretok, zadrževalni čas vode, plastovitost), kar posledično vpliva na vrednosti fizikalnih in kemijskih parametrov ter prisotnost življenjskih združb v vodnem telesu (Urbanič in Toman, 2011).

Suspendirane snovi ogrožajo tudi nasipe in jezovne zgradbe. Razjede, ki jih povzročajo delci manjši od 0,1 mm, poškodujejo zapornice, izlivne objekte, ploščadi in turbine (Morris in Fan, 2010), kar predstavlja velike stroške povezane s popravili. Pregrade in akumulacije lahko predstavljajo različne stopnje tveganja glede na potencialno število žrtev in ekonomsko škodo. Porušitev pregrade lahko predstavlja potencialno nevarnost za javno infrastrukturo in poselitevena območja dolvodno (Kryžanowski in sod., 2012). Sicer so najvišji stroški vezani na izgubo koristne prostornine. White (2001) ocenjuje, da se na svetu letno izgubi več kot 0,5 % prostornine akumulacij zaradi odlaganja plavin, kar znaša 45 km³ vode oziroma 13 mrd. USD, potrebnih za izgradnjo novih akumulacij oziroma odstranitev sedimenta iz obstoječih. Pri tej oceni vplivi na okolje in prebivalstvo še niso upoštevani.

Odlaganje plavin v akumulacijah znižuje globino, kar omogoča širjenje makrofita in njihovih spremljajočih alg (Cooke in sod., 2005). Makrofiti in olesenela vegetacija ob koncu rečne delte sicer v veliki meri preprečujejo hranila in plavine (Sollie in sod., 2008), vendar razraščanje vegetacije hkrati predstavlja precejšen del avtohtonih organskih snovi, ki znižujejo koncentracijo raztopljenega kisika v vodi (Cooke in sod., 2005). Pomanjkanje kisika vodi k izrazitim spremembam v strukturi organizmov odvisnih od kisika, zlasti bentosa, ki je zato pogost indikator onesnaženosti voda (Wetzel, 2001).

V sedimentu se med drugim kopičijo hranila in onesnaževala, ki se ob povečani kalnosti zaradi vetra, aktivnosti rib ali povišane temperature in anaerobnih razmer sproščajo v vodo. Zlasti sproščanje fosforja, ki je vezan na labilne železove spojine v sedimentu, poveča verjetnost evtrofnih procesov (Søndergaard in sod., 2003; Urbanič in Toman, 2011). Zmanjšana prosojnost zaradi suspendiranih snovi omejuje rast submerznih makrofita, ki so pomemben habitat, vir hrane in kisika v vodnem ekosistemu.

V plitkejših akumulacijah so nihanja vodne gladine izrazitejša, kar povzroča erozijo brežin, degradacijo habitata in zmanjšuje biodiverzitet (Straškraba in Tundisi, 1999; Wetzel, 2001; Søndergaard in sod., 2007). Onesnaževala, kot so sredstva za varstvo rastlin ali težke kovine, v sedimentu predstavljajo problem v prehranjevalni verigi akumulacij, saj jih iz sedimenta privzamejo organizmi bentosa. Bioakumulacija strupenih snovi v prehranjevalni verigi lahko

pri določenih organizmih povzroča deformacije organov in zmanjšuje biodiverzitetu, kar so pokazale številne študije, med drugim tudi Dummee in sod. (2012).

Prisotnost velikih količin anorganskih delcev v suspendirani snovi povzroča poškodbe vitalnih delov organizmov (dihalni organi, koža idr.), saj prihaja do trenja med organizmi in delci. Številni vodni organizmi prej odmrejo zaradi hitro razvijajočih se glivičnih okužb. Organske suspendirane snovi, za razliko od anorganskih, predstavljajo hrano za heterotrofne organizme, kar poveča respiratorno aktivnost, ki posledično zmanjša koncentracijo raztopljenega kisika (Urbanič in Toman, 2011). Zaradi odlaganja plavin prihaja do degradacije ribjih habitatov v akumulacijah. Tako so se populacije rib zaradi degradacije habitatov zmanjšale v 31 % akumulacij Združenih držav Amerike (Miranda in sod., 2010). Ribje populacije so se zmanjšale tudi v vodotoku gor- in dolvodno od jezer, ker se z zaježitvijo vodotoka prekine naravni tok vode, ki ovira dostop do drstišč selitvenih vrst rib. Hkrati prestrezanje plavin v akumulacijah vodi k pomanjkanju plavin v vodotokih dolvodno od jezer, kar povzroča pomanjkanje substrata za drstišča in poveča erozijo dna in brežin (Friedl in Wüest, 2002; Annadale, 2005; Kondolf, 2014; Morris in Fan, 2010).

Večina evropskih jezer in akumulacij je pod vplivom prekomernega vnosa hranil, zato še ne dosegajo dobrega stanja (EEA, 2012). Povečan vnos hranil (zlasti dušika in fosforja) privede do prekomerne produkcije organske snovi. V nekaj desetletjih se izrazijo splošno znani problemi, kot so prekomerno zaraščanje vodnih teles z makrofiti, cvetenje alg, pomanjkanje kisika v hipolimniju, zmanjšana prosojnost vode, spremembe v temperaturi vode in v vrstnem sestavu favne in flore (Jørgensen in sod., 2005; Cooke in sod., 2005; Ansari in sod., 2011). Stopnja in hitrost eutrofikacije sta odvisni še od vrste drugih dejavnikov, kot so velikost in globina akumulacij, pretočnost oziroma zadrževalni čas ter vzorci stratifikacije in kroženja vode v vodnem telesu (Straškraba, 2004; Wetzel, 2001), ki se skozi čas spreminjajo s kopičenjem sedimenta. Na eutrofikacijo lahko dodatno vplivajo tudi podnebne spremembe. Beklioglu in sod. (2011) predvidevajo, da bosta struktura in delovanje plitkih jezer in akumulacij zmerne podnebja v prihodnosti primerljiva z akumulacijami (sub)tropskega podnebja, kjer višje temperature vodijo k povečani kalnosti vode in višji koncentraciji hranil.

2.3 PREDVIDENO STANJE AKUMULACIJSKIH JEZER

Glede na opisane probleme želimo doseči in ohranjati dobro kakovost voda in koristno prostornino akumulacij. Straškraba (2004) definira kakovost vode kot skupino fizikalnih, kemijskih in bioloških lastnosti določenega vodnega telesa. Katera lastnost se upošteva kot pomembna, je odvisno od namena uporabe vodnega telesa. Tako so na primer zahteve o kakovosti za pitno vodo drugačne od zahtev za gojenje rib, uporabe akumulacij za rekreacijo ali varovanje pred poplavami. V kolikor so akumulacije večnamenske, je smotno upoštevati mejne vrednosti fizikalno-kemijskih in kemijskih parametrov za tisto vrsto namena, ki ima najvišje zahteve glede kakovosti (pravilo »najstrožji določa«).

Kadar je potrebno zagotavljati koristno prostornino akumulacij za varovanje pred poplavami, za zbiranje vode za namakanje ali pitne vode, je potrebno upoštevati tudi odlaganje plavin. Pri načrtovanju akumulacij se analizira 'razpolovna doba' tj. čas v katerem se s plavinami zapolni polovico prostornine, kar ne pomeni polovica do popolne zapolnitve koristne prostornine, temveč le prelomno točko, od katere naprej sta namen ali funkcija akumulacija ogrožena.

Za učinkovito upravljanje voda je Evropska skupnost v letu 2000 sprejela Vodno direktivo (2000/60/ES), ki jo je Slovenija v celoti prenesla v svoj pravni red. V skladu z zahtevami direktive se kakovost površinskih voda določa z vrednotenjem kemijskega in ekološkega stanja, oziroma v primeru umetnih in močno preoblikovanih vodnih teles (MPVT), njihovega ekološkega potenciala. Akumulacijska jezera se največkrat uvršča med MPVT, telo površinske vode, ki imajo zaradi fizičnih sprememb, povzročenih s človekovo dejavnostjo, znatno spremenjene lastnosti (Zakon o vodah, 2002; Pravilnik o določitvi in razvrstitvi vodnih teles površinskih voda, 2005) in zaradi teh sprememb ne more dosegati dobre biološke kakovosti, ki je ustrezna za doseganje dobrega ekološkega stanja.

Kriteriji za oceno kemijskega in ekološkega stanja vodnih teles so za Slovenijo določeni v Uredbi o stanju površinskih voda (2009). Kriteriji za oceno ekološkega potenciala za biološke elemente za MPVT še niso izdelani. Za ta vodna telesa je ocena ekološkega stanja izdelana le na osnovi stanja splošnih fizikalno-kemijskih parametrov in posebnih onesnaževal, čeprav se izvaja monitoring bioloških elementov (Remec-Rekar in sod., 2010). Ekološki potencial akumulacij je dober, kadar so vrednosti ustreznih bioloških elementov le malo spremenjene v primerjavi z vrednostmi pri največjem ekološkem potencialu, kjer te odražajo vrednosti povezane s primerljivim tipom vodnega telesa površinske vode, vrednosti fizikalno-kemijskih parametrov pa so v območjih, ki zagotavljajo delovanje ekosistema. Med splošnimi fizikalno-kemijskimi elementi za jezera je mejna vrednost za dobro ekološko stanje v Uredbi o stanju površinskih voda (2009) trenutno določena le za vsebnost kisika v hipolimniju (stanje 'zelo dobro' kadar, $> 4 \text{ mg O}_2/\text{l}$ in 'dobro' kadar, $> 1 \text{ mg O}_2/\text{l}$). Parameter je primeren le za oceno stanja globokih jezer, ker v plitvih akumulacijah zaradi stalnega mešanja vode do pomanjkanja kisika ne prihaja. Več mejnih in priporočenih vrednosti je določenih z Uredbo o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (2002), Vodno direktivo (2000/60/ES), Pravilnikom o pitni vodi (2004) in Pravilnikom o minimalnih higienskih zahtevah, ki jih morajo izpolnjevati kopališča in kopalna voda v bazenih (2011), podanimi v preglednici 1.

Preglednica 1: Priporočene in mejne vrednosti določenih parametrov podane v predpisih.
Table 1: Recommended and border values of specific parameters as stated in regulations

Parameter	Stanje	Priporočena vrednost	Mejna vrednost	Predpis
Kisik (mg O ₂ /l)	zelo dobro	-	> 4	Uredba o stanju površinskih voda
	dobro	-	> 1	
	salmonidne vode	50 % ≥ 9 100 % ≥ 7	50 % ≥ 9 100 % ≥ 6	Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib
	ciprinidne vode	50 % ≥ 8 100 % ≥ 5	50 % ≥ 7 100 % ≥ 4	
	pitna voda	50	-	
Nitrat (mg NO ₃ /l)	zelo dobro	-	3.2 – 7.0*	Uredba o stanju površinskih voda – mejne vrednosti razredov ekološkega stanja
	dobro	-	6.5 – 9.5*	
	salmonidne vode	≤ 0.2	-	Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib
Celotni fosfor (mg P/l)	ciprinidne vode	≤ 0.4	-	
Suspendirane snovi (mg TSS /l)		≤ 25		Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib
Prosojnost (NTU**)		≤ 0.5		Pravilnik o minimalnih higienskih zahtevah...kopališča in kopalna voda v bazenih

*velja za reke (valid for rivers only); **NTU – nefelometrične enote za prosojnost (nephelometric turbidity units)

Doseganje dobrega ekološkega stanja oziroma ekološkega potenciala površinskih voda je potrebno tudi za dolgoročno zagotavljanje zadostne količine kakovostne vode, kajti le obnovljeni vodni ekosistemi bodo zagotavljali ekosistemske storitve, potrebne za podporo življenja in gospodarskih dejavnosti, ki so odvisne od voda. Vendar več kot polovica površinskih vodnih teles v Evropi dobrega ekološkega stanja ne dosega (Poročilo ..., 2012; SOER, 2015).

Prosojnost v Vodni direktivi ni posebej omenjena kot element kakovosti, vendar je navedena med kemijskimi in fizikalno-kemijskimi elementi, ki podpirajo biološke elemente. V primeru zelo dobrega stanja vodnega telesa povprečna biomasa fitoplanktona ne povzroča pomembnih sprememb za tip značilne prosojnosti. Ne upošteva pa dejstva, da je prosojnost odvisna od suspendiranih snovi, ki ob fitoplanktonu vključujejo še delce tal(melj in glino), alge, mikroorganizme, katerih posamezni delež težko ovrednotimo (Thornton in sod., 1990). Po vodni direktivi so suspendirane snovi navedene v okvirnem seznamu glavnih onesnaževal, a mejne vrednosti niso določene. V Sloveniji je priporočena vrednost za suspendirane snovi v salmonidnih in ciprinidnih vodah določena po Uredbi za kakovost površinske vode za življenje sladkovodnih vrst rib (2002) in znaša 25 mg/l. V Združenih državah Amerike so suspendirane snovi na seznamu glavnih onesnaževal površinskih voda tako v smislu količine in tudi kakovosti. Kakovost suspendiranih snovi se nanaša na onesnaževala, ki so vezana nanje, čeprav mejna dnevna vrednost (največja dovoljena dnevna obremenitev, ki jo vodno telo lahko še prejme in ob tem dosega predpisano kakovost, angl.

Total Maximum Daily Load, TMDL) za količino suspendiranih snovi še ni določena. Vondracek in sod. (2003) so glede na negativen vpliv suspendiranih snovi na ribe, v dveh vodotokih zvezne države Minnesota določili mejo 46 mg/l. Sicer imajo štiri zvezne države kriterij za količino suspendiranih snovi. V državi Havaji povprečje v suhem obdobju ne sme presegati 10 mg/l, manj kot 10 % meritev ne sme presegati 30 mg/l in le 2 % meritev lahko presega 55 mg/l. Utah, severna in južna Dakota razlikujejo med vrednostmi toplih in hladnih voda. V hladnih vodotokih je največja dovoljena dnevna vrednost 58 mg/l, v toplih vodotokih 263 mg/l. Povprečna 30-dnevna mejna vrednost v toplih vodah se nahaja med 90 mg/l in 150 mg/l ter v hladnih vodotokih med 30 mg/l in 35 mg/l (EPA, 1999).

2.4 VIRI ONESNAŽEVANJA AKUMULACIJSKIH JEZER

2.4.1 Točkovni in netočkovni (razpršeni) viri

Hranila, onesnaževala in suspendirane snovi se v površinske vode prenašajo na dva različna načina: iz točkovnih in razpršenih virov. Kot navajata Loague in Corwin (2005), je **točkovne vire**, kot so živinorejski objekti, komunalne vode industrijskih ali individualnih objektov, neurejena odlagališča odpadkov, ribniki z ostanki rudarske dejavnosti ipd. lažje nadzirati in identificirati ter meriti. Z uvedbo Direktive o čiščenju komunalne odpadne vode (91/271/EGS, UWWTD), Vodne direktive (2000/60/EC, WFD) in nacionalne zakonodaje se je v zadnjih 25 letih stanje na področju točkovnih virov v Evropi vidno izboljšalo (Bouaraoui in Grizzetti, 2011; EEA, 2012).

Nasprotno so **netočkovni (razpršeni) viri** težje določljivi in onesnažujejo okolje preko nešteto majhnih, razpršenih točkovnih virov. Delci tal in onesnaževala v vodna telesa vstopajo časovno razpršeno, odvisno od podnebnih razmer, topografskih značilnosti, tipa tal in vegetacijskega pokrova, s površinskim ali podpovršinskim odtokom s prispevnih površin. S povečanim površinskim odtokom se poveča prenos sedimenta in onesnaževal v vodna telesa. Medtem ko so onesnaževala, kot so kovine, soli in poliaromatični hidrokarbonati največkrat posledica površinskega odtoka iz urbanih površin in prometne infrastrukture, suspendirane snovi, hranila in sredstva za varstvo rastlin v vodna telesa prispejo s kmetijskih površin (Cambell in sod., 2004; Loague in Corwin, 2005). Kljub številnim lokalnim in nacionalnim pobudam ter ukrepom, ostaja onesnaževanje iz netočkovnih virov (razpršeno onesnaževanje) glavni razlog zaradi katerega cilji pri doseganju dobre kakovosti voda za številna vodna telesa še niso doseženi (Bouaraoui in Grizzetti, 2011). Vendar je pri tem potrebno upoštevati, da se priporočene vrednosti parametrov, s katerimi določamo kakovost voda, med povodji razlikujejo zaradi naravnogeografskih značilnosti in da je odziv vodnih teles na omilitvene ukrepe lahko različen.

Podobno velja za erozijo tal. Čeprav je erozija naraven pojav, se stopnja in pogostost prenosa tal s površinskim odtokom razlikujeta globalno in med posameznimi povodji (Morgan, 2005). Kljub vsemu je znano, da se je s krčenjem in redčenjem gozdov, urbanizacijo in širjenjem kmetijskih zemljišč erozija tal močno povečala, kar znatno prispeva h kopičenju

suspendiranih snovi v akumulacijah in nanje vezanih onesnaževal v vodnih telesih (Morris in Fan, 2010).

2.4.1.1 Krčenje in redčenje gozdov

Krčenje in redčenje gozdov za pridobivanje lesa in prostora sovpadata z obdobjem ekonomske rasti. S tem se zmanjša transpiracija in prepustnost površinskih tal, ki je odvisna od obsežne strukture korenin. Z odstranjevanjem dreves, podrasti in humusnega horizonta tal se poveča erozijska moč padavin (Knighton, 1998). Z erozijo se mobilizirajo tudi mineralne soli in organski material, kar močno vpliva na kakovost voda. S krčenjem, zlasti obrečnih gozdov, se zvišuje tudi temperatura vodotokov. Z višjo temperaturo vode se zniža količina raztopljenega kisika, kar posledično spreminja vrstni sestav organizmov v vodnih telesih (Kristensen in sod., 2013).

2.4.1.2 Urbanizacija

S širitvijo mest, naselij in tudi z gradnjo prometne infrastrukture močno spreminjamo lastnosti pronicanja, stopnjo transpiracije in vzorce odtoka s prispevnih površin, kar vpliva tako na kakovost kot na količino vode v vodnih telesih. Neprepustne, pozidane površine v vodozbirnem območju povečajo volumen in pretok v vodotokih, kar vpliva na kakovost vode in biotsko raznovrstnost v površinskih vodah (Erickson in sod., 2013). Paul in Meyer (2001) poročata, da se z 10 do 20 % deležem neprepustnih površin v vodozbirnem območju odtok poveča za dvakrat in s 35 do 40 % deležem za trikrat bolj kot v vodozbirnem območju poraščenem z gozdom. Zaradi povečanega površinskega odtoka se dolvodno od urbanih površin poveča erozija brežin v vodotokih in ob cestah (Morgan, 2005). V območjih z visokim deležem neprepustnih tal so bolj pogoste tudi poplave s kratko povratno dobo (Roesner in sod., 2001), s katerimi se vnašajo delci tal s poplavnih ravnin, poveča erozija brežin in premeščajo večje količine plavin po vodotoku.

2.4.1.3 Kmetijstvo

Kmetijstvo še vedno predstavlja največji delež netočkovnega onesnaževanja (EEA, 2012). Kersebaum in sod. (2003) ocenjuje, da samo kmetijstvo prispeva 55 % netočkovnega onesnaženja. Med leti 1950 in 2000 se je količina pridelka (t/ha) v Evropi in Združenih državah Amerike povečala za 3-krat, količina porabljenih mineralnih dušikovih gnojil za 23-krat in fosforjevih za 8-krat. Povprečje ornih zemljišč od 1964 do 2002 zvišalo za 13 %, medtem ko se je število prebivalcev na svetu povečalo za 89 %. Čeprav se je delež kmetijskih zemljišč glede na prebivalca zmanjšal iz 0,42 na 0,25 ha, se je pridelek na hektar polj v enakem obdobju povečal za skoraj dvakrat (FAO, 2006). Odstranitev naravne vegetacije, oranje in intenzivna obdelava tal zmanjšujejo količino organske snovi v tleh, kar povzroča slabo strukturo tal ter poveča erodibilnost. Hkrati se je z razvojem kmetijske mehanizacije pojavila potreba po združevanju kmetijskih zemljišč, kar je dodatno zmanjšalo število mejic in povečalo prenos suspendiranih snovi, hranil in onesnaževal v vodna telesa.

2.5 PRENOS SUSPENDIRANIH SNOVI V AKUMULACIJSKA JEZERA

2.5.1 Erozijski procesi v vodozbirnem območju

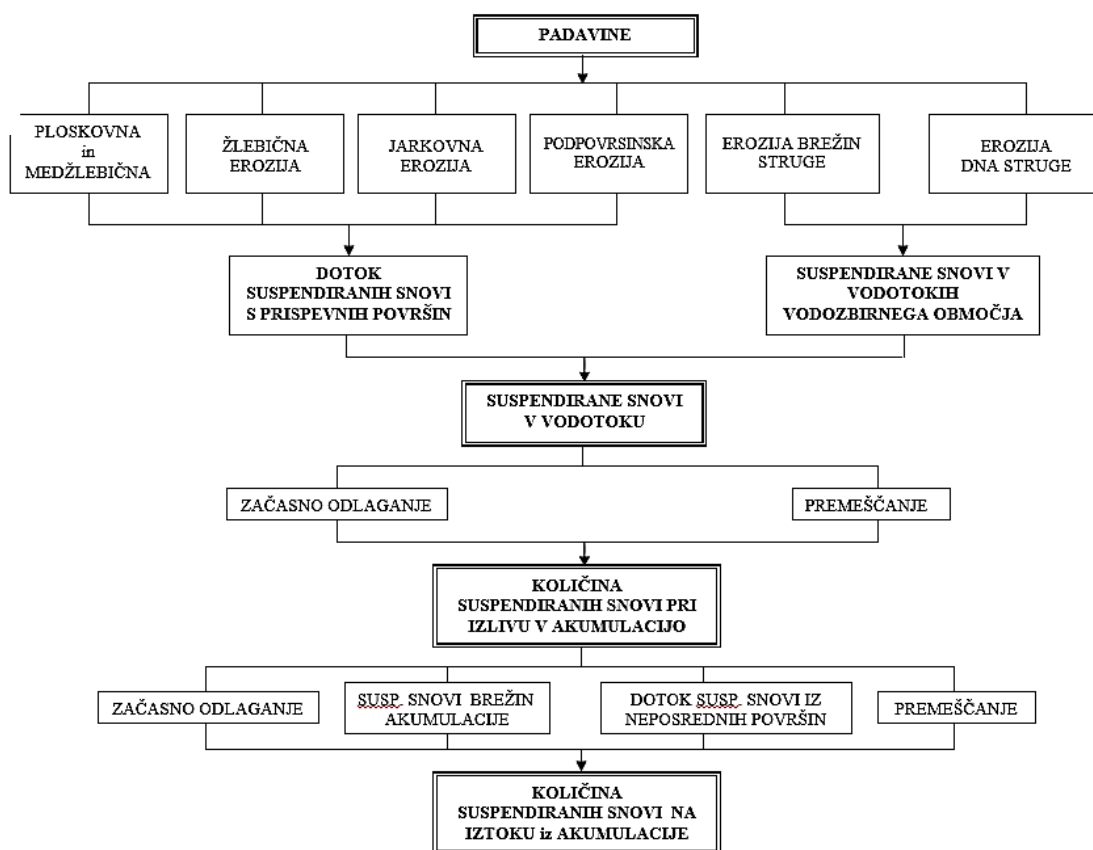
Večina suspendiranih snovi (lebečih plavin) v akumulacijo prispe kot posledica erozije tal zaradi padavin (vodna erozija) in kasnejšega premeščanja po vodotoku (Morris in Fan, 2010). Vendar erozija tal ni samo vir suspendiranih snovi in nanje vezanih onesnaževal, ki prispejo v vodno telo. Erozijski procesi povzročajo tudi škodo na gospodarski javni infrastrukturi, objektih in degradirajo in odnašajo rodovitna tla. Zaradi obremenitev na kmetijskih zemljiščih je Organizacija Združenih narodov za hrano in kmetijstvo (FAO) ocenila, da moramo doseči naravno ali geološko erozijo tal, ki lahko znaša 1 t/ha/leto. V kolikor je izguba tal večja, se ta obravnava kot nepovratna in predstavlja izgube v kmetijski pridelavi. To merilo navaja tudi Portal evropskih tal (European Soil Portal) Raziskovalnega centra Evropske komisije (EC JRC). Vendar se stopnja erozije tal globalno razlikuje zaradi naravnogeografskih lastnosti (Morgan, 2005). Tako lahko naravna povprečna letna erozija tal na Kitajskem znaša 0,1 - 2 t/ha, v Združenih državah Amerike 0,03 – 3 t/ha, v Etiopiji 1 - 5 t/ha in v Belgiji ter Veliki Britaniji 0,1 – 0,5 t/ha. Na obdelanih tleh se lahko vrednosti povečajo za več kot 10-krat. Vsekakor so ukrepi za varstvo tal pred erozijo danes nujni v skoraj vseh državah sveta in na skoraj vseh vrstah obdelave tal (Morgan, 2005).

Erozija je sicer naravni proces, s katerim opišemo mehansko in kemično sproščanje, površinsko spiranje in premeščanje tal, ki se prične po stiku dežnih kapljic s tlemi, ko pljusk sprosti delce zemljine iz matičnih tal, ki se nato pričnejo premeščati z vodnim tokom po pobočju. Kadar se tok zaradi zmanjšanja naklona pobočja upočasni, se prične proces odlaganja (Morgan, 2005; Petkovšek, 2000). Večinoma se premeščanje pojavi šele z nastopom površinskega odtoka padavin, ki nastopi, kadar količina padavin preseže infiltracijsko kapaciteto tal ali kadar so tla predhodno zasičena z vodo. V kolikor so tla gola, degradirana ali zbita zaradi posegov človeka, je ta pojav še bolj izrazit (Knighton, 1998; Cambell in sod., 2004). Proces erozije je funkcija dveh dejavnikov: (i) *erozivnosti*, zmogljivost vode, da sproži erozijo in (ii) *erodibilnosti* tal, tj. neodpornost tal za premeščanje. Erodibilnost je odvisna od velikosti in fizikalnih lastnosti zemljine, erozivnost pa od intenzitete padavin, količine in trajanja ter drugih značilnosti padavin, kot so porazdelitev velikosti dežnih kapelj, njihove mase in hitrosti padanja. Na erozijo tal vplivajo še dejavniki, kot so naklon, morfologija in dolžina pobočja ter pokritost tal z vegetacijo (Morris in Fan, 2010; Morgan, 2005; Mikoš in Zupanc, 2000) in bodo podrobneje opisani v nadaljevanju. Glede na razvoj erozijskega procesa lahko vodno erozijo delimo na ploskovno ali medžlebično, žlebično in jarkovno erozijo (Rusjan in Mikoš, 2006), ki tvorijo skupno erozijo vodozbirnega območja. *Ploskovna* ali *medžlebična erozija* nastane kot posledica pljuskov dežnih kapljic in površinskega odtoka in je bolj ali manj enakomerno razporejena na površju tal in povzroča sproščanje in premeščanje delcev zemljin po površju. Sproščanje in premeščanje delcev se poveča, kadar se tok prične koncentrirati v žlebičih in nastane *žlebična erozija*. *Jarkovna erozija* se pojavlja z nadaljnjim stekanjem površinskega odtoka

vode, ki pridobiva na moči, hitrosti in globini (Morgan, 2005; Rusjan in Mikoš, 2006; Mikoš in Zupanc, 2000). Količinska razmerja med sproščenimi in dejansko delci tal z omenjenimi erozijskimi procesi, so lahko zelo spremenljiva. Na to v veliki meri vpliva tudi pokritost tal z vegetacijo (Prosser in Dietrich, 1995). Vse omenjene oblike erozije tal lahko zaradi površinskega odtoka vode nastopajo ločeno, v večini primerov pa gre za kombinacijo različnih oblik erozije tal. Pojav žlebične in jarkovne erozije je močno vezan na zadostno dolžino pobočja, ki vpliva na stopnjo koncentriranosti površinskega odtoka vode. Navzdol po pobočju si sledijo ploskovna ali medžlebična, žlebična in jarkovna erozija (Rusjan in Mikoš, 2006).

Manj intenzivno premeščanje suspendiranih snovi je podpovršinsko, vendar se lahko z osuševalnimi sistemi poveča. Walling in sod. (2006) so ugotovili, da podpovršinski osuševalni sistemi v povprečju prispevajo od 30 do 60 % k letni bilanci suspendiranih snovi.

Poti premeščanja in odlaganja talnih delcev s prispevnih površin do akumulacije so prikazane na sliki 1. Z razumevanjem erozijskih procesov in poti premeščanja suspendiranih snovi do akumulacije lažje določimo najbolj ranljiva območja in omilitvene ukrepe.



Slika 1: Dotok suspendiranih snovi s prispevnih površin do iztoka v akumulaciji
Figure 1: Suspended solids inflow from the reservoir watershed

2.5.2 Dejavniki, ki vplivajo na erozijske procese

2.5.2.1 Padavine

Izguba tal je tesno povezana s padavinami. Delno zaradi sproščanja talnih delcev ob trku dežnih kapljic s tlemi, ki razrahljajo in prekinajo kohezivne vezi med delci zemljine in jih na ta način naredijo mobilne, in delno zaradi površinskega padavinskega odtoka, ki razrahlja strižno napetost med delci zemljine, da se lahko ti nato premeščajo s tokom po površju (Morgan, 2005; Rusjan in Mikoš, 2006). Večina plavin se premešča pod vplivom površinskega toka in narašča v primeru (i) *kratkotrajnih intenzivnih padavin*, ko se poveča zbitost tal pod vplivom udarcev dežnih kapljic in zmanjša zmogljivost pronicanja, ne glede na splošno infiltracijsko zmogljivost tal, (ii) v primeru *dolgotrajnih obilnih padavin* z manjšo intenziteto, zaradi predhodne zasičenosti tal z vodo ter (iii) s povečano *kinetično energijo dežnih kapljic*, ki je odvisna od velikosti le-teh, njihove mase in hitrosti padanja. Večina razrahljanih zemljin se premesti med prvim padavinskim dogodkom in manj med sledečimi, saj je bil večji del zemljin premeščen med prvim dogodkom. Premeščanje se znatno poveča, ko se tok koncentrira v žlebiče (Knighton, 1998; Morgan, 2005). V Sloveniji in drugod po svetu zaradi podnebnih sprememb prihaja do vedno pogostejših izrednih vremenskih pojavov, kot so obdobja suše z visokimi temperaturami in obdobja intenzivnih padavin v obliki nalivov in neurij (Kajfež-Bogataj, 2006). Slovenija že sedaj sodi med območja z največ nevihtami v Evropi, njihovo število pa se bo s podnebnimi spremembami le še povečalo (ARSO 2009), kar povečuje možnost hudourniških izbruhov, intenzivnejše preperevanje kamnin, pogostejše in večje odtoke visokih voda in s tem intenzivnejše odplavljanje in prenos plavin (KLIWA 2007; Raetz 2006). Čeprav izguba tal narašča z intenziteto padavin (Wei in sod., 2014; Defersha in Melesse, 2011; Römkens in sod., 2001), na erodibilnost tal vplivajo še drugi dejavniki, kot so predhodna nasičenost tal z vodo, lastnosti tal, naklon in poraščenost.

2.5.2.2 Lastnosti tal

Erodibilnost je odvisna od teksture tal, stabilnosti agregatov, strižne napetosti med delci, zmožnosti pronicanja vode ter vsebnosti organske in anorganske snovi. Na splošno so peščeno-glinena in glinena tla manj dovzetna za premeščanje kot peščena ali meljasta, saj med njimi delujejo močne kohezijske vezi (Morgan, 2005). Količina vode v tleh te vezi razrahlja in tla postanejo dovzетnejša za premeščanje. Knighton (1998) navaja, da ploskovna in žlebična erozija prevladujeta na golih in obdelanih površinah (pašniki, polja, urbana območja) ter prispevata okvirno od 50 do 90 % dotoka plavin. Zlasti v žlebični eroziji se prenos zemljin znatno poveča, saj žlebiči delujejo kot poti koncentriranega toka. Žlebična erozija se povečuje, ko se povečuje naklon pobočja, saj se s tem povečuje moč površinskega toka in zmanjšuje strižna napetost zgornje plasti tal.

K povečanim obremenitvam prispeva tudi časovno neusklajena uporaba mehanizacije glede na hidrološke pojave. Uporaba kmetijske mehanizacije lahko na mokrih tleh vodi k tlačenju

in prekomernemu zbijanju tal, s čimer se sicer zmanjša erozija tal (Ekwue in Harriral, 2010), vendar se poveča površinski odtok, zmanjša infiltracija vode, zraka in korenin v nižje ležečih plasteh tal in ovira privzem fosforja v poljščine (Campbell in sod., 2004, Burt in Slattey, 2005). V Veliki Britaniji naj bi zbita tla zmanjšala pridelek od 30 do 70 %, odvisno od lastnosti tal. Posledično je zaradi zbitih tal večja površina neporaščenih tal izpostavljena erozivnim silam (NSRI, 2001).

2.5.2.3 Morfologija prispevnih površin

Z naraščajočim naklonom in dolžino pobočja se večata hitrost in volumen površinskega odtoka, zato je pričakovati povečano erozijo, vendar na razmerje med izgubo tal in kotom naklona in dolžino pobočja vplivajo številni drugi dejavniki, kot so tip tal, poraščenost in lastnosti padavin. Medtem ko pljusk kapljic dežja na ravnini razprši delce na vse strani, se na pobočju več delcev razprši navzdol po pobočju in delež se povečuje s strmino (Morgan, 2005). Na daljših pobočjih se s povečano globino površinskega toka poveča zmogljivost premeščanja zemljin, vendar površinski tok sočasno ščiti tla pred udarci dežnih kapljic, kar zmanjša stopnjo sproščanja (Knighton, 1998). Z oblikovanjem mreže žlebičev se lahko premeščanje zemljin z daljšanjem pobočja poveča ali zmanjša, kadar se zaradi koncentrirane žlebične erozije zmanjša medžlebična. Večje dolžine pobočja z majhnim naklonom prav tako zmanjšajo stopnjo erozije, saj se prične proces odlaganja (Morgan, 2005). Pri določanju stopnje erozije je pomembna tudi oblika površja. Izguba tal je na primer na enakomernem pobočju večja kot na vbočenem (konkavnem) pobočju, vendar manjša kot na izbočenem (konveksnem) pobočju (Mikoš in Zupanc, 2010), ker površinski odtok na konkavnih območjih teži h koncentraciji (Komac in Zorn, 2007).

Morfologija prispevnih površin se je pogosto izkazala kot pomembnejši dejavnik pri dotoku snovi iz prispevnih površin kot velikost vodozbirnega območja. Z raziskavo o odlaganju suspendiranih snovi v akumulacijah so Avendanō Salas in sod. (1997) ugotovili, da je povprečen dotok suspendiranih snovi iz večjega vodozbirnega območja manjši kot iz manjšega vodozbirnega območja (dotok s 77.500 km² velikega območja je znašal v povprečju 195 t/km²/leto in dotok s 16.490 km² velikega območja 423 t/km²/leto). Da velikost vodozbirnega območja ni tako pomembna kot morfologija površja, sta pokazali tudi študiji McGlynn in sod. (2003) in McGuire in sod. (2005). Ugotovili so, da oblika in struktura površja izraziteje vplivata na srednji zadrževalni čas kot velikost prispevnega območja in s tem na biogeokemične procese ter količino nitratnega dušika v vodi. Prav tako so Lam in sod. (2011) s SWAT modelom na pretežno nižinskem vodozbirnem območju Kielstau ugotovili, da se zaradi majhnih naklonov, metode ohranitvene obdelave tal ne vplivajo na zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi in fosforja v vodno telo v tolikšni meri kot na dotok dušikovih spojin.

Komac in Zorn (2009) poročata, da zemeljski plazovi v Pomurju najpogosteje nastanejo pri naklonu 9°, večina (48,9 %) zemeljskih plazov nastane pri naklonu med 6° in 12°, tretjina (32,9 %) pri naklonu od 2° do 6°, pri naklonih med 12° in 21° pa nastane 16 % plazov. Nad

naklonom 21°, ki obsega 1,3 % površine območij v Prekmurju, nastane le dober odstotek plazov. Relativna visoka plazovna stopnja je na zahodnem Goričkem, kjer je plazovitih 1 % površin.

2.5.2.4 Pokritost tal z vegetacijo

Vegetacija ustvari zaščitni sloj med zrakom in tlemi. Nadzemni deli, listi in stebela, ščitijo tla pred udarci dežnih kapljic, tokom vode ali vetrom, medtem ko koreninski sistem prispeva k mehanski odpornosti tal. Šraj (2003) je z meritvami v gozdovih slovenske Istre pokazala, da gozdovi v povprečju prestrežejo do 60 % padavin, od tega jih okvirno polovica priteče do tal med padavinami ali takoj po njih. Več kot četrtnina povprečne letne količine prestreženih padavin izhlapi. Nadzemni deli rastlin in njihovi ostanki razpršijo in upočasnijo površinski odtok, kar vpliva na količino vode, ki se infiltrira v tla ter erozivno moč površinskega toka (Pintar in Zemljič, 1990). Vrsta kmetijske kulture, gostota rastlin in njihova medvrstna razdalja ter kolobar prav tako vplivajo na stopnjo zaščite tal. Mikoš in Zupanc (2000) navajata, da si glede na stopnjo zaščite sledijo različni rastlinski pokrovi: gozd > travniki > njive > kulture z ozko medvrstno razdaljo (pšenica, ogrščica) > kulture s široko medvrstno razdaljo (koruza, krompir, sladkorna pesa, sončnice, soja, vinska trta, sadno drevje). Tudi Jankauskas in sod. (2004) so izmerili, da je najvišja stopnja erozije izmerjena na površinah poraščenih s krompirjem (24,2 - 87,1 m³/ha/leto), katerim so sledile površine s spomladanskim ječmenom (9,0 - 27,1 m³/ha/leto) in zimsko ržjo (3,2 - 8,6 m³/ha/leto). Vrednosti so nihale glede na naklon. Podobne rezultate navaja študija iz Švice (Prashuhn, 2012), kjer so največjo izgubo tal opazovali na njivah s krompirjem (2,87 t/ha/leto), kar je predstavljalo 50 % izgube tal poleti. Sledilo je neobdelano zemljišče (1,06 t/ha/leto), prezimna pšenica (1,05 t/ha/leto), koruza (0,44 t/ha/leto), oljna repica (0,39 t/ha/leto) in sladkorna pesa (0,27 t/ha/leto). V Sloveniji sta Komac in Zorn (2007) po pregledu številnih študij ugotovila, da erozija najbolj ogroža njive in vinograde, kjer se letno izpere okvirno 20 t/ha zemljin. Sledijo sadovnjaki z 10 t/ha in travniki s 3 t/ha ter gozdnata območja, kjer je erozija desetkrat nižja kot na njivah in v vinogradih. Pomen erozije naj bi se na njivah zmanjšal, saj 54 % njiv v Sloveniji leži na površju z naklonom manjšim od 2°. Le 29 % njiv leži na območjih z naklonom večjim od 6°, kjer je erozija izrazitejša. Vpliv erozije je večji v gozdovih, saj se 85 % gozdov nahaja na območjih z naklonom, večjim od 6° in 66 % z naklonom, večjim od 12°. Podobno velja za travnike, saj se 62 % travnikov nahaja na območjih z naklonom večjim od 6°. Kako pomembna je pokritost tal z rastlinami sta z meritvami površinskega spiranja na treh različnih rabah tal pokazala Zorn in Mikoš (2010). Sproščanje in odplavljanje zemljin na naravnih tleh (gozd, travnik v zaraščanju) je precej manjše kot na tleh z intenzivno kmetijsko rabo (oljčnik). Čeprav je v oljčniku naklon manjši, je sproščanje in odplavljanje zemljin skoraj 22-krat večje kot v gozdu s štirikrat večjim naklonom. Tako je odplavljanje na golih tleh v oljčniku z naklonom 5,5° znašalo 90 t/ha, na travniku v zaraščanju z naklonom 9,4° 1,68 t/ha, v gozdu z naklonom 7,8° 3,91 t/ha in v gozdu z naklonom 21,4° 4,15 t/ha.

Osman in Barakbah (2008) sta ugotovila, da infiltracija tal narašča z gostoto dolžine korenin. Tako kot vrsta in gostota rastlin na stabilnost pobočja vpliva tudi lega vegetacijskega pasu (na vrhu, vznožju ali na sredini pobočja) in zgradba koreninskega sistema (Osman in Barakbah, 2008; Norris in sod., 2008). Stabilizacija pobočja se lahko poveča z raznoliko vegetacijo. Avtohtone vrste so najprimernejše, saj so prilagojene na lokalno okolje. Medtem ko trave stabilizirajo zgornjo plast tal, grmi in drevesa utrdijo globlje plasti tal. V kolikor je uporabljena samo ena vrsta enako starih rastlin, bo v prvih letih učinek slabši. Prav tako lahko nepravilno vzdrževanje privede do vrzeli med rastlinami v pasu. Norris in sod. (2008) predlagajo, da bi podrobnejše raziskave lahko pokazale optimalno razporeditev zasaditve dreves in grmovnic na erozivnih območjih. Drevesa se sicer večkrat uporabljajo za stabilizacijo pobočij in manj za zadrževanje talnih delcev. Hkrati pospešujejo infiltracijo vode v tla, imajo sposobnost privzema in denitrifikacije, ščitijo tla pred neposrednimi udarci in razpršijo enakomerno razporejen površinski odtok. Pri uporabi dreves je potrebno upoštevati rastno dobo, saj traja nekaj let, preden lahko popolnoma opravljajo svojo funkcijo. Tudi najhitreje rastoča drevesa in grmovnice (npr. vrba, topol, breza, leska idr.) potrebujejo nekaj let, celo desetletij do svoje končne rasti.

2.5.3 Premeščanje suspendiranih snovi po vodotoku

Delci tal s prispevnih površin se po mreži vodotokov začasno odlagajo in premeščajo do akumulacij. Material v vodotoku, ki se premešča z rečnim tokom, imenujemo *plavine*. Plavine se lahko premeščajo v lebdečem stanju (lebdeče plavine oziroma suspendirane snovi) ali z rinjenjem v obliki prodonosnosti (rinjene plavine). Vsebnost in premeščanje plavin vzdolž vodotoka vplivata na strukturo vodotoka, delte in obale ter s tem na habitat in nanj vezane organizme.

Rinjene plavine (angl. *bed material*) so sestavljene predvsem iz peska in proda ($> 0,062$ mm) ter erozijskega drobirja, ki se premešča po dnu struge vodotoka. Premeščanje rinjenih plavin je vezano na premestitvene zmogljivosti vodnega toka, velikost delcev in hrapavosti dna. Tok vode večje delce rine pred sabo tik nad dnom, manjše delce pa lahko začasno premešča kot suspendirane snovi. Čeprav rinjene plavine predstavljajo najmanjši delež celotne obremenitve s sedimentom (pogosto ocenjen na 10 %), znatno prispevajo k oblikovanju struge in mehaniki vodotoka (Knighton, 1998). Premeščanje plavin sicer zelo niha in koncentracije se močno povečajo v času poplav oziroma večjih pretokov. Okvirno se letno več kot polovica plavin premešča v 5 % časa vodnega vala (Allan, 2007; Kirkby, 2005). *Suspendirane snovi* v vodotokih so posledica spranih plavin (wash load) s prispevnih površin, erozije brežin in erozije dna struge vodotoka in organske snovi. Predstavljajo okvirno 70 % vseh snovi v vodotoku. Sestavljajo ga delci glin, melja ali drobnega peska ($< 0,062$ mm), ki z zelo majhnim tokom in turbulenco lebdiijo v raztopini ter se redko usedejo. Količina erodiranih talnih delcev je največkrat določena z dotokom iz prispevnih površin, zato koncentracija suspendiranih snovi pogosto naraste na začetku padavinskega dogodka in upada s padajočim hidrografom. Razlike se pojavijo v letnih časih in glede na obliko in

velikost prispevnih površin. Kadar so prispevne površine majhne, najvišja koncentracija suspendiranih snovi sledi konici pretoka, saj so viri suspendiranih snovi blizu. Pri večjih prispevnih površinah lahko koncentracija suspendiranih snovi zaostaja, kar je odvisno od lastnosti prispevnih površin in erodibilnosti brežin (Knighton, 1998).

Kessler in sod. (2012) so pokazali, da erozija brežin prispeva od 48 do 79 % suspendiranih snovi in 40 do 49 % celotnega fosforja (TP). Podobno so navedli tudi Narasimhan in sod. (2010), kjer so na območju akumulacije Cedar Creek (ZDA) z modeli SWAT in WASP izračunali, da erozija brežin prispeva 35 % vsega suspendiranih snovi. Hkrati so ugotovili, da njive prispevajo več kot 43 % suspendiranih snovi, 23 % skupnega dušika in 42 % celotnega fosforja, čeprav obsegajo le 6 % celotnega ozemlja. Na podlagi študije (Bull, 1997) na reki Severn (Velika Britanija) je razvidno, da delež suspendiranih snovi iz brežin časovno niha. V povprečju erozija brežin letno prispeva 17 % suspendiranih snovi, mesečno 38 % in v času padavinskih dogodkov 64 %. Tudi Simon in sod. (2009) so ugotovili, da je od skupne količine erodiranih plavin, okvirno 20 % suspendiranih snovi z delci glin in melja ($< 0,062$ mm). Sicer na erozijo brežin vplivajo številni dejavniki kot so (Knighton, 1998; Allan, 2007):

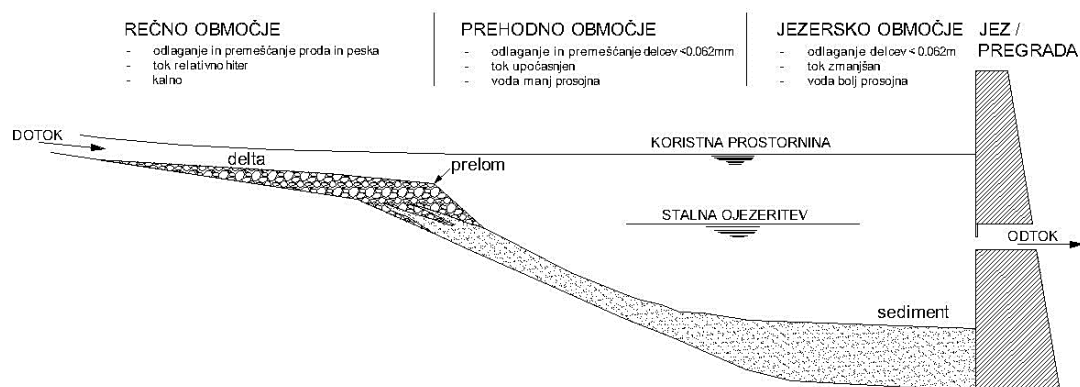
- lastnosti vodnega toka (količina, pogostost, hitrost in stopnja vrtinčenja);
- lastnosti tal na brežinah;
- podnebje (količina, trajanje in intenziteta padavin ter pogostost in trajanje zaledenosti);
- podpovršinski tok;
- geometrija struge vodotoka (širina, globina in naklon struge, višina in naklon brežine ter polmer rečnega zavoja);
- biologija (tip, gostota in koreninski sistem vegetacije, rovi in brlogi živali) in
- človeški dejavniki (urbanizacija, drenaža tal v vodozbirnem območju, gradnja akumulacij, plovnost, regulacija brežin).

Povprečna stopnja erozije brežin narašča z velikostjo vodozbirnega območja, ki vpliva na pretok, vendar se najvišje stopnje erozije pojavijo v osrednjem delu vodotoka, kjer se strmec zmanjša in je moč toka največja (Lawler in sod., 1999). Phillips in sod. (2007) dodajajo, da se pretok dolvodno lahko povečuje zaradi pritokov, vendar se moč toka ne povečuje zaradi zmanjšane naklona, globine, širine in hrapavosti struge. Slednje so potrdili Xia in sod. (2014), ki so z modeliranjem pokazali zmanjšano stopnjo erozije po izgradnji jezua na Rumeni reki (Huang He). Lawler in sod. (1999) so z meritvami na rečni mreži reke Ouse (Velika Britanija) pokazali, da se lahko 'sezona' erozije brežin dolvodno podaljšuje, kar je lahko posledica povečanih procesov mešanja in lastnosti tal na brežinah v spodnjem delu vodotokov. Pogosto je koncentracija suspendiranih snovi višja na predelih, kjer so brežine sestavljene iz velikega deleža peska in drobnega proda kot na meljasto-glinenih predelih, saj so tla z visoko vsebnostjo glin bolj kompaktna (Knighton (1998). Kronvang in sod. (2012) so ugotovili, da je erozija brežin na predelih, kjer obrežno vegetacijo sestavljajo trave, večja kot na predelih, kjer obrežno vegetacijo sestavljajo olesenele vrste. Da predstavlja erozija

brežin tudi enega izmed glavnih virov fosforja, so na vodozbirnem območju reke Barren Fork Creek (ZDA) ugotovili Miller in sod. (2014). Ob tem so bile vrednosti skupnega fosforja na območjih z obrežno vegetacijo nižje kot na odsekih z nezaščenimi brežinami.

2.5.4 Dotok in odlaganje suspendiranih snovi v akumulacijah

Vodotok na kateri je bila akumulacija zgrajena, je ključna vez med akumulacijo in prispevnimi površinami. Suspendirane snovi, ki se premeščajo z vodotokom, se zaradi zmanjšane hitrosti toka v akumulaciji prično odlagati. Najprej se v izlivnem delu reke odložijo večji delci in oblikujejo delto, nato se v prehodnem in jezerskem delu akumulacije odložijo manjši delci (slika 2). Odlaganje suspendiranih snovi v akumulaciji je kompleksen proces, saj nanj vplivajo številni dejavniki, kot so naravna nihanja vode, dotok suspendiranih snovi, velikosti delcev, obratovalni režim in upravljanje akumulacij, globine odtoka, fizikalnih in kemijskih lastnosti vode v akumulacij in pritoku ter velikosti in oblike akumulacije (Salas in Shin, 1999). Številni avtorji (Batten in Hindall, 1980; Thornton in sod., 1990; Annandale, 2005; Morris in Fan, 2010) navajajo, da se največ suspendiranih snovi odloži v prvih letih po izgradnji akumulacije. Kasneje se stopnja odlaganja zaradi zmanjšane prostornine akumulacije zmanjšuje, ker se skrajša zadrževalni čas vode. Največ plavin se odloži v zgornjem, rečnem delu akumulacije, v smeri proti jezu velikost delcev upada. Kot sta ugotovila tudi Petkovšek in Roca (2014), se območje delte z leti približuje območju jezu. Na vzorce odlaganja in količino prestreženih suspendiranih snovi vplivata obratovalni režim in položaj odtočne odprtine na jezu. V kolikor je nameščena pri dnu, bo voda s sedimentom odtekala bolj neposredno, kot če je odprtina nameščena višje (Verstraeten in Poesen, 2000). Pogosto spregledan dejavnik, ki močno vpliva na količino vnesenih suspendiranih snovi v akumulaciji, je tudi vegetacija na območju delte, saj ta deluje kot past za sedimente in hranila (Sollie in sod., 2008).



Slika 2: Vzдолžni prerez akumulacije z rečnim, prehodnim in jezerskim območjem (prirejeno po Thornton, 1990)

Figure 2: Longitudinal cut of reservoir with river, intermediate and lake zone (based on Thornton, 1990)

Glede na številne dejavnike, ki vplivajo na proces odlaganja suspendiranih snovi so se v zgodovini razvile empirični modeli s katerimi bi lahko predvideli zmogljivost prestrežanja

(TE) suspendiranih snovi. Prvo krivuljo, ki povezuje TE z razmerjem med prostornino akumulacije in velikostjo vodozbirnega območja (C/W) je razvil Brown (1943). Churchill (1948) je kasneje predlagal razmerje med količino suspendiranih snovi, ki se premešča skozi akumulacija in indeksom sedimentacije (SI), ki so se zelo razlikovala glede na velikost in namen akumulacije. Churchillova krivulja naj bi bila primernejša za manjše akumulacije, ki so namenjeni zaščiti pred poplavami, polsuhimi ali suhimi akumulacijami, medtem, ko se je Brownova krivulja izkazala kot primerno pri zbiralnikih. Med najpogosteje uporabljenimi je danes Brunova krivulja (Brune, 1953), ki temelji na razmerju med prostornino akumulacije in pritokom vode (C/I). Brunovo krivuljo lahko zapišemo s pomočjo enačb 1 in 2:

$$TE = 1 - \frac{0,5}{\sqrt{\Delta\tau_r}} \quad \dots (1)$$

Kjer je TE zmogljivost prestrezanja zapisana v % in ΔT_r sprememba zadrževalnega časa vode v letih, izračunana kot:

$$\Delta\tau_r = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} C_i}{I} \quad \dots (2)$$

Pri tem je C koristna prostornina akumulacije (m^3) in I dotok suspendiranih snovi v akumulacijo ($m^3/leto$).

Za preučevanje dolgoročnih učinkov pri srednje velikih akumulacijah je uporaba Brunove krivulje zadovoljiva, vendar je potrebno upoštevati, da se prestrezna zmogljivost s časom zmanjšuje, zlasti če upoštevamo da je v plitkih akumulacijah (globina < 5 m) voda večinoma premešana, kar trajno dviguje in premešča sediment iz dna (Wetzel, 2001). Verstraeten in Poesen (2000) sta pri oceni metod za določanje TE zaključila, da je pri manjših akumulacijah potrebno upoštevati dinamiko številnih neodvisnih parametrov (C/I , C/W in SI), saj so akumulacije in njihova vodozbirna območja zelo različni. Prav tako omenjene metode ne upoštevajo enkratnih padavinskih dogodkov, ki lahko precej spremenijo dolgoročno zmogljivost prestrezanja. Zato je uporaba teoretičnih modelov za načrtovanje učinkovitosti prestrezanja veliko boljša, zlasti v kolikor želimo ugotavljati kratko- do srednjeročne učinke prestrezanja in razpolagamo z zadostno količino podatkov.

2.5.5 Modeliranje procesov premeščanja v vodozbirnih območjih

Na procese sproščanja, premeščanja in odlaganja v vodozbirnem območju vplivajo mnogi dejavniki, zlasti voda kot gonilna sila, geomorfologija, poraščenost in lastnosti tal. Za razumevanje teh procesov in preučevanje vplivov podnebnih sprememb, rabe tal in ukrepov za obnovo in varstvo vodnih teles je potrebno veliko število meritev skozi daljše obdobje, kar je običajno časovno in logistično zahtevno in predstavlja velik finančni zalogaj (Bouraoui in Grizetti, 2014). Z razvojem informacijske tehnologije se je razvilo modeliranje

(računalniška simulacija) procesov v okolju in naravi, s čimer so analize postale krajše in predvsem cenovno dostopnejše.

S pomočjo numeričnih modelov se je postavil okvir za preverjanje teorij in hipotez o hidroloških procesih, njihovih medsebojnih vplivih in vplivih različnih dejavnikov na te kompleksne procese (Arnold in sod., 1998). Z uvedbo geografskega informacijskega sistema (GIS) in vizualizacijo rezultatov modeliranja so postali rezultati veliko bolj razumljivi za širšo javnost, zlasti za ključne deležnike (DiLuzio in sod., 2004). Kljub nenehnemu izpopolnjevanju se je potrebno zavedati, da pri rezultatih modeliranja prihaja do določenih odstopanj ali negotovosti, saj so modeli le matematične abstrakcije realnega sistema. Odstopanja so neizogiben element povezan z izbiro napačnega modela, nepopolno strukturo modela, napačnimi parametri in/ali napakami v meritvah uporabljenimi za umerjanje modela, napakami v programski kodi in jih je potrebno upoštevati pri končni interpretaciji in odločitvah. Nedvomno je za natančnost rezultatov pomembno razumevanje procesov, kakovostni vhodni podatki in monitoring (Krysanova in Arnold, 2008).

Modele razvrščamo na mnoge načine. S stališča hidroloških procesov poznamo: (i) zvezne oziroma v času neprekinjene (npr. ANSWERS-Continuous, HSPF, SWAT idr.) za analizo dolgoročnih vplivov ukrepov in ravnanja v povodjih, (ii) enkratne modele (AGNPS, ANSWERS idr.) za analizo enkratnih padavinskih dogodkov ter (iii) hibridne modele, ki imajo zmožnost izvajati zvezne in enkratne simulacije hkrati (npr. CASD2, MIKE-SHE idr.) (Borah in Bera, 2003).

Zaradi kompleksne prostorske in časovne dinamike premeščanja suspendiranih snovi se je procesno utemeljeno in konceptualno modeliranje pojavilo veliko kasneje kot empirični modeli. Modele, s katerimi je mogoče predvideti erozijske procese in premeščanje suspendiranih snovi na nivoju vodozbirnega območja so De Vente in Poesen (2005) razdelili na (i) empirične (npr.: RUSLE), (ii) konceptualne (npr.: AGNPS, SWAT, WaTEM/SEDEM, HSPF) in (iii) procesno utemeljene (npr.: EUROSEM, WEPP, MIKE-11). Razvoj modelov se mora nadaljevati. Namreč modeli, ki upoštevajo večino procesov erozije in premeščanja, zahtevajo obsežno število podatkov, kar lahko predstavlja težave pri izbiri pravih parametrov za določeno vodozbirno območje. Ob tem Bouraoui in Grizzetti (2014) opozarjata, da velika večina modelov še vedno ne upošteva erozije brežin in usadov, čeprav le-ti znatno prispevajo k dotoku suspendiranih snovi v zadrževalnik.

2.5.5.1 Uporaba modelov v Sloveniji

Čeprav je modeliranje napovedi na nivoju porečij oziroma vodozbirnih območij za boljše upravljanje z vodami po svetu zelo razširjeno, je v Sloveniji uporaba dokaj redka. Med prvimi so se pojavili modeli (MODFLOW, PELMO), s katerimi so avtorji modelirali količine in kakovosti podzemne vode (Vižintin, 1999; Nartnik, 2003; Petan, 2005; Peršolja, 2008). Z modelom SWAP je Zupanc (2003) modelirala vodno bilanco profila tal za potrebe namakanja kmetijskih površin v Vipavski dolini. Primožič in sod. (2008) so z modelom HBV modelirali pretok reke Save za potrebe napovedovanja poplav. Z metodo rudarjenja po

podatkih (algoritem M5) je Rusjan (2008) raziskoval spiranje nitratnega dušika iz gozdnatega zaledja na odseku potoka Padež (Brkini). Z obširno nalogo, ki je zajela porečje reke Reke in reke Dragonje v zahodnem delu Slovenije, je Glavan (2011) modeliral dolgoročne učinke spremembe rabe kmetijskega prostora, podnebnih sprememb in kmetijsko okoljskih ukrepov na vodnatost in kakovostno stanje površinskih voda s pomočjo modela SWAT. Literature o meritvah in modeliranju erozije tal v Sloveniji, kljub temu da erozija na kmetijskih zemljiščih ni zanemarljiva, tudi ni veliko. Meritve in modeliranje na podlagi empiričnih enačb (USLE) so izvajali v dolini Dragonje in Mirnski dolini (Komac in Zorn, 2005; Hrvatini in sod., 2006). S pomočjo modela GLEAMS je Turk (1995) spremljala spiranje atrazina in kasneje Gale (1999) spiranje nitrata v podtalnico. Nato so Zupanc in sod. (2000) z modelom GLEAMS 2.1 v Latkovi vasi v Savinjski dolini modelirali erozijo tal na hmeljišču. Največ raziskav je bilo opravljenih na območju Dragonje, kjer so modelirali erozijo v vinogradih in na njivah po prirejeni Gavrilovičevi metodi in na podlagi modela RUSLE (Globevnik, 2001; Petkovšek, 2002; Staut, 2004). Vpliv padavin na erozivnost tal je na tem območju, s pomočjo modela RUSLE, raziskoval Petan (2010), ki je nato ob pomoči orodij za prostorsko interpolacijo, izdelal preliminarno karto prostorske porazdelitve erozivnosti padavin v Sloveniji.

Razpršene vire obremenitev po hidrografskih območjih za celotno Slovenijo je Frantar (2012) preučeval z modelom SIVOP (slovenski model preučevanja virov obremenjevanja porečij), ki ima za osnovo metodo DPSIR (**d**riving forces - gonilne sile, **p**ressure - pritiski, **s**tate - stanje, **i**mpact- vplivi, **r**esponse - odgovori). Za točkovne in linijske vire obremenitve, ki jih v model ni mogel vključiti, je izdelal le pregled. V študiji Mazej-Grudnik in sod., (2013) so za izračun obremenjevanja okolja z dušikom na vodozbirnih območjih Ledavskega, Perniškega in Gajševskega jezera uporabili metodologijo bilance dušika OECD (EUROSTAT-Gross Nitrogen Balance), ki temelji na izračunu razlike med vnosom dušika s kmetijstvom ter količino dušika, ki ga s pridelki odnesemo s kmetijskih površin. Pri tej metodi ključni vir predstavljajo površine kmetijskih zemljišč. Za obremenitve iz neurejenih odlagališč odpadkov, emisij komunalnih odpadnih vod in pritiske ribištva so uporabili bilančne izračune glede na pridobljene statistične podatke in časovne trende.

2.5.5.2 Izbira modela

Izbira modela je vedno odvisna od namena in cilja modeliranja. Numerični modeli za modeliranje procesov premeščanja snovi na nivoju povodij, ki smo jih opisali zgoraj, se uporabljajo tudi pri oceni učinkovitosti ukrepov za omilitev negativnih vplivov razpršenega onesnaževanja. Med primerjavo številnih obstoječih modelov sta Krysanova in White (2015) zaključila, da je SWAT obetajoč model za zvezno simulacijo ukrepov v vodozbirnih območjih s prevladujočo kmetijsko rabo. Grizetti in sod. (2005) so poročali, da sta SWAT in statistični model SPARROW podala podobne rezultate za količino nitrata v vodozbirnem območju reke Great Ouse (VB), vendar menijo, da je SPARROW boljši za napovedovanje trendov, medtem ko je SWAT boljši pri modeliranju scenarijev. Xie in sod. (2015) so

ugotovili, da modeli SWAT, AGNPS in AnnAGNPS uporabljajo enake algoritme, vendar SWAT omogoča še simulacijo strug, jarkov in kanalov, ker uporablja algoritme za erodibilnost v strugi (CH_EROD), pokritost struge z vegetacijo (CH_COV) kot geometrične parametre (tj. globina, širina in naklon struge). Saleh in Du (2004) sta ugotovila, da so vrednosti povprečnega dnevnega toka, količine suspendiranih snovi in hranil, simulirane s SWAT modelom, veliko bližje merjenim vrednostim v dobi kalibracije in validacije, kot z modelom HSPF. Podobne rezultate so objavili tudi Singh in sod. (2005). Xie in sod. (2015) ugotavljajo, da ima model HSPF sicer integriran modul za oceno ukrepov (BMPRAC), vendar ta temelji na oceni učinkovitosti raziskav, izvedenih pod različnimi pogoji. Drug modul integriran v HSPF (SPEC-ACTIONS) je uporaben le za ugotavljanje sprememb različnih načinov obdelave tal. Navsezadnje je smiselno izbrati model, ki se pogosto uporablja, ker je takšen model večkrat preverjen in se vedno znova izpopolnjuje in nadgrajuje.

2.5.6 Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT) je bil razvit pred 25. leti v pomoč pri upravljanju porečij za izboljšanje in ohranjanje kakovosti voda. Temelji na podlagi 30 - letnih izkušenj v razvoju modelov Kmetijske raziskovalne agencije (ARS) Ministrstva za kmetijstvo ZDA (USDA). Je neposreden rezultat predhodnega modela SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins) (Arnold in Williams, 1987), katerega razvoj se je pričel s prilagoditvami in vključevanjem modelov CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems), GLEAMS (Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems) in EPIC (Erosion Productivity Impcat Calculator). Z modelom ROTO (Routing Outputs to Outlets) so dopolnili SWRRB, ki je bil prej omejen na 10 podpovodij in je modeliral odtok vode iz porečja neposredno iz odtokov podpovodij. V prvih verzijah modela SWAT so vključili še model QUAL2E (Enhanced Stream Water Quality Model) za modeliranje hranil v vodi vodotokov. Model se na podlagi novih spoznanj in zahtev vedno znova izpopolnjuje in prilagaja. Zaradi zagotavljanja izboljšane simulacije določenih procesov in prilagajanja lokalnim razmeram so nastale verzije kot so SWAT-G za izboljšanje napovedovanja izgube tal, ESWAT (extended SWAT) in SWIM (Soil and Water Integrated Model), ki temelji na hidroloških elementih SWAT in vključuje dinamiko podtalnice.

S podporo tehnologije GIS je bil omogočen vnos prostorskih podatkov (topografija, raba zemljišč in lastnosti tal) v SWAT. Razviti so bili številni programski vmesniki, ki so podpirali avtomatski vnos podatkov v SWAT z uporabo orodja ArcView. Tako je v letu 2008 izšla prva verzija ArcSWAT, ki je bila z vmesnikom združljiva z verzijo ArcGIS 9.1. Zadnja izdana verzija ArcSWAT 2012 je združljiva z ArcGIS 10.0 in je povezana z bazo podatkov tal in podnebja ZDA. Z nadgradnjo so se pojavile nove možnosti v simuliranju podpovršinskih procesov, novih gradbenih ukrepov v urbanih območjih in številne druge.

2.5.6.1 Delovanje SWAT

Model SWAT je procesno utemeljen, delno porazdeljen, časovno neprekinjen hidrološki model, ki deluje na nivoju porečij (Arnold in sod., 1998). Glavni sestavni deli modela zajemajo podatke o podnebjju, hidrologiji, naklonih zemljišč, pedologiji, rasti rastlin, vnosu hranil in sredstev za varstvo rastlin, mikroorganizmih, obdelavi tal in upravljanju s prostorom. Model lahko deluje na urni, dnevni, mesečni ali letni ravni in simulira pretok vodotokov, površinski, lateralni, podpovršinski odtok, tok podzemne vode, namakanje ter druge procese v porečju (erozija, rast rastlin, dinamiko hranil in sredstev za varstvo rastlin, tehnologije pridelovanja v kmetijstvu, upravljanje urbanega prostora). Glede na problem, ki ga obravnavamo, se SWAT lahko povezuje s številnimi drugimi modeli, kot so MODFLOW za analizo podtalnice, WEPP za analizo erozijskih procesov, REMM za analizo obrežnih pasov, genetičnimi algoritmi za optimizacijo ukrepov na kmetijskih zemljiščih, APEX za ekonomsko-okoljsko analizo idr. (Gassman in sod., 2007; Neitsch in sod., 2011).

Ne glede na problem, ki ga preučujemo s SWAT modelom, je vodna bilanca najpomembnejši dejavnik procesov v porečju. Za natančno simulacijo premeščanja pesticidov, suspendiranih snovi ali hranil, mora simuliran vodni krog ustrezati procesom v porečju. Simulacija hidrologije povodja se lahko deli na dve glavni področji. Prvo področje je kopenska faza vodnega kroga, ki nadzoruje količino vode in suspendiranih snovi ter koncentracijo hranil in pesticidov na odseku vodotoka vsakega podpovodja. Drugo področje je faza vodnega kroga, ki je lahko definirana kot gibanje vode, suspendiranih snovi in onesnaževal po mreži vodotokov povodja do odtoka iz povodja (Neitsch in sod., 2011). Določanje dotoka suspendiranih snovi v akumulacije je še vedno velik izziv, zlasti kadar vodozbirno območje ne vsebuje dovolj merilnih mest za umerjanje. Za modeliranje procesov in ukrepov za zmanjševanje dotoka suspendiranih snovi bi bilo potrebno procese deliti na procese v vodozbornem območju in procese v vodotoku (Narasimhan in sod., 2007).

2.5.6.2 Uporaba SWAT

Model SWAT je namenjen napovedovanju dolgoročnih vplivov upravljanja na vode, tla in dotok hranil ter drugih onesnaževal v vodna telesa in tudi napovedovanju vpliva podnebnih sprememb na okolje. V zadnjem desetletju se je njegova uporaba razširila po vsem svetu, saj so zahteve politike, zlasti v ZDA in Evropi, pri ocenjevanju vplivov podnebnih sprememb in človeških aktivnosti na okolje, vse večje. Prvi večji projekti so se odvijali v ZDA, v okviru Ministrstva za kmetijstvo (USDA) in Agencije za geološke raziskave ZDA (United States Geological Survey, USGS), s katerimi so najprej želeli ugotoviti vpliv izgube onesnaževal in vode v kmetijstvu in gospodinjstvih ter smeri razvoja v obdelavi tal in kmetijstvu (Gassman in sod., 2007). V okviru Projekta za ocenjevanje vpliva varstvenih ukrepov so pričeli s pomočjo SWAT ocenjevati izboljšanje kakovosti voda z uvedbo varstvenih ukrepov (Mausbach in Dedrick, 2004). Z uvedbo največje dovoljene dnevne vrednosti (Total Maximum Daily Load, TMDL) v prekomerno obremenjenih vodnih telesih širom ZDA, se večina raziskav s SWAT osredotoča na določanje virov onesnaženja in možnih rešitev za

izboljšanje stanja. V Evropi so s pomočjo SWAT na petih različnih vodozbirnih območjih modelirali vplive podnebnih sprememb v okviru projekta CHES (Climate Hydrochemistry and Economics of Surface-water Systems) (Boorman, 2003). Kasneje so SWAT in osem drugih modelov uporabili za oceno vnosa fosforja in dušika v celinske in obalne vode iz razpršenih virov (Kronvang in sod., 2009). SWAT se v Evropi razširjeno uporablja tudi za modeliranje v okviru Vodne direktive (van Griensven in sod., 2006; Volk in sod., 2007; Panagopoulos in sod., 2011).

Dejavnike, ki vplivajo na erozijske procese sta po številnih meritvah in poskusih Wischmeier in Smith (1978) prepoznala kot bistvene pri napovedovanju erozije tal in oblikovala empiričen model USLE (Univerzalna enačba za napovedovanje izgube tal - angl. Universal Soil Loss Equation). Povprečna letna izguba tal (E) na enoto površine (kg/ha/leto) je torej produkt erozivnosti padavin (R), erodibilnosti tal (K), topografije (SL – naklon in dolžina pobočja), pokrovnosti in obdelave tal (C) ter ukrepov na kmetijskih zemljiščih (P , enačba 3):

$$E = R \times K \times SL \times C \times P \quad \dots (3)$$

Model SWAT uporablja prilagojeno enačbo izgube tal (angl. Modified Universal Soil Loss Equation - MUSLE). Medtem ko osnovna enačba izgube tal (USLE) predvideva skupno letno erozijo kot funkcijo energije padavin, je v enačbi MUSLE energija padavin zamenjana z dejavnikom površinskega odtoka. To izboljša napoved dotoka suspendiranih snovi, izloči potrebo po določanju stopnje dotoka in dopušča enačbi, da se uporablja za posamezne padavinske dogodke (Neitsch in sod., 2009). Prilagojeno enačbo izgube tal zapišemo kot (enačba 4):

$$sed = 11,8(Q_{surf} \times q_{peak} \times area_{hru})^{0,56} K_{USLE} \times C_{USLE} \times P_{USLE} \times LS_{USLE} \times CFRG \quad \dots (4)$$

kjer je sed dotok suspendiranih snovi v določenem dnevu (ton), Q_{surf} je volumen površinskega odtoka (mmH₂O/ha), q_{peak} je najvišja vrednost odtoka (m³/s), $area_{hru}$ je površina hidrološke odzivne enote (ha), K_{USLE} je dejavnik erodibilnosti tal ((0,013 t m² hr) / (m³-ton cm)), C_{USLE} je USLE dejavnik pokrovnosti in obdelave tal, P_{USLE} je USLE dejavnik podporne prakse, LS_{USLE} je dejavnik topografije in $CFRG$ je dejavnik grobih delcev. Na podlagi enačbe 4 lahko model simulira dotok suspendiranih snovi tudi za enkratne padavinske dogodke. Prav tako se lahko dejavnik C_{USLE} spreminja vsakič, ko se pojavi površinski odtok. Tako model upošteva prostorsko in časovno spremenljivost dotoka suspendiranih snovi v vodno telo. Hkrati lahko s prilagajanjem teh dejavnikov ponazorimo umestitev ali izvedbo ukrepov v obravnavanem območju (Xie in sod., 2015).

2.5.6.3 Uspešnost delovanja SWAT

Za vrednotenje napovedi, ki jih je izračuna SWAT, obstaja obsežen seznam statističnih metod, ki jih lahko uporabimo. Coffey in sod. (2004) so opisali 20 mogočih statističnih

kriterijev, ki jih lahko uporabimo, med drugim tudi te, ki so jih za uspešnost delovanja SWAT predlagali Moriasi in sod. (2007): koeficient determinacije (R^2), Pearsonov korelacijski koeficient (r), Nash-Sutcliffe učinkovitost simulacije (E_{NS}), koren povprečne kvadratne napake (angl. root mean square error oz. $RMSE$) in odstotek pristranskosti (angl. percent bias oz. $PBIAS$).

Pearsonov koeficient (r) in koeficient determinacije (R^2) opišeta stopnjo kolinearnosti med simuliranimi in merjenimi podatki. Korelacijski koeficient sega med -1 do 1. Če je vrednost $r = 0$, potem spremenljivki nista linearno povezani; kadar je vrednost $r = 1$ ali -1, obstaja popolno pozitivno ali negativno linearno razmerje. Podobno je za R^2 , ki opiše delež variance v merjenih podatkih, ki jo lahko model pojasni. Vrednosti R^2 se gibajo med 0 in 1, kjer višje vrednosti pomenijo manjšo napako variance, zato vrednosti, večje od 0,5, razumemo kot sprejemljive (Van Liew in sod., 2003). Koeficient determinacije, kjer X predstavlja vrednost meritev in Y vrednost simulacije, se izračuna (enačba 5):

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{povp.})(Y_i - Y_{povp.})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{povp.})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_{povp.})^2}} \right)^2 \quad \dots (5)$$

Nash-Sutcliffe indeks učinkovitosti simulacije (E_{NS}) določa relativen obseg ostanka variance v primerjavi z merjeno varianco podatkov. Navaja, kako dobro se polje merjenih proti simuliranim podatkom prilega premici 1:1. Vrednosti se gibljejo med $-\infty$ in 1, pri tem je 1 optimalna, vrednosti med 0 in 1 so na splošno sprejemljive. Kadar so vrednosti ≤ 0 , to pomeni, da merjena srednja vrednost napove boljše kot simulirana vrednost (Arnold in sod., 2012). Indeks (Y_i^{obs} je i -ta meritev parametra, ki ga ocenjujemo, Y_i^{sim} je simulirana vrednost parametra, Y^{mean} je aritmetična sredina merjenega parametra, n je število meritev) zapišemo z enačbo 6:

$$E_{NS} = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{mean})^2} \right] \quad \dots (6)$$

Odstotek pristranskosti ($PBIAS$) meri povprečno težnjo modela k napovedovanju višjih oz. nižjih vrednosti glede na izmerjene vrednosti opazovane spremenljivke. Negativne vrednosti nakazujejo precenjevanje parametra, pozitivne na podcenjevanje, optimalna vrednost je 0. Moriasi in sod. (2007) so ugotovili, da je model sprejemljiv pri naslednjih vrednostih: $PBIAS \pm 25 \%$ za pretok, $PBIAS \pm 50 \%$ za sediment in $PBIAS \pm 70 \%$ za dušik in fosfor. Odstotek pristranskosti izračunamo s pomočjo enačbe 7:

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) \times (100)}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] \quad \dots (7)$$

Koren povprečne kvadratne napake ($RMSE$) se uporablja za merjenje razlike med pretokom, simuliranim z modelom in merjenim pretokom. Vrednosti se gibljejo med 0 in ∞ . Načeloma so nižje vrednosti napake $RMSE$ znak boljšega ujemanja rezultatov modela z meritvami. Singh in sod. (2005) so predlagali uvedbo RSR koeficienta (angl. $RMSE - observations$

standard deviation ratio; razmerje med RMSE in standardnim odklonom), ki predstavlja normalizirano RMSE napako. Izračunamo ga tako, da vrednost RMSE napake delimo s standardnim odklonom. V kolikor so vrednosti RSR in RMSE nizke, lahko sklepamo na dobro simulacijo modela (Moriassi in sod., 2007). Enačba (8) je podana v naslednji obliki, kjer RMSE vrednost napake delimo s standardnim odklonom, ki podaja ceno povprečnega odstopanja od povprečne vrednosti merjene spremenljivke ($STDEV_{obs}$):

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2}} \quad \dots (8)$$

Postopek umerjanja, znotraj priporočenih razponov vrednosti parametrov, usklajujemo toliko časa, dokler med merjenimi in simuliranimi vrednostmi ni pomembne, statistično značilne razlike oziroma zadovoljivega ujemanja (Krause in sod., 2005).

2.6 UKREPI ZA ZMANJŠANJE DOTOKA SUSPENDIRANIH SNOVI V AKUMULACIJSKA JEZERA

2.6.1 Preventivni in korektivni ukrepi

Ne glede na stanje akumulacij in posledice njihove izgradnje na rečni ekosistem je potrebno upoštevati dejstvo, da so bile zgrajene z določenim namenom in da so pomembne za ljudi (World Commission on Dams, 2000), zato je potrebno poiskati ukrepe, s katerimi se lahko zagotovi dolgoročno izboljšanje stanja akumulacij. Številni avtorji (Thornton in sod., 1999; Wetzel, 2001; Cooke in sod., 2005; Jørgesen in sod., 2005) dodajajo, da je najbolj učinkovito, dolgoročno naravnano in cenovno sprejemljivo preprečiti vzrok slabega stanja kot pričeti s popravljanjem simptomov. Na podlagi tega lahko ukrepe razdelimo v dva sklopa:

1. ukrepi za zmanjšanje obremenitev iz točkovnih in netočkovnih virov (*preventivni ukrepi*) in
2. ukrepi v vodnem telesu, ki zmanjšajo preostanek obremenitev in ohranjajo ravnotežje vodnega ekosistema (*korektivni ukrepi*).

S preventivnimi ukrepi zmanjšamo ali preprečimo nadaljnji dotok suspendiranih snovi in nanj vezanih onesnaževal v akumulacijah. Ukrepi temeljijo na: (dopolnjeno po Campbell in sod., 2004, Morgan, 2005; Morris in Fan, 2010):

1. preprečevanju in/ali zmanjšanju *sproščanja* talnih delcev zaradi trka dežnih kapljic s tlemi;
2. preprečevanju in/ali zmanjšanju *premeščanja* suspendiranih snovi ter nanj vezanih onesnaževal in hranil v vodozbirnem območju ali vodotokih;
3. *zadrževanju* erodiranih suspendiranih snovi pred dotokom v vodno telo.

Korektivni ukrepi v akumulacijah, kot so odstranjevanje suspendiranih snovi, predstavljajo velik problem, saj je potrebno sediment ki vsebuje onesnažila, odložiti na primerna odlagališča odpadkov. Namreč Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih (2006, 2011), ki predstavlja prenos Direktive Sveta 2008/98/EC v slovenski pravni red, od julija 2009 prepoveduje odlaganje nepredelanih bioloških muljev na odlagališča nenevarnih odpadkov. Ob tem nastajajo tudi veliki stroški. Morris in Fan (2010) sta zbrala podatke o odstranjevanju suspendiranih snovi v letu 1993 iz akumulacij Debris Basins v okrožju Los Angeles (ZDA), kjer je cena znašala med 5,2 USD/m³ in 49,2 USD/m³ brez dovoljenj, inženiringa in prevoza, ki so dodatno nanese 0,87 USD/m³. Nepravilno odstranjevanje sedimenta ima lahko tudi številne negativne posledice na ekosistem (povečana kalnost, odstranjevanje bentoških nevretenčarjev ali sproščanje škodljivih snovi iz globljih plasti sedimenta), zato je potrebno izkop sedimenta skrbno načrtovati. V kolikor se vnos suspendiranih snovi iz prispevnih površin in vodotoka ne zmanjša, je odstranjevanje sedimenta potrebno izvajati veliko bolj pogosto. Čeprav je odstranjevanje sedimenta preko globokega izpusta cenovno ugodneje, je to vezano na letni čas in predstavlja velike negativne posledice na vodotok dovodno od jezua, saj lahko koncentracije suspendiranih snovi celo presegajo 1000 mg/l. Ukrepi, kot so usmerjanje suspendiranih snovi v območja večjih globin med obdobjem visokih voda ali preprečevanje odlaganja z upravljanjem hidravlike in izgradnjo obhodnih kanalov, sicer štejejo med naravi bolj prijazne, vendar omejujejo primarni namen akumulacij, zlasti protipoplavnih, saj mora biti za učinkovitost zagotovljen visok pretok v obdobju visokih voda. Hkrati so ti ukrepi v akumulacijah učinkoviti le, v kolikor se prično izvajati takoj po izgradnji jezua (Morris in Fan, 2010).

Kot že omenjeno v poglavju 2.4.1 (Točkovni in netočkovni viri) se onesnaževala v vode premeščajo iz urbanih in/ali iz kmetijskih površin. Campbell in sod. (2004) so na podlagi te delitve ukrepe razdelili na:

- ukrepe za urbane površine in
- ukrepe za kmetijske površine.

V nadaljevanju lahko izbiro ukrepov delimo še glede na:

- problem v vodnem telesu (npr.: sredstva za varstvo rastlin, hranila, težke kovine, suspendirane snovi, patogeni organizmi idr.)
- vrsto vodnega telesa (vodna telesa površinskih ali podzemnih voda).

Podrobna analiza problema in poznavanje učinkovitosti posameznih ukrepov lahko vodi k izbiri določene kombinacije ukrepov v vodozbirnem območju in v vodnem telesu. Odziv vodnega telesa na zmanjšanje obremenitev je namreč odvisen od lastnosti vodozbirnega območja in vodnega telesa. Uporaba kombiniranih ukrepov je nenazadnje v največji meri odvisna od obsega problema ter finančnih in časovnih okvirjev, ki so na razpolago za dosego cilja (Jørgesen in sod., 2005).

V nadaljevanju se bomo osredotočili na preventivne ukrepe s katerimi zmanjšamo erozijske procese in dotok suspendiranih snovi v vodna telesa, saj je najbolj izrazit problem

akumulacij dotok suspendiranih snovi, ki povzroča izgubo koristne prostornine, kopičenje onesnaževal vezanih na plavine in hidromorfološke spremembe ter z njo povezane biokemične procese.

2.6.2 Ukrepi in instrumenti politike

Prizadevanje za zmanjšanje vnosa suspendiranih snovi in hranil iz netočkovnih virov v vodna telesa je nenehen izziv, saj je potrebno iskati kompromise med okoljskimi in ekonomskimi cilji, zlasti na območjih, kjer prevladuje intenzivna kmetijska raba. Zato enega izmed večjih izzivov že desetletja predstavlja upravljanje porečij in prispevnih območij na način, ki bi zagotavljal donosno kmetijstvo ter hkrati dobro ekološko stanje površinskih voda, čiste vodne vire in povečano biodiverziteto (Smith and Porter, 2010).

V Evropski uniji le dva pravna dokumenta navajata ukrepe za zmanjšanje erozije tal: Program razvoja podeželja v okviru Skupne kmetijske politike (SKP, v angl.: Common Agricultural Policy (CAP)) in Poplavna direktiva (Direktiva 2007/60/ES). Ob tem slednja ne navaja ukrepov za zmanjšanje erozije, temveč spodbuja zaščito tal in vzdrževanje trajnih pašnikov za izboljšanje zmožnosti zemlje za zadrževanje vode in spodbuja ukrepe, ki se izvajajo v okviru kmetijske politike za varovanje tal pred erozijo. Direktiva o obnovljivih virih energije (Direktiva 2009/28/ES) in Direktiva o ravnanju z odpadki iz rudarskih dejavnosti (Direktiva 2006/21/ES) vključujeta le ukrepe, ki zagotavljajo zmanjšanje erozije zaradi varnosti postavljenih objektov (Glæsner in sod., 2014).

2.6.2.1 Skupna kmetijska-okoljska politika

Skupna kmetijska politika (SKP) Evropske unije (EU) si je za cilj zadala okrepiti konkurenčnost in trajnost kmetijstva ter podeželskih območij po vsej EU. Zajema gospodarske, okoljske in ozemelske izzive, s katerimi se danes sooča Evropa. Intenzifikacija kmetijstva na eni in opuščanje rabe na drugi strani sta dejavnika, ki sta močno vplivala na upadanje biodiverzitete. Pri zavarovanju biotske raznovrstnosti in vzdrževanju ugodnega stanja kmetijskih habitatov je ključno vlogo prevzela Direktiva o habitatih (Direktiva sveta 92/43/EGS), ki med drugim določa Evropsko ekološko omrežje Natura 2000. Iz Direktive izhaja, da je na območjih Nature 2000 potrebno ohraniti tradicionalni način kmetovanja, ter s tem zagotoviti ohranitev rastlinskih in živalskih vrst ter habitatnih tipov. V Sloveniji so v letu 2013 območja Nature 2000 pokrivala 37,2 % ozemlja, znotraj katerih se nahajajo tudi kmetijska zemljišča. Gozdovi so pokrivali 71 % površine območij Natura 2000 (nad gozdno mejo je 4 %) medtem ko so kmetijska zemljišča in zemljišča v zaraščanju pokrivala 23 % (Natura 2000).

Reforma SKP iz leta 1992 je kmetom naložila odgovornost, da ohranjajo kulturo krajino, skrbijo za dediščino podeželja in njegovo biotsko raznovrstnost ter da naravne vire, tla, zrak in vodo izkoriščajo preudarno. To naj bi se preoblikovalo v praktične ukrepe, kot so diverzifikacija pridelkov, ohranjanje trajnih pašnikov in manj intenzivna pridelava. S tem so kmetje dobili nove dolžnosti. Da bi dobili povračilo za to storitev, ki jo zagotavljajo celotni

družbi, se s finančnimi spodbudami zagotavlja povračilo dodatnih stroškov, ki so nastali zaradi oteženih razmer kmetovanja (Program..., 2015; Evropska komisija, 2012). V okviru Programa razvoja podeželja Republike Slovenije 2014 - 2020 (Program ..., 2015) se bo v letu 2015 iz Evropskega kmetijskega sklada za razvoj podeželja (EKSRP) pričel izvajati ukrep kmetijsko-okoljska podnebna plačila (ukrep KOPOP), ki bo nadomestil obstoječi ukrep kmetijsko okoljskih plačil (podukrepi KOP). Namen ukrepa je spodbujanje nadstandardnih kmetijskih praks. Aktivnosti, ki se bodo izvajale in bodo prispevale k ohranjanju oz. izboljšanju stanja v okolju in naravi, ohranjale kulturno krajino in prispevale k blaženju in prilagajanju podnebnim spremembam, so v ukrepu definirane kot zahteve v okviru operacij.

Ukrep KOPOP se sestoji iz 19 operacij (prej 24 kmetijsko-okoljskih podukrepov), ki so sestavljene iz obveznih in izbirnih zahtev. Upravičenec mora izvajati obvezne, a lahko izbere tudi eno ali več izbirnih zahtev posamezne operacije. Pri operacijah načrtovanja varovanja tal pred erozijo so pomembne zlasti operacije in nanje vezane zahteve, s katerimi se ohranja elemente krajine, pokritost tal, se preprečuje zbijanje tal in izboljšuje strukturo tal. Ob tem je potrebno upoštevati naklon kmetijskega zemljišča, njegovo izpostavljenost vodni eroziji, lastnosti tal ter čas in način obdelave tal. Čeprav so operacije predvidene za varovanje tal pred erozijo mišljene predvsem za vinograde, smo v okviru ukrepa KOPOP prepoznali operacije z zahtevami, s katerimi lahko varujemo tla pred erozijo na drugih kmetijskih zemljiščih (preglednica 2):

Preglednica 2: Operacije in zahteve ukrepov KOPOP
Table 2: Operations and demands of KOPOP measures

OPERACIJA	ZAHTEVA
POLJEDELJSTVO in ZELENJADARSTVO	- Petletni kolobar (POZ-KOL) - Setev rastlin za podor (zeleno gnojenje) (POZ-POD) - Konzervirajoča (ohranitvena) obdelava tal (POZ_KONZ) - Ozelenitev njivskih površin (POZ_ZEL) – setev prezimnih posevkov - Neprezimni medonosni posevki (POZ_NEP)
HMELJARSTVO	- Pokritost tal v medvrstnem prostoru (HML-POKT)
SADJARSTVO	- Pokritost tal v medvrstnem prostoru z negovano ledino (SAD_POKT)
VINOGRADNIŠTVO	- Pokritost tal v vinogradih z negovano ledino (VIN_POKT) - Pokritost tal čez zimo v vinogradih, kjer medvrstni prostor ni pokrit z negovalno ledino (VIN_MEDV)
TRAJNO TRAVINJE I	- Nepokošeni pas znaša (5 – 10 % površine travnika), za GERK > 1 ha, pas se kosi naslednje leto; obtežba 0,5 – 1,8 GVŽ travojedih živali/ha kmetijskih zemljišč (TRZ_I_NPAS) - Spravilo mrve s travinja (TRZ_I_MRVA) - Opustitev silaže (TRZ_I_OSIL)
TRAJNO TRAVINJE II	- Opustitev silaže (TRZ_II_OSIL) - Na nepokošenem pasu travnika (TRZ_II_NPAS) paša ni dovoljena

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice 2

OPERACIJA		ZAHTEVA
POSEBNI TRAVIŠČNI HABITATI		- Košnja, paša ni dovoljena do 30. 6., obtežba 0,2 – 1,5 glav živine (GVŽ) travojedih živali / ha (HAB_KOS) - Spravilo mrve (HAB_MRVA) - Za GERK-e, ki so večji od 1 ha, v tekočem letu na travniku površina strnjene nepokošenega pasu, ki se pokosi naslednje leto, znaša 5 do 10 % površine travnika (HAB_NPAS)
TRAVIŠČNI HABITATI METULJEV		- Košnja/paša ni dovoljena med 15. 6. in 15. 9. (MET_KOS) - Za GERK-e, ki so večji od 1 ha, v tekočem letu na travniku površina strnjene nepokošenega pasu, ki se pokosi naslednje leto, znaša 5 do 10 % površine travnika (MET_NPAS) - Spravilo mrve s travinja (MET_MRVA)
HABITATI PTIC		- Košnja ni dovoljena pred 1.8. (VRT_KOS) - Za GERK-e, ki so večji od 1 ha, v tekočem letu na travniku površina strnjene nepokošenega pasu, ki se pokosi naslednje leto, znaša 5 do 10 % površine travnika (VRT_NPAS)
STELJNIKI		- Košnja/paša ni dovoljena do 25. 8. (STE_KOS) - Za GERK-e, ki so večji od 1 ha, v tekočem letu na travniku površina strnjene nepokošenega pasu, ki se pokosi naslednje leto, znaša 5 do 10 % površine travnika (NTR_NPAS)
VODNI VIRI		- Ozelenitev njivskih površin (VOD_ZEL) - Neprezimni medonosni posevki - Setev rastlin za podor - Na 30 % njivskih površin na Dravskem polju in na 20 % njiv drugje
OHRANJANJE HABITATOV STRMIH TRAVNIKOV		- Za GERK z nagibom 50 % ali več
GRBINASTI TRAVNIKI		- Zahtevana ena košnja in spravilo letno
PLANINSKA PAŠA		- Paša na planini po čredinkah
VISOKODEBELNI TRAVNIŠKI SADOVNJAKI		- Zagotavljanje zatravljenosti z negovano ledino, kosno ali pašno rabo zatravljenih površin, nego dreves in obnovo nasadov. Sadovnjak se šteje za visokodebelni, kadar je 25 ali več sadnih dreves/ha.
OHRANJANJE MEJIC		- Na dejanski rabi št.: 1100, 1160, 1221, 1222, 1230, 1211 in 1300 - Dolžina mejice vsaj 20 m, širina pri tleh 2 – 4 m. Na območjih Natura2000.

V Sloveniji so se površine zemljišč, ki so bile vključene v izvajanje kmetijsko-okoljskih ukrepov, po letu 1999 močno povečale in so v letu 2010 obsegale 276.903 ha. Za ukrepe kmetijsko-okoljsko-podnebnih plačil (KOPOP) in ekološko kmetovanje je v letu 2015 vloge do 15. maja oddalo skupaj 7.627 kmetijskih gospodarstev za 120.865 ha površin (Sporočilo ..., 2015). Medtem ko se je delež površin z enim ali več kmetijsko-okoljskih ukrepov v obdobju 1999 - 2009 povečal od 0,6 % na 45,5 % vseh kmetijskih zemljišč v uporabi, je v letu 2015 za 43,7 % manjši kot v letu 2010. V strukturi bruto površin s kmetijsko okoljskimi ukrepi so prevladovali ukrepi za zmanjševanje negativnih vplivov kmetovanja na kakovost tal in vode (integrirana pridelava, ozelenitev njivskih površin, kolobar) ter ekološko

kmetovanje (v letu 2010 skupaj 58 % bruto površine), medtem ko se delež površin z ukrepi za ohranjanje krajine, habitatov in biotske raznovrstnosti postopoma zmanjšuje. Primerjava s podatki za druge članice EU kaže, da je delež površin s kmetijsko-okoljskimi ukrepi v Sloveniji razmeroma velik, vendar mnogo manjši kot na primer v Avstriji, na Švedskem, Finskem in v Luksemburgu, kjer je že v letu 2002 presegel 80 % (Volk, 2012).

Stoate in sod. (2009) ugotavljajo, da je vpliv kmetijsko okoljskih ukrepov na ekološki status kmetijskih območij v državah članicah Evropske unije zelo različen. Ponekod se povečuje intenzifikacija, izgradnja drenažnih sistemov, izgradnja vinogradov in nasadov oljk na območjih pašnikov, drugod se kmetovanje opušča in kmetijske površine se zaraščajo. Avtor razlike pripisuje različnemu socio-ekonomskemu in kulturnemu statusu. Hkrati primanjkuje podatkov o zmogljivosti in učinkovitosti ukrepov, vezanih na varovanje tal ter znanja o tem, kako načrtovati ukrepe, s katerimi bi kmete spodbujali k uporabi metod za varovanje tal (Prager in sod., 2011). Posthumus in sod. (2010) opozarjajo, da se kmetijska politika bolj osredotoča na ukrepe za varstvo pred razpršenimi viri onesnaženja kot na varovanje tal *in situ*, torej na območjih, kjer so ukrepi najbolj potrebni in učinkoviti. Sicer se je z vmesnim vrednotenjem programov za razvoj podeželja 2000 – 2006 (Kmetijsko, 2009) izkazalo, da so ukrepi zasajanja živih meja v Piemontu (Italija) vplivali na zmanjšanje erozije tal. V Avstriji se je zaradi tehnik neposrednega sejanja pri koruzi, erozija tal zmanjšala za 40 % in v Flandriji (Belgija) za vsaj 50 % zaradi pokritosti tal z vegetacijo. Prav tako so z ekološkimi kmetijskimi praksami v Umbriji (Italija) v povprečju zmanjšali erozijo tal za 6,8 t/ha/leto, s preoblikovanjem ornih zemljišč v travišča pa za 30 t/ha/leto.

Nitratna direktiva (Direktiva Sveta Evrope 91/676/EEC), ki se nanaša na varstvo voda pred onesnaženjem z nitrati iz kmetijskih virov, zahteva, da države članice na ranljivih območjih določijo kodekse dobre kmetijske prakse, vpeljejo operativne programe z ukrepi za zmanjšanje onesnaženosti z nitrati iz kmetijstva in da spremljajo stanje voda glede koncentracije nitratov. Z direktivo se priporoča, da države članice v kodeks dobre kmetijske prakse vključijo tudi metode, kot so vzdrževanje najmanjše količine rastlinske odeje med (deževnimi) obdobji, ki sočasno zmanjšajo erozijo tal ali metode, ki rahljajo tla in zmanjšajo površinski odtok (kolobarjenje, stalni posevki). Rezultati uvedbe Nitratne direktive so lahko zelo različni. Tako so Velthof in sod. (2014) ocenili, da so se emisije dušikovih spojin v Evropi zaradi uvedbe Nitratne direktive med leti 2000 in 2008 zmanjšale (NH₃ za 3 %, N₂ za 6 %, NO_x za 9 % in N za 16 %), vendar z velikimi razlikami glede na regijo zaradi zmanjšane uporaba mineralnih gnojil in gnoja. Belhouchette in sod. (2001) pa so s preverjanjem učinkov ukrepov Nitratne direktive pokazali, da kolobarjenje in prilagojen gnojilni načrt ne prispevata toliko k zmanjšanju nitrata, vendar veliko več k zmanjšani eroziji tal. Potreben je torej integriran pristop k upravljanju prostora in voda, ki ne vključuje samo kmetov, temveč tudi druge nosilce interesov in je prilagojen lokalnim okoliščinam. Bistven pogoj za prihodnost je spremeniti odnos javnosti tako, da se bo zavedala pomena rodovitnih tal. Zaščito tal imata zakonsko urejeno Nemčija in Švica. Združene države Amerike imajo na državni in lokalni ravni zaščito tal urejeno z Zakonom o ohranjanju tal iz leta 1935 in

Standardom o ohranjanju tal iz leta 1939. Evropska komisija je predlog Direktive o tleh 30. aprila 2014 zavrnila, čeprav je v sklepu Evropskega parlamenta in sveta o splošnem okoljskem akcijskem programu Unije do leta 2020 (Sklep ..., 2013) navedeno, da je potrebno opredeliti cilje za trajnostno rabo zemljišč in tal ter krepiti prizadevanja za zmanjšanje erozije tal in obnovo degradiranih tal.

2.6.2.2 Vodna politika

Za doseg in zagotavljanje dobrega kakovostnega stanja površinskih in podzemnih voda ter morij je bila v Evropi uvedena okvirna Direktiva o vodah (EU Water Framework Directive-WFD; 2000/60/EC) ki povezuje številne druge direktive, kot so nitratna (91/676/EC), ribja (78/659/EC), školjčna (79/923/EC), habitatna (92/43/EGS), o nevarnih snoveh (76/464/EC), o pesticidih (91/414/EEC) in o pitni vodi (80/778/EGS). V skladu z Direktivo o vodah mora vsaka izmed držav članic EU pripraviti Načrt upravljanja voda (NUV) in Program ukrepov načrta upravljanja voda (PU NUV). S pripravo in sprejemom prvega načrta upravljanja voda na vodnem območju Donave in Jadranskega morja za obdobje od 2009-2015 se je leta 2011 prvič uveljavil in izvedel celovit pristop k analizi problematike, povezane z doseganjem tako okoljskih ciljev, in tudi ciljev rabe in urejanja voda. NUV je po svoji vsebini nacionalni strateško načrtovalski dokument na področju upravljanja voda, ki opredeljuje mehanizme za vodenje politik za doseg ciljev. Program ukrepov upravljanja voda predstavlja nabor temeljnih in dopolnilnih ukrepov za doseganje okoljskih ciljev voda na vodnih telesih površinskih in podzemnih voda. *Temeljni ukrepi* so vsi ukrepi skupne vodne politike, ki izhajajo iz predpisov, s katerimi so bila v slovenski pravni red prenesena določila Direktive o vodah 2000/60/ES ter temeljni ukrepi na podlagi slovenske zakonodaje, in sicer temeljni ukrepi za področja ekonomije, rabe, urejanja in varstva voda (Zakon o vodah, 2002; Zakon o ohranjanju narave, 2004; Zakon o varstvu okolja, 2006; Zakon o sladkovodnem ribištvu 2006; Zakon o divjadi in lovstvu, 2004 idr.). Ker program temeljnih ukrepov ne omogoča doseganje vseh okoljskih ciljev do leta 2015, je predvidena priprava programa *dopolnilnih ukrepov* za vodna telesa površinskih in podzemnih voda. Ti so členjeni v kategorije: dopolnilni ukrepi za preprečitev poslabšanja ali slabšanja stanja (DUPPS), dopolnilni ukrepi za doseganje dobrega stanja oziroma dobrega potenciala (DUDDS), drugi dopolnilni ukrepi (DDU), ekonomski inštrumenti (ED) in dopolni ukrepi za podnebne spremembe (PS). Med temeljnimi in dopolnilnimi ukrepi PU NUV povzemamo ukrepe, ki (posredno) obravnavajo varovanje stoječih voda pred povečanim dotokom suspendiranih snovi iz prispevnih površin in odlaganjem suspendiranih snovi v akumulacijah. V sklopu le-teh, so ukrepi, ki se nanašajo na urejanje in varstvo površinskih in podzemnih voda. Ti so vezani na izboljšanje hidromorfološkega stanja voda z ukrepi, ki obsegajo obnovo in ponovno vzpostavitev strukture in oblike vodnega telesa, ki so obremenjena zaradi hidromorfoloških pritiskov (pregrade, jezovi, motnje v transportu, umetni pretočni režimi, erozija tal itd.), kar vpliva na samodejno izboljšanje njihovega kemijskega in ekološkega stanja (preglednica 3):

Preglednica 3: Temeljni in dopolnilni ukrepi NUV vezani na izboljšanje hidromorfološkega stanja
Table 3: Basic and supplement measures of RBMP for hydromorphological improvement

DUDDS4	Zasaditev in vzdrževanje za ekološki tip značilne obrežne vegetacije
DUDDS5.2	Leseni pragovi in zaščita brežin s sonaravnimi ureditvami
DUDDS7	Sprememba režima obratovanja jezua za omogočanje transporta rinjenih plavin
DUDDS10	Namestitev odmrlih dreves – vpliv na morfologijo struge in hidravlične lastnosti
DUDDS11	Strojno čiščenje zamuljenega dna vodnega telesa za doseganje dobrega stanja ali potenciala voda
DUDDS21	Preprečevanje ali nadzor vnosa onesnaževal iz razpršenih virov s podporo ukrepa kmetijsko okoljskih plačil iz Programa razvoja podeželja
Ukrepi Programa razvoja podeželja 2007–2013 so že v izvajanju, vendar se kljub temu za 4 VTPV (SI1668VT kMPVT akumulacija Šmartinsko jezero, SI38VT34 kMPVT akumulacija Perniško jezero, SI434VT52 kMPVT akumulacija Gajševsko jezero, SI442VT12 kMPVT akumulacija Ledavsko jezero) in 3 VTPodV (1002 Savinjska kotlina, 3012 Dravska kotlina, 4016 Murska kotlina) ocenjuje, da okoljski cilji zaradi onesnaževanja s hranili in sredstvi za varstvo rastlin v letu 2015 ne bodo doseženi. Iz tega razloga se na podlagi tega ukrepa spodbuja vključevanje kmetov v PRP s strani kmetijske svetovalne službe, in sicer za izvajanje ukrepov iz skupine zmanjševanje negativnih vplivov kmetijstva na okolje - za ukrepe, ki vplivajo na zmanjševanje onesnaževanja površinskih in podzemnih voda (Operacija vodni viri – KOPOP): - ohranjanje kolobarja - ozelenitev njivskih površin, - ekološko kmetovanje - pokritost tal na vodovarstvenem območju. Za akumulacije, ki so določeni kot močno preoblikovana vodna telesa (MPVT, Pravilnik...2005) se v v podukrepu DUDDS24 opredeli način izvedbe ukrepov s pripravo in verifikacijo projektnih nalog, strokovnih podlag ter po potrebi spremembo poslovnikov za posamezno vodno telo. Predmet tega ukrepa so spodaj navedeni dopolnilni ukrepi za doseganje dobrega stanja oziroma dobrega potenciala, ki so predvideni na posameznih MPVT:	
DUDDS4	Zasaditev in vzdrževanje obrežne vegetacije
DUDDS6	Uravnavanje hitrosti dviga spodnje vode
DUDDS7	Zagotavljanje premeščanja za ekološki tip reke značilnih rinjenih plavin
DUDDS9	Gradnja prehoda za vodne organizme ali premeščanje rib
DUDDS10	Namestitev odmrlih dreves
DUDDS11	Strojno čiščenje zamuljenega dna
DUDDS12	Rekonstrukcija nefunkcionalnega prehoda za vodne organizme
DUDDS13	Sonaravna ureditev na območjih togih asfaltnih in betonskih zavarovanj brežin

Predvideva se, da bi na vodozbirnih območjih vodnih teles površinskih voda in območjih vodnih teles podzemne vode iz NUV, na podlagi KOPOP (Program..., 2015) izvajale operacije Poljedelstvo in zelenjadarstvo in Vodni viri z najmanj 30 % njivskih površin na območju Dravske kotline in z najmanj 20 % njivskih površin na drugih območjih iz NUV. Tudi če se upravičenci vključijo le v izvajanje operacije Vodni viri, bi se ta operacija na območju Dravske kotline iz NUV izvajala na najmanj 30 % njivskih površin, na drugih območjih iz NUV pa na najmanj 20 % njivskih površin.

Zavedanje o pomenu ukrepov za varovanje tal pred erozijo se je s sprejemom Vodne direktive povečalo, saj se z erozijo tal premeščajo tudi onesnažila in hranila, vezana na suspendirane snovi. Vendar načrti upravljanja s stoječimi vodami še vedno ne vključujejo preventivnih ukrepov v vodozbirnih območjih, čeprav se je izkazalo, da so korektivni ukrepi v jezerih manj uspešni (Ulen in Kalisky, 2005; Posthumus in sod., 2010).

Številne študije so z modeliranjem pokazale, da bi s primeri dobrih praks lahko zmanjšale tako dotok suspendiranih snovi in tudi hranil v vodna telesa in dosegle dober ekološki status predpisan v vodni direktivi (Lam in sod. 2011; Panagopoulus in sod., 2012; Rickson, 2014). Hkrati se sediment v vodni direktivi še vedno omenja le kot snov, v kateri se nahajajo onesnaževala, kljub temu, da vpliva na morfologijo vodnih teles, spreminja biogokemične procese v vodnih telesih, ogroža nasipe in jezovne zgradbe (Morris in Fan, 2010, Kondolf in sod., 2014). Poročilo Evropskega računskega sodišča (EPA-CFR, 2014) ugotavlja, da so bili cilji Vodne direktive zaradi neusklajenosti med ambicioznimi cilji vodne politike in mehanizmi, ki se uporabljajo za doseganje sprememb v skupni kmetijski politiki, vključeni uspešno, vendar ne v celoti.

V Združenih državah Amerike je za omilitev onesnaženja iz netočkovnih virov Kongres sprejel Clean Water Act (CWA) in predpise (Code of Federal Regulations, CFR) Agencije Združenih držav za varstvo okolja (United States Environmental Protection Agency, US EPA), ki pod naslovom 40 v poglavju 130 (40 CFR Part 130) obravnava načrte upravljanja voda in v poglavju 4.2 onesnaževanje iz netočkovnih, razpršenih virov. Kljub izboljšanju stanja na področju točkovnih virov (Schiff, 2014), prekomerne obremenitve s hranili iz netočkovnih virov povzročajo slabo biološko stanje v več kot 30-odstotkih vodotokov (EPA, 2006) in v 20-odstotkih jezer in akumulacij v Združenih državah (EPA, 2009).

Bouraoui and Grizzetti (2011) ugotavljata, da se stanje voda ne izboljšuje tako hitro in v takem obsegu, kot je bilo pričakovano, kljub obsežni zakonodaji in finančni podpori. K zmanjšanju vnosa hranil, zlasti dušika, so direktive pripomogle le, v kolikor so bile sprejete in izvajane v celoti. Hkrati nekateri avtorji (Behrend in sod., 2000, Cherry in sod., 2008, Morris in Fan, 2010) ugotavljajo, da je lahko nespremenjeno stanje kakovosti voda posledica počasnega odziva okolja na ukrepe ali zaradi dolgega zadrževalnega časa snovi v vodozbirnem območju. Jeppensen in sod. (2005) so z raziskavo 22 jezer ugotovili, da se jezera na zmanjšan dotok dušika odzovejo šele po 5- do 10-ih letih. Prav zaradi tega je potrebno ukrepe, sprejeta na podlagi rezultatov spremljanja učinkov, skozi čas prilagajati. Hkrati je potrebno nujno sodelovanje med zainteresirano javnostjo, kmetijsko-okoljsko in vodno politiko, politiko urejanja prostora, varstvom narave in drugimi.

2.6.3 Ekoremediacijski (ERM) ukrepi

Za zmanjšanje erozije in dotoka suspendiranih snovi s prispevnih površin so se v preteklih desetletjih uspešno uveljavili primeri dobre prakse (Best Management Practices - BMPs). V kolikor so smotrno vključeni in pravilno umeščeni, zagotavljajo zanesljiv uspeh pri zmanjševanju obremenitev iz netočkovnih virov v vodozbirnem območju. Primere dobre

prakse sta Novotny in Olem (1994) definirala kot: »... metode, sredstva in postopki izbrani za zmanjšanje onesnaževanja vodnih teles iz netočkovnih virov. Vključujejo, vendar niso omejeni na gradbene in negradbene ukrepe. Uporabljeni so lahko pred, med in po aktivnostih, ki so vzrok za netočkovno onesnaževanje.«

V Sloveniji se za metode, izbrane za zmanjšanje onesnaževanja voda in okolja, uveljavlja izraz *ekoremediacije*. Vrhovšek in Vovk-Korže (2008) ekoremediacije definirata metode za varovanje in obnovo (remediacija) okolja in narave z uporabo ekološkega inženiringa (eko), ki obsega izgradnjo in obnovo ekosistemov (Mitsch in Jørgensen, 2004). Že prej so Tissut in sod. (2006) ekoremediacije opisali kot proces v katerega so vključeni rastlina, voda, tla ter mikroorganizmi v koreninskem sistemu in vključuje *bioremediacijo*, ki uporablja mikroorganizme za odstranjevanje onesnaževal iz okolja (Crawford in Crawford 2005) in *fitoremediacijo*, ki uporablja rastline in mikroorganizme njihovih koreninskih sistemov za remediacijo vode in tal (McCutcheon in Schnoor, 2003).

Kadar pri izbiri ukrepov upoštevamo ekoremediacijske metode jih imenujemo (ekoremediacijski) ERM ukrepi. Združujejo gradbene in negradbene ukrepe, s katerimi izboljšamo strukturo tal, omilimo erozijske procese in omogočimo privzem hranil in onesnaževal iz tal. Številni avtorji (Campbell in sod., 2004, Cooke in sod., 2005; Glavan, 2011) ugotavljajo, da je nedvomno dolgoročno najbolj učinkovita sočasna uporaba tako negradbenih kot gradbenih ukrepov, saj je prostor, kamor jih umeščamo zelo raznolik tako kot so načela delovanja ukrepov. Ker pri načrtovanju in izvedbi ukrepov upoštevamo obstoječe elemente v krajini in upoštevamo lastnosti okolja, so ERM ukrepi dolgoročno naravnani z nizkimi stroški vzpostavitve in vzdrževanja (Vrhovšek in Vovk-Korže, 2008; Bulc in Slak, 2009).

Negradbeni ukrepi uporabljajo vrsto postopkov in dejavnosti s katerimi varujemo zelene površine in izkoriščamo vlogo rastlin za varovanje tal pred erozijo, obdelujemo tla na način, ki vzpodbuja rast rastlin in izboljšuje strukturo tal, da so ta manj erodibilna. Ukrepi temeljijo na upravno-administrativnih ukrepih, ki spodbujajo k pogozdovanju, ohranitveni obdelavi tal, zmanjšani uporabi mineralnih gnojil in sredstev za varstvo rastlin in vključujejo tudi izobraževanje in obveščanje javnosti ter sodelovanje s ključnimi deležniki.

Gradbeni ukrepi vključujejo ureditve in sisteme (tj. inženirsko–biološke metode za utrditve brežin in pobočij, vegetacijske filtrne in blažilne pasove, mokrišča, travnate odvodne jarke, terasiranje ipd.), ki preprečujejo premeščanje tal in omogočajo zadrževanje suspendiranih snovi. Številni avtorji (Campbell in sod., 2004, Cooke in sod., 2005; Glavan, 2011) ugotavljajo, da je nedvomno dolgoročno najbolj učinkovita sočasna uporaba tako negradbenih kot gradbenih, preventivnih in tudi korektivnih metod ter ukrepov, ne glede na namensko rabo prostora. V večini primerov obstaja cel niz primerov dobre prakse, in kombinacija med gradbenimi in negradbenimi ni nič nenavadnega (Campbell in sod., 2004).

Učinkovitost preventivnih ukrepov, s katerimi želimo zmanjšati ali preprečiti erozijske procese v vodozbirnem območju in v vodotoku ter omiliti dotok v akumulacijo, je odvisna

od številnih dejavnikov kot so topografija, lastnosti tal, raba zemljišč, pridelovalne prakse in podnebne razmere. Prav zaradi tega ni mogoče izbrati le enega ukrepa ali metode.

Glede na to, da kmetijska dejavnost še vedno največ prispeva k erozijskim procesom, se bomo v nadaljevanju osredotočili na ukrepe in metode, ki se uporabljajo na kmetijskih zemljiščih za zmanjševanje erozijskih procesov in dotoka suspendiranih snovi. Agencija za varstvo naravnih virov Ministrstva za kmetijstvo Združenih držav Amerike (NRCS-USDA) trenutno glede na različne obremenitve navaja 165 gradbenih in negradbenih ukrepov, vezanih na omilitev onesnaževanja. Od tega je okvirno 22 ukrepov navedenih za zmanjšanje erozijskih procesov in dotoka suspendiranih snovi. Nekateri izmed teh ukrepov sovpadajo s prej omenjenimi ukrepi KOPOP in podukrepi NUV.

2.6.3.1 Negradbeni ukrepi

V mnogih letih raziskav so se postopoma oblikovali sezname najučinkovitejših ukrepov in metod, ki preprečujejo ali omilijo sproščanje, premeščanje in odlaganje suspendiranih snovi. Pri tem je potrebno upoštevati tudi dejstvo, da ocena učinkovitosti ne temelji le na preprečevanju in zmanjšanju vnosa suspendiranih snovi in onesnaževal, temveč tudi na zagotavljanju količine pridelka in ohranjanju kmetijskih zemljišč ter rodovitnih tal. Zato je pri izbiri preventivnih ukrepov pomembno, da sta vzpostavitev in vzdrževanje cenovno sprejemljiva, da ne omejujejo kmetovanja oziroma donosa in so učinkoviti (Arabi in sod., 2004; Morgan, 2005).

2.6.3.1.1 Ozelenitev kmetijskih površin

Ozelenitev tal z rastlinami ali rastlinskimi ostanki v vegetacijskem obdobju ali preko zime zmanjša erozijske procese in izpiranje hranil ter izboljša biološke, kemijske in fizikalne lastnosti tal. Rastline, ki jih uporabljamo so lahko namenjene krmi ali le začasni ozelenitvi. Nekateri dosevki so uporabni le za zeleno gnojenje (oljna redkev, gorjuščica, facelija), drugi so vsestransko uporabni (ajda, krmna ogrščica, mogocvetna ljuljka). Metuljnice prispevajo k dognojevanju, saj vežejo dušik iz zraka, medtem ko trave in križnice privzemajo več dušika iz tal (Morgan, 2007; Dabney in sod., 2001). Sicer se v Sloveniji v skladu s PRP (Program..., 2014) ozelenitev opravlja skladno s šifrantom kmetijskih rastlin (ARSKTRP-SNP-7/06), ki so primerna za ozelenitev. Na izbor rastline vplivajo območje in namen pridelave, potrebe kmetijskega gospodarstva in stroški, vezani na pridelavo.

Kadar rastline uporabljamo za zmanjšanje in preprečevanje erozijskih procesov, se uporabljajo rastline, ki se hitro in gosto razraščajo, preprečujejo rast plevela in tvorijo globok, razvejan koreninski sistem za povečanje makropor v tleh. Koreninski sistem trav predstavlja bistveno prednost v primerjavi z rastlinami družine metuljnic ali križnic, saj imajo trave gostejši koreninski sistem (De Baets in sod. 2011). Pomembna je tudi gostota zasaditve. V poročilu Lake Champlain Basin (2011) avtorji predlagajo, da se za učinkovito pokritost tal poseje najmanj 112 kg semen na hektar zemljišč. V skladu z izbirno zahtevo KOPOP se smatra, da je pokritost tal s prezimnimi poljščinami izpolnjena, če pokrovnost

ozelenjene površine s temi rastlinami dosega vsaj 70 % (Program, 2015), Malik in sod. (2000) so predlagali vsaj 60 %. Ob tem se zahteva skladno s KOPOP izvaja le na naklonih, manjših od 20 %.

V primerjavi med konvencionalno obdelavo tal in ozelenitvijo površin v nasadu oljk v južni Španiji na peščeno glinenih tleh so Gomez in sod. (2009) ugotovili, da je izguba tal z ozelenitvijo v povprečju za 11 % manjša kot pri konvencionalni obdelavi tal. Hkrati se je znatno zmanjšala tudi količina organske snovi in hranil v površinskem odtoku. Na testnih poljih v nasadih oljk (južna Španija) so Espejo-Perez in sod. (2013) izmerili, da se je z ozelenitvijo površin izguba tal zmanjšala za 76 % in vode za okvirno 22 %. Malik in sod. (2000) so na testnih poljih v drevesnih nasadih (meljasto-glinena tla, naklon 2 – 6 %) ugotovili, da ozelenitev površin prispeva k zmanjšani eroziji tal in da med travami in metuljnicami ni zaznati večjih razlik. Erozijska se je z uporabo ljuke, v primerjavi s prvimi leti po vzpostavitvi, zmanjšala za 64 %, inkarnatke za 61 %, detelje *Lespedeza cuneata* za 51 % in trstikaste biljnice za 37 %. Ob tem je zimska ozelenitev (ljuke, inkrantaka) k varovanju tal pred erozijo prispevala več kot ozelenitev s trajnicami v poletnih in jesenskih mesecih. Razen pri trstikasti biljnici, kjer so se ozki vegetacijski pasovi izkazali za enako učinkovite kot široki.

2.6.3.1.2 Kolobarjenje

S kolobarjenjem se kombinira različne poljščine na njivi v določenem časovnem zaporedju. Je način gospodarjenja s katerim pozitivno vplivamo na strukturo tal in izboljšamo izkoristek hranil v tleh. Različne poljščine in njim prilagojena agrotehnična opravila ne vplivajo le na vsebnost hranil v tleh, temveč tudi na fizikalne lastnosti tal. Te se odražajo v strukturi tal, sposobnosti zadrževanja vode, kopičenju rastlinam dostopnih hranil ter zaščiti tal pred vodno erozijo. Dobra kmetijska praksa v kolobar vključuje tudi dosevke med časom žetve in setve glavnih posevkov (Sadar, 1961; Morgan, 2005). Za zmanjšanje žlebične in medžlebične erozije je potrebno izbrati poljščine in načrtovati takšno zaporedje v kolobarju, ki zagotavlja za območje primerno, zadostno količino biomase ali ostankov poljščin ob pravem času (NRCS, 2011). Na slovenskih kmetijskih gospodarstvih morajo v obvezno zahtevo petletnega kolobarjenja (2.1.1. POZ_KOL) biti vključene najmanj tri različne glavne kmetijske rastline kot glavni posevek, pri čemer je lahko koruza v kolobarju trikrat, vendar nikoli zaporedoma, delež žit ne sme preseči 60 % in vsaj enkrat morajo biti prisotne metuljnice, katerih delež mora dosegati vsaj 50 %. Kolobar se izvaja na vseh njivskih površinah, katerih velikost je večja ali enaka 0,1 ha (Program...., 2015).

V primerjavi z monokulturami so dolgoročni učinki kolobarjenja na zmanjšano erozijo tal zelo veliki. Študija, izvedena v Missouriju (ZDA), je pokazala, da se je na meljasto glinenih tleh z naklonom 4°, kjer je prevladovala monokultura s koruzo, s kolobarjenjem (koruza-pšenica-detelja) izguba tal zmanjšala za 13,6 % leto (Gantzer in sod., 1990). Na gričevnatem območju zahodne Litve, kjer prevladujejo peščeno glinena tla, so Jankauskas in sod. (2004) z meritvami pokazali, da je travnato-žitni kolobar (>50 % trav) zmanjšal stopnjo erozije za

na naklonih od 2 do 14° za 75 – 80 %. Travnato-žitni kolobar (< 50 % trav) je v primerjavi z žitnim kolobarjem zmanjšal izgubo tal za 24 %. Wei in sod. (2014) so osem let na semi-aridnih aluvilanih gričevnatih območjih Kitajske, na 21 merilnih poljih spremljali sedem različnih kolobarjev pod tremi različnimi nakloni (10°, 15°, 20°). Analiza je pokazala, da je stopnja erozije ostajala višja od sprejemljive na vseh naklonih manjših od 20°, kljub dodatnim ukrepom (ohranitvena obdelava tal, obdelava tal vzporedno s plastnicami, zasaditve ob robu zemljišč). Kadar so kombinirali različne vrste kolobarjev z ozelenitvijo tal (opuščanje rabe, prepuščanje travnikov naravni sukcesiji), se je vodna erozija znatno zmanjšala. Razlike so se pojavljale v odvisnosti od časovne razporeditve in intenzitete padavin.

2.6.3.1.3 Ohranitvena obdelava tal

Ohranitvena (konzervacijska) raba tal (angl. conservation tillage) temelji na zmanjšani uporabi ali popolnem opuščanju kmetijske mehanizacije in orodij ter hkrati ohranja najmanj 30 % rastlinskih ostankov na njivskih površinah. Uporabljajo se orodja, ki tla le delno premešajo, zemljine ne obrnejo popolnoma, vendar jo kljub vsemu rahljajo in drobijo (Triplett in Dick, 2008; Van Wie in sod., 2013). Obsega štiri različne tehnike (Mrhar, 2001):

- neobdelana tla, brez oranja (angl. no-till), kjer po pravilu poljščine in pred setvijo nove ni posegov v tla;
- pasovno obdelana tla (angl. strip-till), pri kateri tla z novo setvijo obdelamo v pasovih, kjer poteka setvena cev;
- trajno oblikovani grebeni (angl. ridge-till), kjer obdelava obsega okopavanje in popravilo grebenov ter
- plitvo obdelana tla, kjer se del rastlinskih ostankov oziroma stelje (angl. mulch-till) vmeša v tla.

Uporaba posamezne tehnike ohranitvene obdelave je odvisna od lastnosti tal in naravno-geografskih lastnosti območja. S to metodo se ohranja biotsko raznovrstnost v tleh, izboljša vodo-zračne lastnosti ter strukturo tal, zato so tla manj dovzetna za premeščanje (Holland, 2004; Prasuhn, 2012; Van Wie in sod., 2013). Strauss in sod. (2003) so po pregledu literature poročali o znatnem zmanjšanju erozije in površinskega odtoka pri zmanjšani obdelavi tal v primerjavi s konvencionalno obdelavo. Tudi številne druge študije poročajo o pozitivnih učinkih ohranitvene obdelave na zmanjšano erozijo tal. Tako je Prasuhn (2012) z meritvami na njivah v osrednji Švici ugotovil, da povprečna letna izguba tal na plitko obdelanih tleh znaša 0,07 t/ha, na neobdelanih tleh 0,12 t/ha/leto, medtem ko na tleh s konvencionalno obdelavo znaša 1,24 t/ha/leto. Z ohranitveno obdelavo se izgubi 75 % tal, z zmanjšano obdelavo (<30 % tal, pokritih z ostanki rastlin) 12 %, obdelavo s podkopavanjem mulčenja (>30 % rastlinskih ostankov na njivah) 1 % in na njivah brez obdelave 2 %. Podobne rezultate so po 16 letih meritev objavili Shipitalo in sod. (2013), kjer je izguba tal na neobdelanih tleh znašala 0,81 t/ha/leto, delno obdelanih 1,10 t/ha/leto in plitko obdelanih tleh 1,75 t/ha/leto. Avtorji so ugotovili, da vrsta poljščine na površinski odtok ni imela

vpliva. Klik in sod. (2001) so v vzhodni Avstriji primerjali tri različne metode obdelave tal: konvencionalno, ohranitveno z ozelenitvijo površin in ohranitveno brez oranja. Med vegetacijsko dobo ni bilo zaznati bistvenih razlik v odtoku in izgubi tal, sicer je letna količina pri konvencionalni obdelavi znašala 8,4 t/ha in pri obdelavi brez oranja 2,7 t/ha. Tudi izguba hranil med aprilom in oktobrom je bila večja pri konvencionalni obdelavi kot pri ohranitveni. Z ohranitveno obdelavo tal se je med 23 in 99 % zmanjšala tudi količina sredstev za varstvo rastlin. Tako so Maalim in sod. (2013) z modeliranjem vpliva različne obdelave tal na površinski odtok in dotok plavin v vodozbirnem območju reke Le Sueur (v porečju reke Minnesota, ZDA) ugotovili, da je izguba tal z ohranitveno obdelavo za 60 % večja kot na naravnih tleh pred naselitvijo ljudi.

2.6.3.1.4 Obdelava tal vzporedno s plastnicami

Način obdelave tal, s katerim oblikujemo brazde in grebene, sejemo ali sadimo vzporedno s plastnicami (angl. contour farming), omogoča preusmerjanje površinskega odtoka po pobočju. Z bolj grobo površinsko strukturo se zmanjša hitrost površinskega toka in s tem možnost oblikovanja ploskovne in žlebične erozije. Zmanjša se premeščanje suspendiranih snovi in snovi, vezanih nanje, ter poveča pronicanje vode v tla. Standard NRCS (2011) navaja, da je metoda najbolj učinkovita na naklonih med 2 in 10 % in območjih, kjer v 10-ih letih, 24-urna količina padavin ne presega 165 mm. Pri tem morajo brazde med vrstami poljščine imeti zadosten naklon, da se voda ne zadržuje in ne povzroča škode na rastlinah, hkrati naklon ne sme presegati polovice naklona pobočja ali 10 %. Uporabi se kriterij za tisti naklon, ki je manjši. Upoštevati je potrebno tudi razmerje med višino grebena in razdalje med grebeni, ki se določijo glede na vrsto poljščine, način obdelave tal in naklon. Kadar so pobočja daljša od 122 m, brazde in grebeni ne bodo zadržali količine in hitrosti površinskega odtoka zato se priporoča, da je dolžina pobočja med 30,5 m in 122 m. Čeprav je metoda stroškovno učinkovita, pogosto uporabljena in razširjena po vsem svetu, so nekateri avtorji (Posthumus in sod., 2013; Stevens in sod. (2009) ugotovili, da v Veliki Britaniji med kmeti ta metoda ni najbolj zaželen, saj povzroča težave pri obdelovanju, gnojenju in škropljenju, zato je časovno zamudna. Med drugim je število pobočij za uporabo zelo omejeno, saj ta ni smiselna na območjih z valovito in kompleksno topografijo. V kolikor je uporabljena lahko poveča pridelek za 16 % (Posthumus in sod., 2013). Sicer so Stevens in sod. (2009) po 2-eh letih analize podatkov meritev na glinenih pobočjih z naklonom med 2 – 6° odkrili, da lahko obdelava vzporedno s plastnicami zmanjša prenos suspendiranih snovi v povprečju za 72,2 % na leto (z variiranjem med 9 in 98 %). Tudi Quinton in Catt (2004) sta na peščenih tleh kmetije (Bedfordshire, VB) z nakloni zemljišč med 7 in 13 % pokazala, da lahko obdelava tal vzporedno s plastnicami v primerjavi z obdelavo pravokotno na plastnice zmanjša prenos talnih delcev med 72,6 do 75,9 %. Zhang in sod. (2004) so pokazali, da se je stopnja erozije zaradi obdelave tal vzporedno s plastnicami, na pobočjih s 40 – 43 % naklonom, zmanjšala med 77 in 84 %.

2.6.3.2 Gradbeni ukrepi

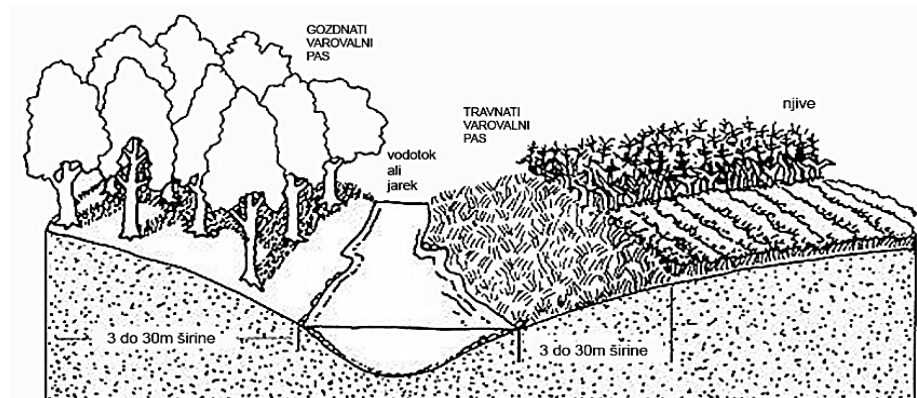
Čeprav negrabeni ukrepi predstavljajo le spremembo v pridelovalni praksi in so zaradi tega sprejemljivejši ter cenovno ugodnejši, ne zagotavljajo vedno optimalne rešitve problema, vezanega na kakovost voda, saj je učinkovitost posamezne metode odvisna od lastnosti vodozbirnega območja, vremenskih razmer, rabe prostora in kmetijske prakse (Dillaha, 1990). Zato posegamo po gradbenih ukrepih, ki jih prilagajajo prostoru (urbane površine, kmetijska zemljišča ali gozdovi) in namenu (varstvo pred premeščanjem ali zadrževanjem suspendiranih snovi, hranil in drugih onesnaževal), ter nudijo dodaten habitatni prostor za divjad in insekte, vzpostavljajo koridorje med ekosistemi in ohranjajo ali izboljšajo podobo kulturne krajine. V nadaljevanju so opisane najpogostejše omenjene metode, vezane na učinkovitost pri prestrezanju suspendiranih snovi in varovanju brežin pred erozijo.

2.6.3.2.1 Vegetacijski varovalni pasovi

Gosta in enakomerno razraščena vegetacija velja za eno izmed najbolj učinkovitih metod za varovanje tal pred erozijo. Zasaditve avtohtonih vrst trav, grmovnic in dreves so zato splošno priporočene, dolgoročno učinkovite metode za obnovo degradiranih območij, saj rastline s svojim koreninskim sistemom izboljšujejo strukturo tal in stabilizirajo tla, z vegetativnimi deli zmanjšujejo površinski odtok in zadržujejo odplavljeni zemeljski material (Morgan, 2005). Pasove vegetacije umeščamo ob spodnjem robu kmetijskih zemljišč in drugih degradiranih površin, na njivah med pasove poljščin, ob struge vodotokov ter ob brežine stoječih voda (slika 3), kjer lahko učinkovito zmanjšajo volumen in hitrost površinskega odtoka ter povečajo infiltracijo vode in onesnaževal v tla. So pasovi lesne, grmovne in travnato-zeliščne vegetacije, ki hkrati povečajo biološko pestrost, saj z njimi tvorimo nov ali dopolnimo obstoječ habitat za divjad, koristne insekte in polinatorje (NRCS-USDA, 2010). Agencija za varstvo naravnih virov ministrstva za kmetijstvo Združenih držav Amerike (NRCS-USDA, 2010) je osnovala navodila za načrtovanje in uporabo vegetacijskih varovalnih pasov ter podala okvirne kriterije glede načina umeščanja in oblikovanja pasov in podrobnejše kriterije glede namena (suspendirane snovi, onesnaževala). Pasovi naj bi bili najučinkovitejši na naklonih med 2 do 10 %, saj se z naklonom, večjim od 10 %, poveča hitrost in volumen površinskega toka in s tem zmanjša učinkovitost pasu (Leeds in sod., 2013). Ob tem je minimalna priporočena širina pasu 6 m.

Številni avtorji (Munoz-Carpena in Parsons, 2004; Dosskey, 2001; Rickson, 2014) ugotavljajo, da je zaradi kompleksnih procesov v posameznem vodozbirnem območju splošne kriterije težko določiti. Med drugim večina rezultatov temelji na raziskavah manjših testnih polj, kar je težko ekstrapolirati na večja in po lastnostih različna vodozbirna območja. Sicer so rezultati številnih študij pokazali, da je učinkovitost pasov pri prestrezanju talnih delcev odvisna od lastnosti toka in padavin, velikosti delcev, tipa vegetacije, gostote zasaditve, naklona in širine varovalnega pasu (Daniels and Gilliam, 1996; Gumiere in sod., 2011).

Dillaha in sod. (1989) so pokazali, da 4,6 m in 9,1 m pas, na naklonih med 5 in 16 % ter plitkem, enakomernem toku vode, odstraniti v povprečju 70 do 84 % suspendiranih snovi, 61 do 79 % fosforja, in 54 do 73 % dušika. Ob tem so opazili, da se učinkovitost zmanjša v primeru kanaliziranega toka ter s postopnim odlaganjem suspendiranih snovi v pasu. Večina suspendiranih snovi se zadrži v prvih metrih po dotoku v pas (Schmitt in sod., 1999; White in sod., 2007). Fox in sod. (2010) so ugotovili, da so pasovi bolj učinkoviti pri prestrezanju suspendiranih snovi, kadar so padavine enakomerne, kot kadar so koncentrirane.

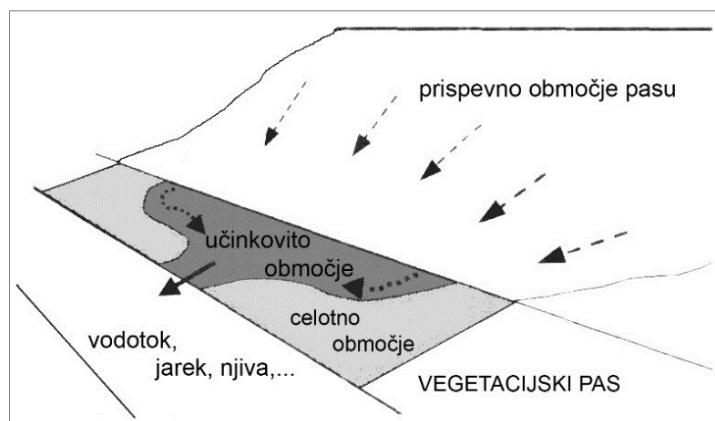


Slika 3: Vegetacijski varovalni pasovi (Waidler, 2009)

Figure 3: Vegetative filter strip (Waidler, 2009)

Dosskey in sod. (2011) so s simulacijo sedmih scenarijev pod različnimi lastnostmi območja pokazali, da imata največji vpliv na učinkovitost pasu tekstura tal in naklon pobočja, saj je od teh dejavnikov odvisen površinski odtok. Pri tem širina pasu določa zmožnost prestrežanja suspendiranih snovi in čas zadrževanja onesnaževal v tleh. Na pobočju z 2 % naklonom se je pri peščeno ilovnatih tleh ujelo 100 % suspendiranih snovi in le 35% pri meljasto glinenih tleh. Učinkovitost se je zmanjšala tudi s povečanim naklonom. Na meljasto glinenih tleh, z naklonom 2 %, se je ujelo 85 % suspendiranih snovi in le 20 %, če se je naklon povečal na 10 %. Do podobnih rezultatov so prišli Helmers in sod. (2005), kjer so na testnih poljih z žitom in travnatimi pasovi ter meljasto glinenih tleh, z naklonom 1 %, merili učinkovitost prestrežanja suspendiranih snovi in ugotovili, da je povprečna učinkovitost pasov 80 %. Gumiere in sod. (2011) so preverili 49 raziskav iz celega sveta iz katerih je razvidno, da se učinkovitost pasov pri pobočjih, z naklonom nad 10 %, povečuje s širino pasov, vendar ne v tolikšni meri, kot če se širina pasov povečuje na naklonih manjših od 10 %. Kar so potrdili tudi Patty in sod. (1997) z raziskavo v Franciji. Pokazale so se le majhne razlike v učinkovitosti prestrežanja med 6 in 18 m širokimi pasovi, na naklonih med 7 in 15 %. V 6 m pasu na naklonu s 15 %, se je zadržalo 91 % suspendiranih snovi, medtem, ko se je na 7 % naklonu, pri enaki širini, zadržalo 98,9 % suspendiranih snovi. Ob tem se poraja vprašanje o smiselnosti širjenja pasov, kadar želimo doseči največjo učinkovitost prestrežanja na vodozbirnem območju. Dosskey in sod. (2008) so namreč po pregledu literature ugotovili, da avtorji opažajo, kako se površinski odtok koncentrira na njivah in pogosto teče le skozi del vegetacijskega pasu. Terenske meritve ali modeliranja so potrdile,

da so pasovi bolj učinkoviti pri zadrževanju sedimenta in hranil, kadar tok prispe enakomerno in z zmanjšano hitrostjo po površini ter manj v primeru konvergence toka (Bach in sod., 1994; Daniels and Gilliam, 1996; Dosskey in sod., 2002; Dabney in sod., 2006). Glede na to, da je neenakomerna razporeditev toka vode zaradi morfologije površja in lastnosti tal v vodozbirnem območju nekaj običajnega, so v številnih študijah (Verstraeten in sod., 2006; Hay in sod., 2006; Dosskey in sod., 2002) ocenili, da se učinkovitost pasov pri zmanjšanju dotoka v površinsko vodno telo na nivoju vodozbirnega območja znatno zmanjša. Zato so nekateri avtorji (Dabney in sod., 2006; Blanco Canqui in sod., 2004) predlagali kombinacijo več metod, kot so ozki travnati pasovi na njivah med poljščinami, na robu njiv, zasaditve na robu jarkov, umeščanje suhih akumulacij izven območja njiv, kar upočasni in razprši dotok v pasove in s tem poveča učinkovitost varovalnih pasov. Pri načrtovanju pasov na nivoju vodozbirnega območja se je kot najbolj učinkovita izkazala metoda, ki temelji na razmerju med prispevnim območjem nad pasom ter učinkovitim območjem pasu (slika 4), saj so študije Mander in sod. (1997), Bren (1998) poročale o močni korelaciji med tem razmerjem ter prestrezanjem dušika in fosforja. Večje kot je bilop razmerje, slabša je bila učinkovitost. Dosskey in sod. (2002) so v svoji analizi razmerje zaradi ustrežnejše uporabe pri izračunih obrnili ter ga poimenovali koeficient varovalne površine (angl. buffer area ratio). White in Arnold (2009) sta s pomočjo VFSMOD modela preverjala učinek usmerjenosti pasu glede na vodozbirno površino in ugotovila, da ta ne vpliva bistveno na učinkovitost, ter s tem ponovno upravičila uporabo koeficienta varovalne površine ($DAFS_{ratio}$) pred širino pasu pri oceni učinkovitosti vegetacijskega pasu na nivoju porečja.



Slika 4: Prikaz razmerja med prispevnim območjem pasu in učinkovitim območjem pasu (prirejeno po Dosskey in sod., 2002)

Figure 4: Ratio of buffer area to field runoff area (based on Dosskey et al., 2002)

Rastline, ki jih uporabimo, imajo različno vlogo v varovanju tal. Trave s svojo gosto mrežo korenin varujejo tla pred površinsko erozijo. Zaradi hitre rasti nudijo gosto zaščitno odejo, ki se hitro obnavlja. Grmovja, kot nizkorastoče olesenele rastline, z več stebli pri tleh, sicer ne stabilizirajo tal v takšni meri kot drevesa, vendar jih je zaradi manjše višine lažje vzdrževati in nadzorovati. Kadar je potrebno okrepiti in zaščititi tla na strmejših pobočjih je

priporočljiva uporaba dreves, vendar le, če so tla globoka, saj lahko na plitkih tleh neurja hitro podrejo drevesa (Norris in sod., 2008).

2.6.3.2.2 Travnati odvodni jarki

V nasprotju z vegetacijskimi pasovi se travnate odvodne jarke umešča na območjih koncentriranega toka, saj zagotavljajo premeščanje koncentriranega toka z zmanjšano hitrostjo na območju obdelovalnih površin. Plitvi jarki, z naklonom brežin med 1:4 do največ 1:2 in širino dna, manjšo od 30 m, so poraščeni so z gosto, enakomerno travnato rušo, ki upočasni tok in zmanjša stopnjo jarkovne erozije (Waidler, 2009; NRCS-USDA, 2010). Učinkovitost jarkov so raziskovali le redki avtorji (Briggs et al., 1999; Chow et al., 1999; Fiener and Auerswald, 2003, 2005), katerih pristop je bil podoben tistim pri vegetacijskih varovalnih pasovih, v laboratoriju ali na testnih poljih. Chow in sod. (1999) so preverjali kombinacijo jarkov in teras s konvencionalno metodo obdelave pravokotno na plastnice na njivah s krompirjem in na ilovnatih tleh s povprečnim naklonom 6,4 %. Rezultati so pokazali, da se je letna izguba tal z vzpostavitvijo jarkov zmanjšala za 95 %, površinski odtok pa za 86 %. Fiener and Auerswald (2003) sta z meritvami v obdobju osmih let, ugotovila, da se je površinski odtok zmanjšal za 91 %, dotok suspendiranih snovi pa za 97 %. Kasneje sta avtorja Fiener and Auerswald (2003) z modeliranjem jarkov ugotovila, da imajo dolžina, plitek prerez in hidravlična hrapavost vegetacije glede na globino toka, največji vpliv na učinkovitost jarkov. Da ima dolžina jarka močan vpliv na učinkovitost, so z modeliranjem jarkov v vodozbornem območju reke Clear Creek (Iowa, ZDA) potrdili tudi Dermisis in sod. (2010), kjer se je učinkovitost jarkov povečevala z dolžino. Tako so 600 m dolgi jarki zagotovili največje zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi (65 %) in površinskega dotoka (18 %). Ob tem navajajo, da je učinkovitost jarkov največja na naklonih med 3 in 10 %. Fiener in Auerswald (2005) sicer opozarjata, da je lahko zaradi omejenih površin, kamor se lahko umešča jarke, visoka učinkovitost jarkov na nivoju vodozbornega območja zavajajoča. Na gričevnatem vodozbornem območju Lauterbach (DE) sta pokazala, da je le 2,3 % kmetijskih površin primernih za umestitev jarkov s katerimi bi v povprečju zmanjšali površinski odtok za 30 %, v zimskih mesecih pa le za 5 %.

2.6.3.2.3 Obrežni varovalni pasovi

Vegetacijski varovalni pasovi ob brežinah vodotokov ali stoječih voda (obrežni varovalni pasovi, angl. ali riparian buffer strips) so prav tako med najpogostejše uporabljenimi metodami za zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi in hranil v površinske vode. So mejni pasovi med kopenskim in vodnim ekosistemom, ki ne zagotavljajo le kakovosti vode, temveč varujejo brežine vodotoka pred erozijo in ohranjajo stabilen, zdrav ter funkcionalen vodni ekosistem (Sweeney in Newbold, 2014).

Obstaja relativno majhno število raziskav, ki bi preučevale obrežne pasove z gozdnato, heterogeno vegetacijo. Večina raziskav (Arora in sod., 2003; Daniels in Gilliam, 1996; Deletic in Fletcher, 2006; Gharabaghi in sod. 2006; Yuan in sod., 2009; Liu in sod., 2008; Zhang in sod., 2010) temelji na travnatih pasovih raziskovalnih polj, kjer je vodozbirno

območje nad pasom zelo majhno, padavine simulirane, površinski dotok enakomeren in dolgoročno zadrževanje suspendiranih snovi v pasu izvzeta. Sweeney in Newbold (2014) sta po pregledu raziskav ugotovila, da obstaja močna korelacija med odstranjevanjem suspendiranih snovi in širino pasu. Večina suspendiranih snovi je bila odstranjena v 20 m (78 %), medtem ko se pri 10 m širokem pasu v povprečju odstrani 65 % in pri 30 m pasu 85 % suspendiranih snovi. Čeprav je razlika med 10 in 30 m pasom le 20 %, dodatnih 20 m predstavlja bistven ekološki pomen, saj je ravno ta pomemben za usedanje manjših delcev melja in gline, ki se dalj časa premeščajo, težje usedejo (Daniels in Gilliam, 1996; Gharabaghi in sod., 2006) in precej prispevajo k onesnaženju vodnih teles. Alexander in sod. (2011) so po obširnem pregledu literature ugotovili, da je odstranjevanje sredstev za varstvo rastlin in fosforja močno povezano z zadrževanjem suspendiranih snovi v pasu. Dlje, ko se je zadržal sediment, večji delež sredstev za varstvo rastlin in fosforja se je zadržal. Da se manjši delci tal premeščajo dalj časa, so dokazale študije (Cooper in sod., 1987; Lowrance in sod., 1988), ko so glineni delci, označeni s cezijem (^{137}Cs) potovali med 80 in 100 m globoko v obrežni pas gozda. Kako 30 m travnati vegetacijski pas vpliva na koncentracijo suspendiranih snovi v vodotoku Pang Khum (severna Tajska) med padavinskimi dogodki, so spremljali Ziegler in sod. (2006). Ugotovili so, da so se količine suspendiranih snovi v vodotoku med obdobjem monsunov zmanjšale za 33 do 87 %. Sicer je širina pasu odvisna od lastnosti območja, kamor ga umeščamo, zato bi bilo potrebno obseg definirati za vsako območje posebej. Tip vegetacije pri tem ni tako pomemben, saj so nedavne študije (Momm in sod., 2014; Sweeney in Newbold, 2014) pokazale, da se učinkovitost pasov pri zadrževanju suspendiranih snovi ne spreminja bistveno glede na tip vegetacije (gozd oziroma trava). Večjo vlogo ima obrežna vegetacija pri zmanjševanju erozije brežin. Erozijska je na območjih brez obrežne vegetacije lahko do 30-krat večja kot na območjih z obrežno vegetacijo (Beeson in Doyle, 1996). Tudi Miller in sod. (2014) ugotavljajo, da brežine vodotokov predstavljajo precejšen vir fosforja v vodi, ki se v območjih z obrežno vegetacijo zmanjša. Vpliv vegetacije je največji, kadar je razmerje med globino korenin in globino struge takšno, da se korenine raztezajo do vznožja brežin, saj se sicer poveča erodibilnost tal na brežinah (Anderson in sod., 2004; Allmendinger in sod., 2005). Vpliv različnih tipov vegetacije na erozijo brežin so spremljali Zaimes in sod. (2006) na 10 km odseku reke Bear Creek (ZDA). Ugotovili so, da ima pašnik največjo stopnjo erozije, sledi travnik in 10 m obrežni pas gozda, kjer je bila erozija najmanjša. Ocenili so, da bi se erozija brežin in sproščanje suspendiranih snovi z vzpostavitvijo obrežnega pasu gozda zmanjšala za 77 – 97%. Za največjo stopnjo učinkovitosti Agencija za varstvo naravnih virov ministrstva za kmetijstvo ZDA v navodilih za načrtovanje obrežnih pasov (NRCS-USA, 2010) predlaga načrtovanje vsaj dveh con: prvo, široko najmanj 4,5 m, z eno vrsto dreves in/ali grmovnic in drugo, široko najmanj 6 m in sestavljena iz grmovnic in dreves. V kolikor obrežni pas meji neposredno na obdelovalne površine, se vzpostavi tretja cona, v skladu s standardom za načrtovanje vegetacijskega varovalnega pasu. Verstraeten in sod. (2006) so na podlagi modela WATEM/SEDEM ugotovili, da je učinkovitost travnatih varovalnih pasov ob reki na testnem polju 70 % in se zmanjšuje z velikostjo prispevnih površin. Na vodozbirnem

območju z 51,7 km² je padla na 21 % in na vodozbirnem območju s površino 13.599 km² na 17 %. Na zmanjšano učinkovitost na nivoju vodozbirnega območja, ob konvergenci površinskega odtoka, vpliva tudi konvergenca odtoka mimo pasu skozi jarke, kanale in druge linearne elemente (Gumiere in sod., 2011; Verstraeten in sod., 2006).

Lee in sod. (2003) so spremljali vpliv obrežnega pasu na zmanjšanje suspendiranih snovi, dušika in fosforja na treh merilni poljih (brez pasu, pas trave (*Panicum virgatum* L. cv. Caven-Rock) in travnato-gozdni pas). Travnati pas je odstranil 95 % suspendiranih snovi, 80 % skupnega dušika in 78 % celotnega fosforja, travnato gozdni pas je odstranil 97% suspendiranih snovi, 94 % skupnega dušika in 91 % celotnega fosforja iz površinskega odtoka. S tem, ko so k 7 m širokemu pasu trave dodali 16,3 m širok travnato-gozdni pas, se je učinkovitost prestrežanja topnih hranil povečala za 20 %.

2.6.3.2.4 Terasiranje pobočij

Terase so niz vzporednih ploskev na pobočju, ki zmanjšujejo erozijo in površinski odtok s krajšanjem dolžine pobočja in zadrževanjem vode v tleh. Vzpostavljanje je smiselno, kjer lastnosti tal in topografija to dopuščata. Organizacija združenih narodov za hrano in kmetijstvo (FAO) predlaga gradnjo teras na naklonih nad 7-12 %, na manjših naklonih se vzdržujejo naravne in široke terase. Oblika in načrtovanje teras je ob naravno-geografskih lastnostih območja odvisna še od namena (stabilizacija pobočij, pašnik, njiva, vinograd, sadovnjak, nasad oljk) in načina obdelave tal (ročno ali strojno). Morgan (2005) jih je razvrstil glede na obliko prečnega prereza v tri glavne tipe: preusmeritvene, zadrževalne in polične terase, od katerih ima vsaka še vrsto podtipov glede obdelavo tal. Preusmeritve in zadrževalne terase niso namenjene kmetovanju, temveč preusmerjanju in zadrževanju vode in se vzpostavljajo na naklonih manjših od 12 oziroma 7 %. Izvedba in učinek teh vrst teras je zelo podobna travnatim odvodnim jarkom, grebenom in obdelavi tal vzporedno s plastnicami. Terasa na strmih pobočjih (polične terase) imajo brežino pokrito z rušo ali grmovnicami, primernimi za stabilizacijo brežin. Zaradi zahtevnejšega vzdrževanja in višjih stroškov vzpostavitve je ta metoda pri kmetih pogosto nezaželena, zato je za zagotavljanje učinkovitega sistema teras potrebno upoštevati mehanizacijo kmetijskega gospodarstva in z načrtovanjem v največji meri zmanjšati izgubo uporabne površine (Morgan, 2005). Kljub vsemu sodijo terase med najstarejše in široko uporabne metode za zadrževanje vode in preprečevanje erozije po vsem svetu (Dorren in Rey, 2004; Norris in sod., 2008). Posthumus in DeGraaf (2012) sta z raziskavo na strmih pobočjih Andov ugotovila, da se s terasami ohranjajo rodovitna tla. Hkrati se pridelek poveča za 50 % in obseg površin, primernih za obdelavo, za 20 do 40 %. Na vodozbirnem peščeno glinenem gričevnatem vodozbirnem območju (povprečen naklon 5 %) reke Saint John River (Kanada) je gojenje krompirja v brazdah vzporedno s plastnicami, v kombinaciji s terasami, povečalo vlago v tleh ter zmanjšalo izgubo tal iz 20 t/ha/leto na 1 t/ha/leto (Chow in sod., 1999). Kasneje so na območju s podobnimi lastnostmi, 20 km oddaljenem Black Brook, Yang in sod. (2009) z

modeliranjem (SWAT) pokazali, da bi z uporabo teras letno zmanjšali dotok suspendiranih snovi za 4 t/ha in vode za 158 mm, kar pomeni da bi se izguba vode zmanjšala za 20 % in suspendiranih snovi za 56 %. Na testnih poljih raziskovalnega centra Jiangxi (J Kitajska) z naklonom 21 % so se med najbolj učinkovitimi izkazale terase, kjer so na terasni ploskvi zasajena drevesa pomarančevcev, brežina pokrita s travno rušo in na robu terasne ploskve oblikovan rob (Li in sod., 2011). Tako načrtovane terase lahko zmanjšajo izgubo tal za 99 %. Najmanj so dotok suspendiranih snovi preprečile terase, kjer so tla med drevesi in na brežinah pustli brez ozelenitve. Zhang in Li (2014) sta s sledenjem ^{137}Cs na 500 m dolgem terasiranem pobočju, z naklonom med 5,2 do 17,9 %, pokazala, da je erozija v povprečju za 16 % manjša kot na pobočju brez teras.

2.6.3.2.5 Sedimentacijski bazen

Sedimentacijski bazeni so začasni suhi zadrževalniki vode, mulde, plitke jame ali obstoječe udorine, ki zadržujejo površinski odtok in omogočajo usedanje erodiranih tal. Oblikujejo se ob vznožju kmetijskih zemljišč z izkopom, z izgradnjo jezu ali s kombinacijo obeh, najpogosteje na degradiranih območjih, opuščenih gradbiščih in dnevnih kopih, jarkih vse do obnove in zasaditve območja s primerno vegetacijo. Za uspešno delovanje sta potrebna redno odstranjevanje sedimenta in košnja. Najpogosteje se umešča v kombinaciji z drugimi ukrepi, kot so načrtovanje obnove kritičnih območij in elementi za varovanje kakovosti voda (NRCS-USDA, 2012).

Braskerud (2002) je na Norveškem raziskoval vpliv sedmih mokrišč s površino med 265 in 900 m² ob vodokih prvega in drugega reda na zadrževanje suspendiranih snovi, organskih snovi in fosforja. Ugotovil je, da lahko letno zadržijo med 45 - 75 % vnesenih zemljin. Zadrževalna sposobnost se je povečala s povečanim površinskim odtokom, saj se je takrat povečal vnos večjih delcev. Za povečanje učinkovitosti predlaga, da se globina vzdržuje med 0,0 in 0,5 m. Hidravlična učinkovitost se lahko poveča z makrofiti, večjimi kamni na dotoku in vodoprepustnimi nizkimi pregradami na dotoku v bazen. Vegetacija namreč skrajša pot odlaganja delcev in zmanjša resuspenzijo v času padavinskih dogodkov. Podobno je za povečanje učinkovitosti predlagal Iqbal in sod. (2003) in sicer z oblikovanjem travnatega pasu pred dotokom v bazen, saj se s tem zmanjša površinski odtok. Čeprav se učinkovitost povečuje z velikostjo bazena, zaradi stroškov izgradnje in vzdrževanja bazeni, ki presegajo 0,02 % prispevne površine niso priporočljivi. Vpliv sedimentacijskih bazenov na zmanjšanje količine suspendiranih snovi v vodotoku so Mitch in sod. (2014) spremljali na zgrajenih mokriščih ob reki Olentangy (ZDA), kjer so s črpanjem speljali vodo iz reke do dveh mokrišč (načrtno zasajena in naravno, sukcesivno zasajena vegetacija). Rezultati so pokazali, da se v mokriščih zadrži od 62 – 65 % suspendiranih snovi, od tega večina pri dotoku v mokrišče. Vrednosti so nihale glede na letni čas in glede na velikost vodne površine. Kakovost zasaditve na učinkovitost ni imela večjega vpliva, medtem ko so sesalci in ptice z brskanjem po mokriščih učinkovitost zmanjševale.

2.6.3.2.6 Zaščita brežin vodotoka

Zaščita brežin temelji na uporabi vegetacije, kamnitih in skalnatih oblog ter drugih materialov, s katerimi lahko na sonaraven način utrdimo brežine pred erozijo. Pri načrtovanju je potrebno upoštevati možne spremembe v hidrologiji vodozbirnega območja in trajnosti izvedenega posega. Obstajajo številni načini sonaravne utrditve brežin vodotokov in stoječih voda, ki se v Evropi izvajajo v skladu z DIN standardi (18917, 18918, 19657, 19661-2 in 4044). V Ameriki se postopki saditve, sejanja, priprave zemljišča, nadzor nad rastjo, nega in vzdrževanje izvajajo v skladu s standardi 380TPP, NE CPA-15, NE CPA-15B, 314 DP, 666 DP in 380 DP ter z navodili (Field Office Technical Guide), ki jih je pripravila Agencija za varstvo naravnih virov ministrstva za kmetijstvo Združenih držav Amerike (NRCS-USDA). Večina obstoječih študij in raziskav je preučevala vpliv vegetacije na nihanja vodne gladine, hitrost vodnega toka, morfologijo struge, vodni habitat in biodiverzitetu. Curran in Hession (2013) sta preverila interakcijo in odvisnost med vegetacijo in rečnim sistemom, da bi dognala hidravliko in dinamiko suspendiranih snovi na območjih z vegetacijo ob in v strugi. Ugotovila sta, da zaradi neraziskanih mešalnih procesov in turbulenc, ki se ustvarjajo med poraščenimi in neporaščenimi deli struge, ni mogoče odpraviti napak v modelih in da bi bilo v prihodnje potrebno podrobneje preučiti biomehaniko rastlin, ki se spreminja glede na vrsto rastlin, gostoto, starost, sezono, premeščanje in odlaganje suspendiranih snovi v strugi vodotoka. Perignon in sod. (2013) so opazovali posledice odstranjene vegetacije. Na območjih, kjer je bila odstranjena, se je povečala erozija brežin, struga reke Rio Puerco (ZDA) se je širila in erodiran sediment se je odlagal dolvodno po strugi, kjer vegetacija ni bila odstranjena. O vplivu utrditve brežin na zmanjšanje erozije obstaja le malo kvantitativnih raziskav in rezultatov. Simon in sod. (2009) so s pomočjo modela BSTEM (Bank-Stability and Toe-Erosion Model) preverjali vpliv utrditve brežin na zmanjšanje erozije. Kamnomet na vznožju brežin je v povprečju zmanjšal erozijo za 87 %. Zmanjšalo se tudi število rušitev brežin, zaradi ohranjanja vznožja, ki je v obdobju pred zaščito prispevala dobrih 95 % celotne količine suspendiranih snovi v merjenih, močno erozivnih odsekih rek Upper Truckee, Black Wood Creek in Ward (ZDA). S pomočjo modela SWAT so Tuppard in sod. (2010) ugotovili, da bi utrditev brežin zmanjšala količino suspendiranih snovi v reki Bosque River pred izlivom v jezero Taco za 34,6 %. V vodozbirnem območju reke Avoca (Avstralija) so Vigiak in sod. (2010) pokazali, da bi z obnovo brežin lahko zmanjšali količino suspendiranih snovi za 14 %. V preglednici 4 so opisani ukrepi, lastnosti območja in njihova učinkovitost na zmanjšanje prenosa suspendiranih snovi.

Preglednica 4: Pregled opisanih negradbenih in gradbenih ukrepov na kmetijskih površinah in ob vodotokih
Table 4: An overview of non-structural and structural measures on agricultural land and along streams

UKREP	VODOZBIRNO OBMOČJE	ZMANJŠANJE PRENOSA SUSPENIRANIH SNOVI (%)	OPIS UKREPA	LITERATURA
Ozelenitev kmetijskih površin	Kmetija Santa Marta (J Španija); peščeno glinena tla, nasad oljk, 80 x 60 m; naklon: 11 %	13,6	Medvrstna ozelenitev	Gomez in sod. (2009)
	8 kmetij v vodozbirnem območju Setenil (J Španija); peščeno glinena tla, nasad oljk; naklon: 10 %	76	Medvrstna ozelenitev	Espejo-Perez in sod. (2013)
		64	Medvrstna ozelenitev z ljulko	
	Winfred kmetijski raziskovalni center (ZDA); 21,3 x 7,6 m polja; drevesni nasadi; meljasto-glinena tla, naklon: 2 - 6 %	61	Medvrstna ozelenitev z inkarnatko	Malik in sod. (2000)
		61	Medvrstna ozelenitev z deteljo <i>Lespedeza cuneata</i>	
		37	Medvrstna ozelenitev s trstikasto biljnico	
Kolobarjenje	Sanborn poskusno polje (Missouri, ZDA); 36 x 16,1m meljasto glinena tla; naklon: 4°	13,6	Koruza-pšenica-detelja	Gantzer in sod., 1990
	Poskusna polja 3,6 x 90 m in 3,6x40m (Zemaicia, Z Litva); peščeno glinena tla; naklon 2 -14°	75 - 80	Travnatno-žitni kolobar (< 50 % trav)	Jankauskas in sod. (2004)
Ohranitvena obdelava tal		77	Zmanjšana obdelava (<30% tal pokritih z ostanki rastlin)	
	Njive; Osrednja Švica; povprečna velikost 1,3 ha; peščeno glinena tla	94	Mulčenje, plitko podoravanje ostankov (>30 %)	Prasuhn (2012)
		90	Brez oranja	
	Prispevne površine (0,45 - 0,79 ha) v poskusnih območjih severnih Apalačev (NAEW- ZDA); naklon: 6 – 13 %	24,8	Brez oranja glede na plitko oranje	Shipitalo in sod. (2013)
Obdelava tal vzporedno s plastnicami	Loddington (Centralna Anglija); 67 x 12m; glinena tla; pšenica in oves; pobočje 2-6°	72,2	V primerjavi z obdelavo pravokotno na plastnice	Stevens in sod. (2009)
	Kmetija Bedfordshire (Vel. Britanija); peščena tla; naklon: 7 - 13%	72,6 - 75,9	V primerjavi z obdelavo pravokotno na plastnice	Quinton in Catt (2004)
	Sichuan (Kitajska); regosol; naklon: 4 - 48%	84 - 77	Stopnja erozije	Zhang in sod. (2004)

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice 4

UKREP	VODOZBIRNO OBMOČJE	ZMANJŠANJE PRENOSA SUSPENDIRANIH SNOVI (%)	OPIS UKREPA	LITERATURA
Vegetacijski varovalni pasovi	Raziskovalna kmetija Prices Fork (ZDA); 5,5 x 18,3 m; meljasto glinena tla; naklon: 5 - 16 %	70	4,6m varovalni pas	Dillaha in sod. (1989)
		84	9,1m varovalni pas	
	Peščeno meljasta tla, naklon: 2 %	100		
	Peščeno meljasta tla, naklon: 10 %	45 - 60	Koeficient varovalne površine 0,02 – 0,15	Dosskey in sod. (2011)
	Meljasto glinena tla, naklon: 2 %	35 - 90		
	Meljasto glinena tla, naklon: 10 %	10 - 25		
	Clear Creek Buffer (ZDA); žitna polja; meljasto glinena tla, naklon: 1 %	80	Travnati pasovi	Helmerts in sod. (2005)
	Raziskovalne kmetije (Francija); naklon: 15 %	91	6 m travnati varovalni pas	Patty in sod. (1997)
	Raziskovalne kmetije (Francija); naklon: 7 %	98,9		
Travnati odvodni jarki	Njive s krompirjem in na ilovnata tla z naklonom 6%	95	Kombinacija jarkov in teras s konvencionalno metodo obdelave pravokotno na plastnice	Chow in sod. (1999)
	Testno območje München (FAM, Nemčija); 23 ha; meljasto glinena tla; gričevnata krajina	97	Neobdelani jarki široki 22 - 48m, dolgi 29 0m	Fiener in Auerwald (2003)
		77	Pokošeni jarki 10 do 25 m široki, 370 m dolgi	
	Clear Creek (Iowa, ZDA); meljasto glinena tla; naklon: 4 %	65	Dolžina jarka 600 m	Dermis in sod. (2010)
Obrežni blažilni pasovi	Vodotok Pang Khum (severna Tajska); 2,5 ha	34 – 87	30 m širok pas	Ziegler in sod. (2006)
	10km odsek reke Bear Creek (ZDA); aluvialna tla; naklon: 0 – 11 %	77 do 97	Obrežni pas gozda; zmanjša erozijo brežin in sediment v reki	Zaimes in sod. (2006)
	Testna polja; 4,1 x 22,1 m kmetija na območju Bear Creek (ZDA)	95	7,1 m širok travnati pas 16,3 m travnato gozdni pas	Lee in sod. (2003)
		97		
	Aluvialna ravnica poskusno polje 180 x 80 m (Belgija) naklon: 5-9 %	70		
	Prispevna območja (Belgija) 23,2, 17,2 in 11,2 km ² ; luvisol	21	20m širok travnati varovalni pas ob reki	Verstraeten in sod. (2006)
	Vodozbirno območje Flandrija (Belgija) 13599 km ² ; naklon: 2-15 %; peščena tla na ravnici, na strminah luvisol	17		

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice 4

UKREP	VODOZBIRNO OBMOČJE	ZMANJŠANJE PRENOSA SUSPENDIRANIH SNOVI (%)	OPIS UKREPA	LITERATURA
Terasa	Dolina reke Saint John (Kanada); 6,7 ha; naklon: 2-14% (povprečje 6,4 %); podzol	95	Preusmeritvene terase	Chow in sod. (1999)
	Jiangxi (J Kitajska); 5 testnih polj 20x5 m; sadovnjak z različno zasaditvijo brežin in terasnih ploskev; naklon: 21 %; rdeča prst	99	Terasa z zasaditvijo brežin, terasne ploskve in dvignjenim robom terasne ploskve	Li in sod. (2011)
	Vodozbirno območje Dingjiagou (Kitajska); naklon: 5,2-17,6 %	16	Terasa s sojo ali koruzo	Zhang in Li (2014)
Sedimentacijski bazen	J Norveška; mokrišča ob reki predstavljajo 0,03-0,4 % prispevnih površin	45-75	Mokrišča s površino med 265-900 m ²	Braskerud (2002)
	Reka Olentangy (ZDA)	62-65	Načrtovana mokrišča z dotokom vode iz reke	Mitsch in sod. (2014)
Zaščita brežin	Reka Bosque pred izlivom v jezero Taco	35	Utrditev brežin	Tuppad in sod. (2010)
	Vodozbirno območje reke Avoca, Avstralija	14	Obnova brežin	Vigiak in sod. (2010)

2.6.3.3 Modeliranje ERM ukrepov s SWAT

Simulacije hipotetičnih scenarijev s SWAT so se izkazale kot učinkovit način pri ocenjevanju vpliva spremenjenega načina obdelave tal, dejanske rabe ali gradbenih ukrepov za doseganje dobrega ekološkega stanja vodnih teles. V nadaljevanju so podane raziskave s področja modeliranja metod za zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi v vodna telesa. Rezultati opisanih raziskav po posameznih metodah so povzeti v preglednici 5.

Rezultati modeliranja s SWAT na območju reke Rock River (Wisconsin, ZDA) so pokazali, da bi lahko ohranitvena obdelava tal zmanjšala dotok suspendiranih snovi za 20 % ter dotok fosforja za 40 % če bi upoštevali še dodatne ukrepe, vezane na zmanjšan vnos hranil in nadzor nad točkovnimi viri (Kirsch in sod., 2002). Santhi in sod. (2003) so med drugim simulirali pokritost tal, ki so jo vključili v kolobarjenje, obdelavo tal vzporedno s plastnicami in obnovo slabo vzdrževanih travnikov. Na nivoju kmetije so se sediment in hranila zaradi ukrepov na letni ravni zmanjšali tudi do 99 %, medtem, ko je bil učinek na nivoju porečja komaj zaznaven (1 - 2 %), saj so površine z uporabljenimi ukrepi predstavljala le 1 % celotne površine vodozbirnega območja. Med omenjenimi metodami je na nivoju kmetije največji učinek k zmanjšanju suspendiranih snovi prispevala metoda obnove travnikov (97 – 98 %), sledila je obdelava tal vzporedno s plastnicami (84 - 86 %) in pokritost tal (29 – 41 %). Avtorji opozarjajo, da učinkovitosti načrtovanih metod ni mogoče zaznati takoj po izvedbi,

prav tako je njihova popolna učinkovitost časovno omejena, v kolikor se ne vzdržujejo. Dolgoročne spremembe (~ 20 let) učinkovitosti izvedenih metod so s pomočjo modela SWAT preučevali Bracmort in sod. (2006) na vodozbirnih območjih Smith-Fry in Dreisbach v porečju Black Creek (ZDA). Modelirane metode (varovalni pasovi na robu njiv, zatravljeni jarki, terase in pragovi na jarkih) bi v dobrem stanju zmanjšali dotok suspendiranih snovi za skoraj 3-krat več (24 - 32 %) kot če bi bili v slabem stanju (10%). Rezultati omenjajo učinkovitost vseh izvedenih metod hkrati in ne vsake posebej.

Mishra in sod. (2007) so preučevali manjše pregrade (~ 6 m) na reki Banha (India) in ugotovili, da lahko zmanjšajo letni dotok suspendiranih snovi iz vodozbirnega območja med 53 do 64 % v odvisnosti od količine padavin. Največ suspendiranih snovi je bilo prestreženega v obdobju z najmanj padavinami, z daljšimi obdobji med padavinskimi dogodki. Arabi in sod. (2007) so na majhnem vodozbirnem območju Smith Fry (ZDA) preverjali vpliv številnih metod glede na njihovo delovanje (vzporedna obdelava tal s plastnicami, terase, ostanki rastlin, kolobarjenje, ozelenitev kmetijskih površin, varovalni pasovi, zatravljeni jarki, pragovi v kanalih in strugah). Kolobarjenje pri tem ni vplivalo na zmanjšanje suspendiranih snovi in hranil, je pa za 40 % zmanjšalo količino atrazina. Največji vpliv na zmanjšanje suspendiranih snovi so imele terase (15 %) in 5 m široki vegetacijski pasovi (3 %), pri tem se je učinkovitost pasov povečevala s širitvijo pasov. Čeprav so bili rezultati za vegetacijske pasove na robu njiv in vegetacijske pasove ob vznožju njiv enako učinkoviti, so vegetacijski pasovi ob vznožju njiv učinkovitejši glede na enoto površine zemljišča. Ohranitvena obdelava tal in puščanje rastlinskih ostankov na njivah so pripomogli k zmanjšanju tal glede na količino biomase ostankov. Pri 500 kg/ha ostankov se je dotok suspendiranih snovi zmanjšal za 7 %, pri 1000 kg/ha za 10 % in pri 2000 kg/ha za 15 %. Zatravljeni jarki so bili modelirani na vodozbirnih območjih z manj kot 15 ha ob vodotokih 1. razreda in niso pripomogli k zmanjšanju dotoka suspendiranih snovi. Najverjetneje zaradi večjih strmin in intenzivnejšega površinskega toka. Do 74 % so dotok suspendiranih snovi zmanjšali 1,2 m visoki pragovi umeščeni v kanale in strugo na območjih vodotokov 4. razreda.

Avtorji (Arabi in sod., 2007) so predlagali standardiziran pristop z neposredno spremembo parametrov za modeliranje teh metod. Z analizo senzibilnosti so ugotovili, da so pri modeliranju metod za zmanjšanje suspendiranih snovi najbolj senzibilni krivulja odtoka (CN: 2,39), Manningov koeficient hrapavosti (CH_N2: 0,75), koeficient premeščanja suspendiranih snovi (SPCON: 0,67), USLE faktor erozivnosti (USLE_K: 0,50) in USLE faktor operacij (USLE_P: 0,49). Standardiziran pristop bi lahko zmanjšal subjektivne ocene uporabnikov modela, vendar je, kot ocenjujejo Gassman in sod. (2007), trenutno omejen zaradi nepovezanosti med HOE. Vpliv parametrov na modeliranje varstvenih ukrepov s SWAT sta prav tako preverjala Ulrich in Volk (2009) na vodozbirnem območju Parthe (osrednja Nemčija) in ugotovila, da sta trajanje vegetacijske dobe in pokritost tal najbolj senzibilna. Hkrati sta ugotovila, da na zmanjšanje suspendiranih snovi bolj vplivajo žitarice, sajene spomladi, kot prezimna žita. V primerjavi z osnovnim scenarijem se je količina suspendiranih snovi pri scenariju ohranitvene rabe tal in obdelavi tal s plastnicami zmanjšala

za 40 %, ohranitveni rabi tal in 2 m širokimi vegetacijskimi pasovi za 45 % in z uporabo vseh metod hkrati za 67 %.

Čeprav so vegetacijski pasovi najpogosteje uporabljena metoda, je njihova širina še vedno predmet raziskav. Da bi povečala zmogčnost modela SWAT pri ocenjevanju učinkovitosti vegetacijskih pasov na nivoju porečja, sta White in Arnold (2009) predlagala uporabo koeficienta varovalne površine ($DAFS_{ratio}$), ki opisuje razmerje med velikostjo prispevne površine in površino vegetacijskega pasu (podrobnejša obrazložitev pasov v poglavju: 3.2.3.1 – Vegetacijski varovalni pasovi). Na poskusnem območju okrajev Ada in Shawnee (ZDA) z nakloni do 3.6 %, sta ugotovila, da glinena tla in večja intenziteta padavin zmanjšata učinkovitost. Sicer so pasovi pri $DAFS_{ratio}$ 40 (1 m² pasu prejme dotok iz 40 m² prispevne površine), DF_{con} 0,5 (10 % pasu prejme 50 % površinskega odtoka) v povprečju prestregli med 73 % suspendiranih snovi v površinskem odtoku. Tuppad in sod. (2010) so v vodozbirnem območju reke Bosque River (ZDA) ocenili učinkovitost vsake metode glede na HOE, porečje in podpovodje in kot številni drugi avtorji ugotovili, da so bile metode učinkovitejše na nivoju podpovodij in HOE. Dotok suspendiranih snovi v jezero Waco se je, glede na metodo, zmanjšal med 3 in 37%. Od najbolj do najmanj učinkovite si sledijo (pragovi na kanalih 37,2 %, zaščita brežin 34,6 %, terase 17,2 %, obdelava tal po plastnicah 10 %, vegetacijski pasovi 9,4 %, ohranitvena obdelava tal 3 %).

Na ravninskem vodozbirnem območju reke Kielstau (DE) z dobro prepustnimi tlemi so Lam in sod. (2011) ugotovili, da je dotok suspendiranih snovi iz prispevnih površin zanemarljiv (28 %) glede na sediment, ki ga prispeva erozija brežin vodotoka (72 %). Ohranitvena raba tal je zmanjšala povprečni letni dotok suspendiranih snovi za 4,5 % in varovalni pasovi na robu njiv za 4,9 %. S spremembo števila glav živine iz 2,1 na 1,1 na 1 ha se je dotok suspendiranih snovi zmanjšal za 3,9 %, s kombinacijo vseh metod hkrati pa za 11,9 %. Ukrepi so bili učinkovitejši pri zmanjšanju dotoka dušikovih spojin, kar avtorji pripisujejo krajini na ravnini. Kombinacijo dveh metod so modelirali tudi Moriasi in sod. (2011) na vodozbirnem območju akumulacije Crowder Lake (ZDA). Uporabo različnih metod po podpovodjih glede na prevladujoč problem so raziskovali Rocha in sod. (2012). Za podpovodja, kjer so prevladovali pašniki in manjše poljščine, so modelirali obdelavo tal po plastnicah, ohranitveno obdelavo tal, nadzor nad obdobji brez živine na pašnikih, kolobarjenje, zasaditve med poljščinami in terasiranjem. S tem se je površinski odtok vode zmanjšal za 18 % in dotok suspendiranih snovi za 66 %. Rezultatov za posamezno metodo ne navajajo. S kombinacijo obrežnih pasov in travnatih varovalnih pasov na robu njiv in se je povprečni letni dotok suspendiranih snovi zmanjšal za 73 %, medtem ko se je pri travnatih pasovih za 72 % in pri obrežnih za 68%. Rousseau in sod. (2013) so pokazali, da se učinkovitost obrežnih pasov povečuje s širino: količina suspendiranih snovi v površinskem odtoku se je z 1 m širokim pasom zmanjšala za 37%, s 3 m širokim pasom za 51 % in za 59% pri 5 m širokem pasu. S spremembo njiv v ekstenzivne travnike se je količina suspendiranih snovi zmanjšala za 58 % in za 8 % z ohranitveno obdelavo tal (no-till). Kljub občutnemu zmanjšanju v dotoku, se je količina suspendiranih snovi v reki Beaurivage

(Kanada, CA) zmanjšala za 10 % pri 1 m širokem pasu, za 13 % pri 3 m široke pasu, za 15 % pri 5 m pasu in za 16 % s spremembo rabe v travnike. Ohranitvena raba tal v ni pokazala sprememb.

Strauch in sod. (2013) so v vodozbirnem območju reke Pipiripau river (Brazilija, BRA) modelirali učinek obnove teras, izvedbe sedimentacijskih bazenov ob cestah in kolobarjenja. Scenariji obnove teras so obsegali obnovo na 25 % kmetijskih zemljišč, 50, 75 in 100 % (TER25, TER50, TER75 in TER100). Prav tako so predvideli izvedbo 10, 0,75, 0,50 in 0,25 sedimentacijskih bazenov na 1 km cestnega odseka (BAR100, BAR0.75, BAR0.50 in BAR0.25) in delež kmetijskih zemljišč, na katerih se je izvajalo kolobarjenje (ROT5, ROT10, ROT25 in ROT50). Največji učinek na zmanjšanje suspendiranih snovi bi bil dosežen z obnovo teras TER100 (31 %), sledili bi sedimentacijski bazeni BAR100 (21,74 %) in ROT50 (20,73 %). Vrednosti ostalih scenarijev se postopno zmanjšujejo. V povprečju najmanj prispeva kolobarjenje, sledijo sedimentacijski bazeni in nato terase. Z uporabo obeh najbolj učinkovitih metod hkrati (BAR100 in TER100) bi dosegli za 40 % nižje količine suspendiranih snovi. Ob tem se učinkovitost bazenov zmanjša, saj so izvedeni za prvo bariero, tj. terasami, ki višje po pobočju prestrežejo določeno količino suspendiranih snovi, ki bi jo sicer bazeni. Učinkovitost teras so modelirali tudi Yang in sod. (2009) in ugotovili, da bi s terasami za preusmerjanje toka na vodozbirnem območju Black Brook (CA) zmanjšali dotok suspendiranih snovi za 56 %. Betrie in sod. (2011) so na plitkih tleh vzhodnega dela vodozbirnega območja reke Nil preverjali vpliv teras, varovalnih pasov in pogozditev površin na zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi in ugotovili, da se učinkovitost pasov in teras povečuje na naklonih, manjših od 20 %. Največji učinek (46 – 77%) je imela pogozditev, sledili so vegetacijski pasovi (29 – 68 %) in terase (9 – 69 %).

Z modeliranjem več različnih ukrepov v vodozbirnem območju jezera Lake Erie (ZDA), so Bosch in sod. (2013) ugotovili, da je ozelenitev tal med vsemi posameznimi ukrepi največ prispevala k zmanjšanju dotoka suspendiranih snovi (28 %) medtem, ko je kombinacija ukrepov dotok zmanjšala za 43 %. Tudi številni drugi avtorji navajajo, da je na nivoju porečja oz. vodozbirnega območja za doseganje dobrega ekološkega stanja, smiselna uporaba več ukrepov hkrati, saj je prostor vodozbirnega območja glede na lastnosti tal, topografijo in rabo tal zelo heterogen (Strauch in sod., 2013; Kaini in sod., 2012; Rocha in sod., 2012; Lam in sod., 2011; Narasimhan in sod., 2007; Dabney in sod., 2006).

Preglednica 5: Rezultati modeliranja ERM ukrepov z modelom SWAT
Table 5: Results of modeling ERM measures with SWAT

UKREP	VODOZBIRNO OBMOČJE	ZMANJŠANJE PRENOSA SUSPENDIRAN IH SNOVI (%)	UPORABLJ. PARAMETRI; OPIS METODE	LITERATURA
Ohranitvena obdelava tal	Jackson Creek in Yahara River (Windsor; ZDA); 23,2 in 190 km ²	20		Kirsch in sod., 2002
	Bosque river (ZDA); 4282 km ² meljasto-glinena do ilovnata tla gričevnata krajina	3	EFFMIX: 0,25	Tuppad in sod., 2010
	Kielstau (DE); 50 km ² , ravnina, mešana tla	4,5		Lam in sod., 2011
	Beaurivage (CA); 718 km ² peščeno-glinena do glineno-ilovnata tla: ravninska do gričevnata krajina	8		Rousseau in sod., 2013
Pokritost tal z ostanki	Kmetija (ZDA)	29-41		Santhi in sod. (2003)
	Smith Fry (ZDA); 7,3 km ² tla tipa C*	7-15	CH_N2: 0.75; 500-2000 kg/ha rastlinskih ostankov	Arabi in sod., 2007
Kolobarjenje	Pipiripau river (BRA); 235 km ² gričevnata krajina	20,73		Strauch in sod., 2013
Ozelenitev kmetijskih površin	Smith Fry (ZDA); 7,3 km ² tla tipa C*	3		Arabi in sod., 2007
	Maumee - Lake Erie (ZDA); 17030 km ²	28		Bosch in sod., 2013
Obdelava tal vzporedno s plastnicami	kmetija	84-86	USLE P: 0.2	Santhi in sod. (2003)
	Smith Fry (ZDA); 7,3 km ² tla tipa C*	5	C: zmanjšanje za 3 enote	Arabi in sod., 2007
	Parthe (DE); 315 km ² ravnina	40	vključno z ohranitveno obdelavo tal	Ulrich in Volk, 2009
	Bosque river (ZDA); 4282 km ² meljasto-glinena do ilovnata tla gričevnata krajina	10	USLE_P: 0.1 (naklon 1-2 %) in 0.12 (naklon 3-8 %); CN2 zmanjšan za 3enote	Tuppad in sod., 2010
Sprememba njiv v travnike	Kmetija, obnova travnika	97-98	USLE C: 0,003	Santhi in sod. (2003)
	Beaurivage (CA); 718 km ² peščeno-glinena do glineno-ilovnata tla: ravninska do gričevnata krajina	58		Rousseau in sod., 2013

... se nadaljuje

... nadaljevanje preglednice 5

UKREP	VODOZBIRNO OBMOČJE	ZMANJŠANJE PRENOSA SUSPENDIRAN IH SNOVI (%)	UPORABLJ. PARAMETRI; OPIS METODE	LITERATURA
Vegetacijski varovalni pasovi	Smith-Fry in Dreisbach (ZDA); 7,3 in 6,23 km ² tla tipa C*	NP	FILTERW (5m): 0,35; pasovi 5m	Bracmort in sod., 2003
	Smith Fry(ZDA); 7,3 km ² tla tipa C*	3	pasovi 5 m	Arabi in sod., 2007
	Parthe (DE); 315 km ² ravnina;	45	vključno z ohranitveno obdelavo tal	Ulrich in Volk, 2009
	Ada in Shawnee County (ZDA) različni tipi tal; naklon < 3,6 %	51-89	DAFS _{ratio} : 40 DF _{con} : 0.5	White in Arnold, 2009
	Bosque river (ZDA) meljasto-glinena do ilovnata tla gričevnata krajina; 4282 km ²	9,4	pasovi 6m	Tuppad in sod., 2010
	Kielstau (DE); ravnina, mešana tla 50 km ²	4,9		Lam in sod., 2011
	Crowder Lake (ZDA); meljasta do peščeno glinena tla; ravnina 70 km ²	72	pasovi 10m	Moriasi in sod., 2011
Travnati odvodni jarki	Smith-Fry in Dreisbach (ZDA); 7,3 in 6,23 km ² tla tipa C*	NP	CH_N2: 0,24	Bracmort in sod., 2003
	Smith Fry (ZDA); 7,3 km ² tla tipa C*	0	CH_N2: 0,3	Arabi in sod., 2007
Terase	Smith-Fry in Dreisbach (ZDA); 7,3 in 6,23 km ² tla tipa C*	NP	CN (2)_ assigned by SWAT USLE P 0.2	Bracmort in sod., 2003
	Smith Fry (ZDA) tla tipa C* 7,3 km ²	15		Arabi in sod., 2007
	Black Brook (CA); gričevnato (1-6 %) do 5-16 %. mineralna tla 13,12 km ²	56	FDT interval: 60 m, USLE_P: 0,74	Yang in sod., 2009
	Bosque river (ZDA); 4282 km ² meljasto-glinena do ilovnata tla gričevnata krajina	17,2	USLE_P: 0.1 (naklon 1-2 %) in 0,12 (naklon 3-8 %); CN2 zmanjšan za 5enot	Tuppad in sod., 2010
	Pipiripau river (BRA); 235 km ² gričevnata krajina	8,59 - 31	USLE_P: 0,12 CN2: -5 (TER25 – TER100)	Strauch in sod., 2013
	Bosque river (ZDA); 4282 km ² meljasto-glinena do ilovnata tla gričevnata krajina	34,6	CH_N2: 0.03	Tuppad in sod., 2010

... se nadaljuje

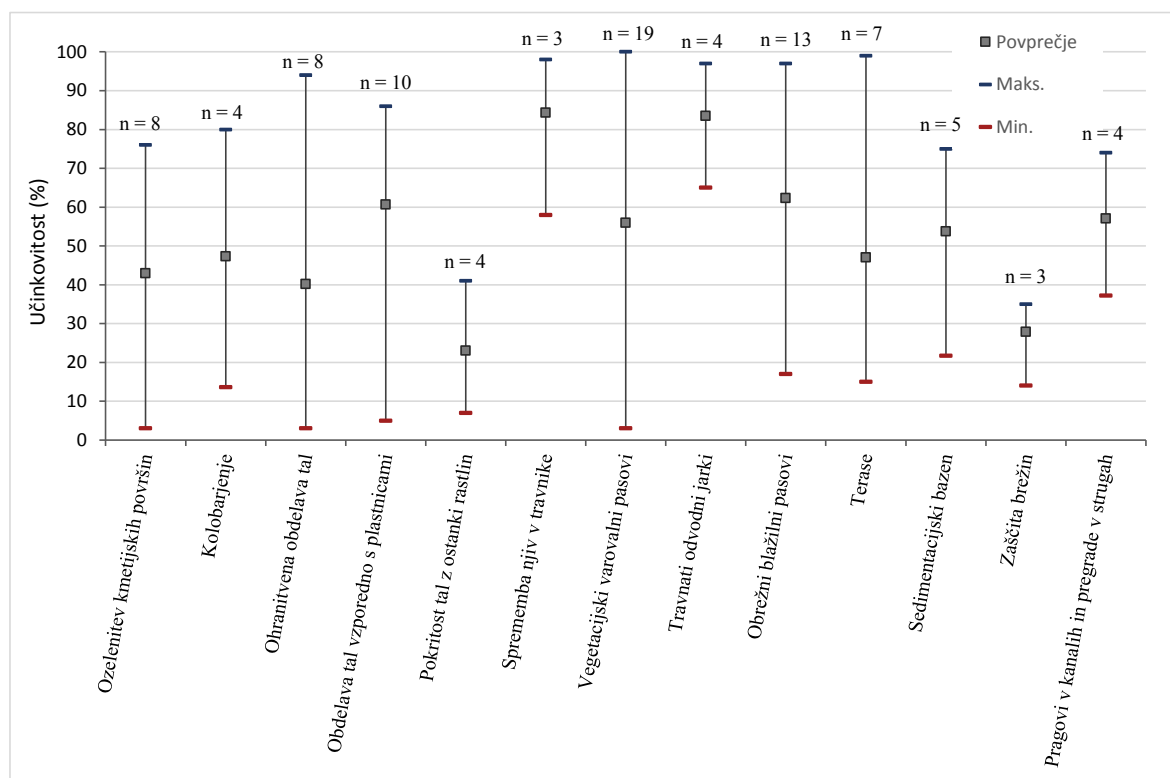
... nadaljevanje preglednice 5

UKREP	VODOZBIRNO OBMOČJE	ZMANJŠANJE PRENOSA SUSPENDIRAN IH SNOVI (%)	UPORABLJ. PARAMETRI; OPIS METODE	LITERATURA
Pragovi v kanalih in pregrade v strugah	Smith Fry (ZDA); 7,3 km ² tla tipa C*	74	C: zmanjšanje za 3 enote; pragovi višine 1,2 m	Arabi in sod., 2007
	Banha (India); 16,95 km ² Območje monsunov; glinena do peščeno- glinena tla Bosque river (ZDA); 4282 km ²	53 - 64	jez višine 5,9-6,7 m	Mishra in sod., 2007
	meljasto-glinena do ilovnata tla gričevnata krajina	37,2	CH_N2: 0,08	Tuppad in sod., 2010
Obrežni pasovi	Crowder Lake (ZDA); 70 km ² meljasta do peščeno glinena tla; ravnina	68	CH_COV:0,2-0,7; CH_EROD: 0,2-0,5; pasovi 10 m	Moriasi in sod., 2011
	Beaurivage (CA); 718 km ² peščeno-glinena do glineno- ilovnata tla: ravninska do gričevnata krajina	37	1 m	Rousseau in sod., 2013
		51	3 m	
		59	5 m	
Sedimentacijs ki bazeni	Pipiripau river (BRA); 235 km ² gričevnata krajina	8,59 - 31	PND_FR, PND_ESA, PND_EVOL, PND_NSED, PND_K; (BAR25– BAR100)	Strauch in sod., 2013

* tla tipa C so tla po severno ameriški klasifikaciji tal (Unified Soil Classification System), v katerih je vsaj 50 % ali več gline

2.6.4 Učinkovitost ERM ukrepov

Po pregledu 92 objavljenih rezultatov iz 43 virov o učinkovitosti 13 ERM ukrepov pri zmanjševanju erozijskih procesov in dotoka suspendiranih snovi v vodno telo, lahko povzamemo, da so v povprečju največjo učinkovitost dosegali ukrepi kot so sprememba njiv v travnike (84,3 %), travnati odvodni jarki (83,5 %), obrežni blažilni pasovi (62,3 %) in obdelava tal vzporedno s plastnicami (60,7 %). Velika variabilnost med rezultati študij (slika 5) je posledica razlik med lastnostmi vodozbirnega območja (tj. tip tal, naklon, obdelava tal, velikost obravnavane površine ali območja), podnebnih razmer, načina izvedbe ukrepa in metode meritve oziroma modeliranja. Slednje je pri interpretaciji rezultatov bistvenega pomena, saj so rezultati meritev največkrat vezani na testna polja, medtem ko se rezultati modeliranja (SWAT) nanašajo na večje površine vodozbirnih območij, kjer se upoštevajo interakcije med številnimi kompleksnimi procesi (DeFries in Eshleman, 2004; Verstraeten in sod., 2006). Zato je potrebno rezultate o učinkovitosti ukrepov na podlagi literature upoštevati le kot usmeritev pri ožjem izboru ukrepov, ki jih nameravamo vključiti v oblikovanje scenarijev.



Slika 5: Učinkovitost ukrepov (%) po pregledu 43 virov literature (n – število rezultatov)

Figure 5: Efficiency of measures after review of the 43 sources of literature (n – number of results)

(Betrie in sod., 2011; Braskerud, 2002; Chow in sod., 1999; Dermisis in sod., 2010; Dillaha in sod., 1989; Dosskey in sod., 2011; Espejo-Perez in sod., 2013; Fiener in Auerswald, 2003; Gantzer in sod., 1990; Gomez in sod., 2009; Helmers in sod., 2005; Jankauskas in sod., 2004; Lee in sod., 2003; Li in sod., 2011; Malik in sod., 2000; Mitsch in sod., 2014; Patty in sod., 1997; Prasuhn, 2012; Quinton in Catt, 2004; Shipitalo in sod., 2013; Stevens in sod., 2009; Verstraeten in sod., 2006; Vigiak in sod., 2010; Yang in sod., 2009; Zaimis in sod., 2006; Zhang in sod., 2004; Zhang in Li, 2014; Ziegler in sod., 2006; Arabi in sod., 2007; Bosch in sod., 2013; Bracmort in sod., 2003; Kirsch in sod., 2002; Lam in sod., 2011; Mishra in sod., 2007; Moriasi in sod., 2011; Moriasi in sod., 2011; Rousseau in sod., 2013; Santhi in sod., 2003; Strauch in sod., 2013; Tuppad in sod., 2010; Ulrich in Volk, 2009; White in Arnold, 2009; Yang in sod., 2009)

Po pregledu literature na kratko povzemamo bistvene zaključke in ugotovitve avtorjev o vplivu lastnosti obravnavanega območja ter mehanizmov oz. zahtev ukrepov na njihovo učinkovitost pri zmanjševanju erozijskih procesov in dotoka suspendiranih snovi v vodno telo:

Velikost talnih delcev:

- Večji delci se v vegetacijskem pasu usedejo prej, manjši kasneje.

Lastosti tal:

- Na meljasto glinenih tleh učinkovitost manjša kot na peščeno glinenih (Dosskey in sod., 2011).

Naklon in morfologija:

- Učinkovitost vegetacijskih pasov se s strmino zmanjšuje (Leeds in sod., 2013; Dosskey in sod., 2011; NRCS, 2010); raziskave, ki bi spremljale učinkovitost na bolj strmih pobočjih so zelo redke (razen Zhang in sod., 2004).
- obdelava tal vzporedno s plastnicami na območjih z valovito in kompleksno topografijo ni priporočljiva (Posthumus in sod., 2013; Stevens in sod., 2009).

Lastnosti padavin:

- Kratkotrajne in intenzivne padavine zmanjšajo učinkovitost ukrepov (Wei in sod., 2014; Fox in sod., 2010).

Mehanizem/zahteve ukrepa:

- Pokritost tal z vegetacijo je poglavitni mehanizem varovanja tal. Travnato-žitni kolobar je učinkovitejši od žitnega (Jankauskas in sod., 2004). Koreninski sistem trav je boljši kot pri rastlinah iz družin metuljnic ali križnic (De Baets in sod., 2011), nasprotno (Momm in sod., 2014; Sweeney in Newbold, 2014; Malik in sod., 2000) ne zaznajo večjih razlik na učinkovitost pri različnih vrstah vegetacije. Shipitalo in sod. (2013) prav tako navajajo, da vrsta poljščine ne vpliva bistveno na površinski odtok.
- Travnati vegetacijski pas pred pasom olesenele vegetacije razprši površinski odtok in poveča učinkovitost (Lee in sod., 2003).
- Zimska ozelenitev k zmanjšanju erozije prispeva več kot poletna in jesenska (Malik in sod., 2000).
- Kombinacija različnih ukrepov je učinkovitejša (Wei in sod., 2014; Strauch in sod., 2013; Glavan in sod., 2012a; Kaini in sod., 2012; Rocha in sod., 2012; Lam in sod., 2011; Narasimhan in sod., 2007; Dabney in sod., 2006).
- Širina vegetacijskega pasu je bolj pomembna zaradi zadrževalnega časa onesnaževal v tleh (Dosskey in sod., 2011) kot zaradi zadrževanja delcev tal. Večina delcev se namreč zadrži v prvih metrih po dotoku v vegetacijski pas (White in sod., 2007).
- Bolj kot širina pasu, je pri zadrževanju snovi, pomembno razmerje med vodozbirno površino in površino pasu (Dosskey in sod., 2002; White in Arnold, 2009).
- Učinkovitost zatravljenih jarkov se povečuje z njihovo dolžino (Dermisis in sod., 2010; Fiener in Auerswald, 2003).
- Upoštevati je potrebno časovni odziv okolja na ukrepe in polno delovanje od trenutka vzpostavitve ukrepa (Behrend in sod., 2000; Cherry in sod., 2008).
- Za doseganje dobrega ekološkega stanja, je smiselna uporaba več ukrepov hkrati, saj je prostor vodozbirnega območja glede na lastnosti tal, topografijo in rabo tal zelo heterogen (Bosch in sod., 2013; Strauch in sod., 2013; Kaini in sod., 2012; Rocha in sod., 2012; Lam in sod., 2011; Narasimhan in sod., 2007; Dabney in sod., 2006).

3 ORODJE ZA IZBIRO IN UMEŠČANJE ERM UKREPOV (ORIU)

Večinoma se danes orodja in modeli uporabljajo za določanje kritičnih območij virov obremenitev, oceno vplivov razpršenega onesnaževanja, učinkovitosti ukrepov pri zmanjšanju teh vplivov ali pridobivanju informacij in razumevanju procesov v vodozbirnem območju (Zhang in sod., 2011). Raziskave so v zadnjih letih usmerjene v optimizacijo izbire in umeščanja ukrepov, saj se je izkazalo, da je s pomočjo numeričnih modelov mogoče natančneje določiti območja razpršenega onesnaževanja in erozije tako na nivoju porečja kot na nivoju kmetije (Ahmadi in sod., 2014; Ghebremichael in sod., 2013; Panagopoulos in sod., 2012; Kaini in sod., 2012). S tem se znatno zmanjšajo stroški vzpostavitve in vzdrževanja ukrepov ter posegi na kmetijska zemljišča. Vendar je izmed številnih obstoječih ukrepov in možnih lokacij njihove umestitve v vodozbirno območje težko poiskati rešitev, ki bo stroškovno sprejemljiva in učinkovita. Zaradi matematične abstrakcije sistemov se pojavljajo številne pomanjkljivosti numeričnih modelov, zlasti pri vključevanju dejavnikov, ki ji jih ni možno kvantitativno oceniti in vključiti v numerično modeliranje (npr. družbeno-politične, naravne idr. omejitve v prostoru). Kot so ugotovili Xie in sod. (2015), je za premostitev prostorskih vrzeli in pomanjkljivih podatkov potrebna integracija orodij za podporo pri odločanju na nivoju vodozbirnih območij, ki bi združevala numerične modele za ocenjevanje vpliva ukrepov, določala prostor umeščanja in optimizirala koristi in stroške. Zato je pri iskanju kompromisov med varstvom voda in posegi v prostor potreben sistematičen pristop k izbiri, oceni učinkovitosti in umeščanju ukrepov.

Kot pravi Gall (1977), je temelj vsakega kompleksnega sistema preprost sistem, ki deluje. Kadar iz nič pričnemo z gradnjo kompleksnega sistema, ta ne bo deloval, saj lahko izpustimo korake, ki so nujni za delovanje. Zaradi kompleksnih procesov med vodozbirnim območjem in vodnimi telesi, je potreben sistematičen in preprost pristop, kot je predlagano orodje za izbiro in umeščanje ukrepov (OriU). S shematskim prikazom (slika 6) smo izboljšali preglednost v odločitvenem procesu od določanja problema, nabora mogočih ukrepov oziroma rešitev, definiranja ciljev in meril, vrednotenja in izbire ukrepov do načrta umeščanja in izvedbe, torej realizacije odločitve. Tovrsten sistematičen pristop k reševanju problemov, ki se uporablja tako pri osebni, poslovnem in tudi strokovnem odločanju, opiše že Bohanec (2006).

3.1 IZBIRA UKREPOV - FAZA I

Pri načrtovanju posegov v prostor, kot je umeščanje in izvajanje ukrepov za varstvo in obnovo vodnih teles, je definicija problema, analiza stanja v prostoru in okolju, določanje ciljev in meril ter predlog primernih rešitev na podlagi znanstvenih in strokovnih raziskav bistveni del, s katerim prispevamo k razumevanju razmer v vodozbirnem območju vodnega telesa in utemeljimo izbiro primernih rešitev. V tej fazi oblikujemo določeno vrsto strokovne podlage, ki jo kot obvezno prilogo prostorskega akta navaja tudi Zakon o prostorskem načrtovanju (2007). V prvi fazi namreč pridobimo informacijo o tem kateri ukrepi so

učinkoviti za reševanje določenega problema in kam jih je potrebno umestiti, da bodo najbolj učinkoviti. S tem omogočimo trajnostno naravnano umeščanje stroškovno sprejemljivih ukrepov v vodozbirno območje vodnega telesa, učinkoviteje usklajujemo med potrebami javnosti, razvojnimi možnostmi ter varstvom narave in okolja, kar je eden izmed temeljev za celostno urejanje voda, kot ga predvideva Vodna direktiva.

3.1.1 Analiza vodnega telesa

Z monitoringom kakovosti vode in analizo vodnega telesa oziroma akumulacije se oceni kemijsko in ekološko stanje vodnega telesa glede na predpisana merila in okoljske standarde kakovosti. V Sloveniji se stanje kakovosti voda ugotavlja v skladu z Zakonom o vodah (2002) in Uredbo o stanju površinskih voda (2009), ki določa merila za ugotavljanje stanja površinskih voda, okoljske standarde kakovosti za ugotavljanje kemijskega stanja ter merila in okoljske standarde kakovosti za ugotavljanje ekološkega stanja in potenciala površinskih voda ter vrste monitoringa stanja površinskih voda. Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda (2009), ki med drugim določa način in obseg izvajanja monitoringa stanja površinskih voda, predvideva izvajanje nadzornega in operativnega monitoringa skozi celotno obdobje veljavnosti Načrtov upravljanja voda. Vzorčenje za splošne fizikalno-kemijske elemente kakovosti se v okviru operativnega monitoringa izvaja vsake tri mesece, za biološke elemente od 6 mesecev (fitoplankton) do enkrat na tri leta (makrofiti, ribe, betoški nevretenčarji), morfologija se v okviru hidromorfoloških elementov kakovosti pregleda vsakih 6 let, medtem ko za hidrologijo in kontinuiteto toka časovni razmik ni določen. Vendar je za podrobno analizo in razumevanje procesov, ki vplivajo na parametre kakovosti vode, potreben časovno zvezen zajem podatkov (Rusjan, 2008). Več o predvidenem stanju in mejnih vrednostih za določanje kakovosti v poglavju 2.3 (Predvideno stanje akumulacij).

3.1.2 Analiza vodozbirnega območja

V procesu oblikovanja ciljev je bistveno zbiranje informacij o lastnostih vodozbirnega območja. Pregledajo in analizirajo se naravno-geografski in hidro-meteorološki podatki, ukrepi v izvajanju, morebitni podatki o učinkovitosti uporabljenih ukrepov, vzrokih poslabšanja in možni viri obremenitev vodnih teles (točkovni ali razpršeni viri). Prav tako se pregleda, ali se na območju nahajajo merilna mesta za kakovost voda, hidrološke parametre, klimatske in padavinske postaje in preveri obstoječe podatke teh merilnih mest. Danes se za tovrstno analizo uporabljajo različni modeli, ki smo jih opisali v poglavju 2.5.5 (Modeliranje procesov premeščanja snovi v vodozbirnih območjih). Številne podatke o prostoru in podnebjju je mogoče pridobiti na državnih ustanovah. To so v Sloveniji Agencija za okolje RS, Geodetska uprava RS, Geološki zavod RS ali po občinah. Prostorski podatki (raba zemljišč - CORINE, lastnosti tal - European Soil Database (ESDB), relief – LIDAR, idr.) so danes več ali manj dostopni preko spleta. Z Vodno direktivo je v Evropi pričela nastajati baza podatkov o stanju in obremenitvah (WISE - Water Information System for

Europe), kamor države članice posredujejo svoje podatke. Podobno je v Združenih državah Amerike, kjer se podatki o vodah zbirajo preko raznih informacijskih sistemov (National Water Information System Website (NWISWeb), WATERS Information System, STORET - Storage and Retrieval of Ground Water and Surface Water Quality Data ...). Bolj natančni kot so podatki, več kot jih imamo, boljše so lahko analize stanja in napovedi trendov. Zato je potrebno baze podatkov ves čas spremljati in dopolnjevati. Metode in modeli, s katerimi lahko analiziramo vodozbirno območje so opisani v poglavju 2.5.5 (Modeliranje procesov premeščanja v vodozbirnih območjih).

3.1.3 Kritična območja vira obremenitev (KOVO)

Po določitvi problema in analizi vodozbirnega območja je potrebno preveriti, kje se nahajajo kritična območja vira obremenitev. Raziskave (Pionke in sod., 2000; Walling in sod., 2002, 2006; White in sod., 2009) so pokazale, da večina razpršenega onesnaževanja (zlasti suspendiranih snovi in fosforja) prispe iz relativno majhnega deleža površin vodozbirnega območja. Walling in sod. (2002, 2006) so tako z integriranim pristopom ugotovili, da lahko dotok suspendiranih snovi iz vodozbirnega območja niha med 8 in 97 %, kar je odvisno od tipa tal in rabe zemljišč ter naklona. White in sod. (2009) so po raziskavi z modelom SWAT poročali, da je le 5 % površin vodozbirnega območja v povprečju prispevalo 50 % suspendiranih snovi. Obremenitve iz teh kritičnih območij so bile 3- do 10-krat večje kot povprečne obremenitve iz kmetijskih površin. Takšna hidrološko aktivna območja, ki so povezana z vodnimi telesi in na katerih sovpadata vir obremenitev ter potencial prenosa, so Pionke in sod. (2000) označili kot kritična območja vira obremenitev (KOVO). *Vir obremenitev* je pogosto funkcija rabe zemljišč in načina kmetovanja (prekomeren vnos hranil, tradicionalna obdelava tal, ki poveča erodibilnost ipd.). *Potencial prenosa* je zmožnost površinskega in delno podpovršinskega toka, da premešča sediment, hranila ali onesnažila iz mesta nastanka do vodnega telesa. Niha prostorsko in časovno kot funkcija geologije, topografije, tipa tal in rabe zemljišč, intenzivnosti in količine padavin. Glede na lastnosti KOVO izbrane ukrepe umeščamo tako, da bo dosežena njihova največja učinkovitost. S KOVO zmanjšamo obseg zemljišč za umeščanje ukrepov in posledično tudi stroške, povezane s porabo zemljišč in izvedbo ukrepov.

Načinov določevanja kritičnih območij na vodozbirnem območju je več. Prvo analizo virov obremenitev in določitve območij obremenitev lahko izvemo že z uporabo orodja GIS. Nelson in sod. (2011) so v vodozbirnem območju jezera Cheney Lake (ZDA) uporabili orodje GIS ter na podlagi RUSLE algoritma vodozbirno območje razdelili na njive z visoko in njive z nizko stopnjo erozije. Srinivasan in McDowell (2007) sta raziskovala pet različnih metod (odtočno krivuljo (CN), indikator fosforja (PI), gostoto mreže vodotokov (DD), indikator topografije (TI) in model, ki kombinira dve vrsti površinskega odtoka na podlagi za določanje kritičnih območij na nivoju porečja. Ugotovila sta, da so le procesno utemeljeni modeli primerni za nadaljnjo uporabo. Z uporabo orodij za modeliranje procesov v vodozbirnih območjih lahko prepoznamo in prednostno razvrščamo podpovodja za

umeščanje cenovno sprejemljivih ukrepov (Tripathi in sod., 2005). Med številnimi modeli se širom po svetu za določanje kritičnih območij virov obremenitev uporablja tudi SWAT (Tripathi in sod. 2005; White in sod., 2009; Ghebremichael in sod., 2010; Panagopoulos in sod., 2011; Shang in sod., 2012).

3.1.4 Določanje ciljev in meril za izbiro ukrepov

Z vsako pridobljeno informacijo o obremenitvah vodnih teles in njihovem viru lahko namen, cilj oz. merila natančneje definiramo, kar nam olajša izbiro ukrepov. Določimo si lahko enega ali več ciljev glede na definiran problem oziroma obremenitev. V Sloveniji in Evropi cilji za zmanjšanje obremenitev vodnih teles temeljijo na Vodni direktivi (2000/60/EC), katere splošni cilj je doseganje in ohranjanje dobrega kemijskega, ekološkega in količinskega stanja voda. Za doseganje tega cilja je v 11. členu priloge III. predvidena analiza stroškov in koristi ukrepov. Ker naj bi kmetijstvo še vedno največ prispevalo k onesnaževanju vodnih teles, analiza zajema tudi ukrepe kmetijsko-okoljskih-podnebnih plačil (KOPOP) Skupne kmetijske politike (več v poglavju 3.2.1.1). Analiza stroškov in koristi ukrepov je ena izmed osnov v procesu odločanja in oblikovanju načrtov upravljanja voda (NUV). Pri izbiri ukrepov sledimo dvem ciljem: izboljšati kakovost voda in izbrati stroškovno sprejemljive ter učinkovite ukrepe. Na podlagi ciljev lahko oblikujemo merila, ki bodo osnova za vrednotenje in izbiro ukrepov. Merila predstavljajo merljivi parametri, ki so zakonsko predpisane mejne in/ali priporočene vrednosti. Ker se stroški izvajanja ukrepov povečujejo z naraščajočimi zahtevami glede zmanjšanja obremenitev, je potrebno že pred izbiro ukrepov vedeti, za koliko je potrebno določeno obremenitev zmanjšati (Kaini in sod., 2012).

3.1.4.1 Izboljšanje kakovosti vodnih teles

Vodna direktiva ne določa mejnih vrednosti za posamezne parametre v vodi, vendar podaja nov pristop k celostnemu vrednotenju tako kemijskega in ekološkega stanja vodnih teles. Mejne in priporočene vrednosti kemijskega stanja, ki predstavljajo merilo za oceno učinkovitosti ukrepa, ureja nacionalna zakonodaja. V Sloveniji je kemijsko stanje ocenjeno v skladu s kriteriji za oceno kemijskega stanja v Uredbi o stanju površinskih voda (2009) (poglavje 2.2 in 2.3). Okoljski cilji za površinske vode so določeni na podlagi ocene verjetnosti doseganja le-teh in na podlagi popisa emisij, izpustov in uhajanj snovi. Umetna vodna telesa (UVT) in močno preoblikovana vodna telesa (MPVT) so izvzeta iz zahteve po doseganju dobrega ekološkega stanja, vendar morajo doseči dober ekološki potencial, kar pomeni izvajanje ukrepov, ki izboljšujejo njihove ekološke lastnosti v največji možni meri, hkrati pa ne smejo pomembneje vplivati na zmanjšanje njihove uporabne vrednosti. Kadar ocena verjetnosti kaže, da bodo okoljski cilji doseženi do leta 2021, je potrebno preprečiti poslabšanje stanja vodnega telesa (Osutek Načrta ... 2015-2021, 2015). Pri MPVT in UVT je ta cilj postavljen z namenom, da ostane stanje obremenitev na trenutni ravni do določitve ekološkega potenciala. Zavedati se je potrebno, da lahko zakonsko predpisane mejne

vrednosti nihajo glede na lastnosti vodozbirnega območja in vodnega telesa. Kar je za neko akumulacijo mejna vrednost, je pri drugi akumulaciji popolnoma sprejemljiva vrednost ali celo 'naravno' stanje zaradi lastnosti območja, kjer se akumulacija nahaja. Hkrati je odziv na zmanjšanje obremenitev iz okolja zelo različen, saj je povezan z lastnostmi in obratovalnim režimom akumulacij, kar smo opisali že v poglavju 2.3 (Predvideno stanje akumulacijskih jezer). Zato je ponekod smiselno preveriti razmerje ali povezanost več dejavnikov, ki so lahko indikatorji stanja vodnega telesa (razmerje dušik- fosfor, vzrok za razraščanje makrofytov ni vedno prekomerna vsebnost hranila, ampak tudi zmanjševanje globine v akumulacijah ipd.)

Ob tem je potrebno upoštevati, da je pri akumulacijah potrebno cilje in merila razvrstiti glede na rabo oziroma namen akumulacije (varovanje pred poplavami, ribištvo, rekreacija, namakanje) in geografsko lego. Vsekakor je, glede na številne probleme, ki jih posredno in neposredno povzroča odlaganje suspendiranih snovi v akumulacijah, glavni cilj preprečiti oziroma zmanjšati dotok suspendiranih snovi (Rickson, 2014; Morris in Fan, 2010). Okvirno merilo, s katerim lahko primerjamo kritično stopnjo odlaganja suspendiranih snovi v akumulacijah, je 'razpolovna doba', ki ne pomeni polovice do popolne zapolnitve koristne prostornine, temveč le prelomno točko, od katere naprej sta namen in funkcija akumulacije ogrožena. Tako znaša na primer za akumulacije z volumenom med $1,23 - 12,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'razpolovna doba' 91 let in povprečna letna izguba prostornine 0,81 %. Večja kot je prostornina, manjši je odstotek izgube koristne prostornine oziroma daljša je 'razpolovna doba' (Morris in Fan, 2010).

Glede na to, da so erozijski procesi na vodozbirnem območju in v vodotoku vir obremenitev s suspendiranimi snovmi (poglavje 2.4), je potrebno zmanjšati stopnjo erozije povsod, kjer presega 1 t/ha/leto (naravna erozija tal). Morgan (2005) pri tem opozarja, da je erozija naraven proces, ki ga ne moremo preprečiti, lahko ga le zmanjšamo na največjo možno sprejemljivo raven, vezano na geografsko lego in lastnosti območja.

3.1.5 Nabor možnih ukrepov

Po analizi vodozbirnega območja, oceni stanja oziroma definiranju obremenitev akumulacije, določitvi ciljev in meril je potrebno pregledati literaturo in izbrati ukrepe, s katerimi nameravamo cilj doseči. Obstajajo številni ukrepi za omilitev vplivov razpršenega onesnaževanja na vodna telesa. Samo Agencija za varstvo naravnih virov Ministrstva za kmetijstvo Združenih držav Amerike (NRCS-USDA) glede na obremenitev v okolju navaja 165 različnih gradbenih in negradbenih ukrepov, vezanih na preprečevanje onesnaževanja zaradi kmetijske dejavnosti. Nabor ali seznam ukrepov za zmanjšanje obremenitev iz razpršenega onesnaževanja je odvisen od (Campbell in sod. 2004):

- vrste obremenitve (npr. sediment, hranila, sredstva za varstvo rastlin idr.);
- učinkovitosti ukrepa pri doseganju cilja oziroma zmanjšanju obremenitev;
- namenske rabe prostora (kmetijska ali urbana) in

- dejanske rabe zemljišč (njive, travniki, gozd, trajni nasadi, vodna ali obvodna zemljišča).

Nabor ukrepov za zmanjšanje erozijskih procesov in premeščanja suspendiranih snovi s kmetijskih prispevnih površin v akumulacijska jezera je prikazan v poglavju 2.6. Kot smo opisali v poglavju 2.6.4 (Učinkovitost ERM ukrepov) je velika variabilnost med rezultati študij (slika 5) posledica razlik med lastnostmi obravnavanega vodozbirnega območja, podnebnih razmer, načina izvedbe ukrepa in metode meritve oziroma modeliranja. Zato je potrebno nabor ukrepov na podlagi literature upoštevati le kot usmeritev pri nadaljnji izbiri ukrepov, ki jih nameravamo vključiti v oblikovanje scenarijev. Pri naboru je vsekakor potrebno upoštevati ukrepe, ki se na območju že izvajajo ali so predvideni v okviru kmetijsko-okoljske in/ali vodne politike.

Nabor ukrepov lahko dodatno omejimo, v kolikor upoštevamo ceno vzpostavitve in vzdrževanja ter sprejemljivost ukrepa pri nosilcih interesov, vendar s tem povečamo verjetnost, da se bomo že v tej fazi načrtovanja omejili na ukrepe, ki za dosego cilja niso najbolj učinkoviti.

3.1.5.1 Stroškovno sprejemljivi ukrepi

Ekonomska ocena ukrepov je nepogrešljivi del pri oblikovanju programa stroškovno-učinkovitih ukrepov, ki je sestavni del Načrta upravljanja voda. Monetarna ocena koristi zaradi izboljšanja stanja v okolju je možna, kadar upoštevamo stroške, ki nastanejo, če ne uravnavamo erozijskih procesov, s katerimi se odnašajo rodovitna tla ali odlaga sediment in nanj vezana onesnažila v vodnih telesih. Pri oceni je potrebno definirati: (i) obdobje, za katerega podajamo oceno in (ii) velikost območja (kmetija, občina ali regija). Lažje je namreč ovrednotiti stroške in koristi na nivoju kmetije kot na nivoju občine ali regije (Morgan, 2005). Kot navajajo Balana in sod. (2011), določanje ukrepov, ki dosegajo visoko učinkovitost ob minimalnih stroških, pogosto ne zadošča, saj je potrebno oceniti tudi posredne koristi ukrepov, s katerimi izboljšamo kakovosti vode, ohranjamo rodovitna tla ali podaljšamo 'razpolovno dobo' akumulacije. Kot navajata Morris in Fan (2010), so lahko namreč stroški, povezani z izvajanjem ukrepov za zmanjšanje dotoka iz prispevnih površin, do tri-krat manjši od stroškov izkopa sedimenta iz akumulacije. Stroški ukrepa so tako vezani na (Posthumus in sod., 2013; Panagopoulos in sod., 2011, Morgan, 2005):

vzpostavitev in vzdrževanje ukrepa, kar zajema strošek dela in materiala, spremenjenega načina obdelave in s tem povezane nakupe kmetijske mehanizacije ali orodja;

- zmanjšana obdelovalna površina in možni izpad pridelka ter
- administrativne stroške.

Medtem ko je stroške mogoče monetarno ovrednotiti, lahko koristi ukrepov za zmanjšanje obremenitev ali erozije na vodozbirnem območju ovrednotimo le posredno:

- ohranjanje rodovitnih tal z zmanjševanjem erozijskih procesov in s tem povezane produktivnosti (Morgan, 2005);
- izboljšanje kakovosti voda in s tem povezane koristi za gospodarski in javni sektor (Načrt urejanja voda, 2015) in
- zmanjšan dotok in odlaganje suspendiranih snovi, kar je zlasti pomembno pri upravljanju akumulacij, saj se s tem podaljšuje 'razpolovna doba' (Morris in Fan, 2010).

Zato avtorji (Posthumus in sod., 2013; Morgan, 2005) ugotavljajo, da so iz vidika zmanjšanja erozije in obremenitve vodnih teles stroškovno sprejemljivi tisti ukrepi, ki ne zahtevajo večjih prilagoditev pri obstoječem načinu kmetovanja (mulčenje, obdelava tal po plastnicah, vegetacijski pasovi, ozelenitve površin ipd.). Stroške umeščanja in izvedbe ukrepov lahko zmanjšamo tudi z določitvijo kritičnih območij virov obremenitev (KOVO), saj se s tem občutno zmanjša površina zemljišč, kjer je potrebno umeščati oziroma izvajati ukrepe (Ghebremichael in sod., 2013; Chen, 2011). Arabi in sod. (2007) so ugotovili, da lahko s ciljanim umeščanjem zmanjšamo stroške ukrepov za tri-krat.

3.1.6 Izbor ukrepov in oblikovanje scenarijev

Po identifikaciji kritičnih območij, določitvi ciljev, meril in nabora ukrepov oblikujemo scenarije, ki jih nameravamo modelirati. Ti temeljijo na kombinaciji izbranega ukrepa in lastnosti kritičnega območja ali zemljišča. Pri izbiri ukrepa in oblikovanju scenarijev je smiselno upoštevati tudi (Campbell in sod., 2004; Morgan, 2005):

- Ustreznost zemljišča za izvedbo ukrepa. Glede na to, da se učinkovitost vegetacijskih varovalnih pasov z naklonom manjša, lahko njihov obseg sicer povečujemo, vendar se s tem zmanjšuje uporabna površina zemljišč za pridelavo. Podobno so terase na strmih pobočjih lahko učinkovite v preprečevanju erozije, vendar je zaradi strukturiranosti površja uporaba mehanizacije in obdelava tal omejena, kar poveča stroške pridelave in nekonkurenčnost na trgu. Več o delovanju in zahtevah ukrepov je opisano v poglavju 2.6.4 (Učinkovitost ERM ukrepov).
- Interakcijo med posameznimi ukrepi. Čeprav je dokazano, da je kombinacija več ukrepov na območju zaradi različnih lastnosti prostora bolj učinkovita (Bosch in sod., 2013; Strauch in sod., 2013; Kaini in sod., 2012 idr.), se lahko določeni ukrepi med seboj izključujejo. Pogosto je lahko določen ukrep zmanjša eno obremenitev, vendar hkrati tudi poveča drugo. Tako lahko na primer podoravanje na območjih, kjer se uporablja velika količina sredstev za varstvo rastlin, privede do povečane koncentracije teh sredstev v površinskih in podtalnih vodah (Morgan, 2005).
- Tehnološki prenos. Ukrep, ki je lahko učinkovit na območju s podobnimi lastnostmi v Združenih državah Amerike, ni nujno učinkovit v Sloveniji. Kar je sprejemljivo na kmetiji z zemljišči, ki obsegajo od 100 do 200 ha in moderno mehanizacijo, ni nujno

sprejemljivo na območjih, kjer so njive manjše in vrsta mehanizacije drugačna. Tako je lahko umeščanje sedimentacijskih bazenov ali travnatih odvodnih jarkov, ki potrebujejo veliko površino za učinkovito delovanje, na območju z majhnimi in razpršenimi kmetijskimi zemljišči nesmotrno.

- Prilagajanje dejanski rabi. Ukrepi, ki so vezani na dejansko rabo, ne zahtevajo sprememb v načinu pridelave ali mehanizaciji, so socio-ekonomsko sprejemljivejši.
- Prilagajanje naravnim danostim in krajinski tipologiji. Ukrepi, s katerimi upoštevamo naravne danosti (topografija, podnebje, avtohtona vegetacija), so dolgoročno učinkovitejši, ohranjajo biodiverzitetu in ekosistemske storitve. Oblikovanje prevelikih zemljišč živalim in rastlinam preprečuje iskanje ekoloških niš (Mitsch in Jørgensen, 2004). V kolikor je možno se oblikujejo naravni koridorji med naravnimi elementi (gozd, voda).
- Izbiro modela s katerim nameravamo simulirati učinkovitost ukrepov. Določen model, ki ga nameravamo uporabiti pri preverjanju učinkovitosti ukrepov, je lahko sposoben simulirati le nekatere ukrepe. Kot smo opisali v poglavju 2.5.5 (Modeliranje procesov premeščanja v vodozbirnih območjih) večina modelov še vedno ne upošteva erozije brežin in usadov.

Pri izbiri ukrepov za oblikovanje scenarijev, moramo pregledati tudi ukrepe, ki se na območju že izvajajo (KOPOP, PU NUV). V kolikor je njihovo izvajanje in umestitev v skladu z definirano obremenitvijo vodnega telesa in KOVO, jih je potrebno upoštevati pri oblikovanju scenarijev.

3.1.7 Vrednotenje in izbira ukrepa

Končna izbira ukrepa je odvisna od doseganja ciljev in meril. Kot že omenjeno, so neposredne meritve časovno in stroškovno neizvedljive. Prav tako so rezultati iz literature, kjer lahko primerjamo vrednosti dotoka suspendiranih snovi pred in po izvedbi ukrepa, zaradi različnih lastnosti vodozbirnega območja težko prenosljivi na izbrano območje. Zato je najprimernejša uporaba modelov, opisanih v poglavju 4.3. Na podlagi določenih ciljev in meril preverimo, v kolikšni meri smo z rezultati modeliranja le-te dosegli. Pri tem je bistveno, ali preverjamo učinkovitost ukrepa na nivoju povodja, podpovodja ali kmetije. Pogosto je namreč ukrep lahko zelo učinkovit na nivoju kmetije, vendar rezultati na iztoku iz podpovodja ali povodja niso tako očitni zaradi morfologije površja in lastnosti tal (Verstraeten in sod., 2006), kar ne pomeni, da ukrep ni učinkovit. Prav tako je potrebno upoštevati učinek kombinacije ukrepov, ki se pogosto večji kot pri enem ukrepu (Bosch in sod., 2013; Strauch in sod., 2013; Kaini in sod., 2012). Vsekakor je najprej potrebno preveriti učinek posameznega ukrepa, šele nato kombinacije, zaradi zmanjšanja nepotrebnih posegov na zemljišča. V kolikor se izkaže, da z nobenim izmed ukrepov ne dosegamo zastavljenih ciljev oziroma se jim ne približamo, moramo preveriti ali (i) so problem oziroma nanj vezani cilji in merila pravilno zastavljeni, (ii) so med naborom ukrepov še kakšni, ki bi jih lahko upoštevali in (iii) je bila storjena napaka v procesu modeliranja ali izbiri modela. Po izbiri

enega ali več najučinkovitejših ukrepov je mogoče pričeti z oblikovanjem načrta umeščanja in njegove izvedbe.

Številni avtorji (Panagopoulos in sod., 2011; Kaini in sod., 2012; Ahmadi in sod., 2014; Chiang in sod., 2014) izbiro in vrednotenje ukrepov izvajajo na podlagi evolucijskih algoritmov, kot je npr. genetski algoritem (GA). Tovrstni algoritem v modelu SWAT vključuje naravno selekcijo pri iskanju najboljše kombinacije med lokacijo in ukrepi. Pri tem upošteva stroške oziroma ceno in učinkovitost ukrepa pri doseganju željenega cilja ali mejne vrednosti. Z določitvijo primernih lokacij in izbranimi ukrepi se število možnih kombinacij hitro povečuje. Za 90 najbolj kritičnih območij je samo za en ukrep možnih 2^{90} kombinacij. Število kombinacij se lahko povečuje glede na identificiran problem oziroma obremenitev, ki jo želimo zmanjšati. Lahko je to samo sediment ali tudi hranila in druga onesnaževala. S tem se razširi tudi nabor možnih ukrepov, čeprav je večina obravnavanih ukrepov učinkovita za več vrst onesnaževal, vendar za vsako obremenitev z različno stopnjo učinkovitosti. Umeščanje poteka na dva možna načina in sicer s ciljanim umeščanjem na kritična območja ali naključno iskanje najbolj optimalne kombinacije lokacije in ukrepa za doseganje največje učinkovitosti ob čim nižjih stroških. Zaradi velikega števila možnih kombinacij, se zdi uporaba evolucijskih algoritmov nepogrešljiv del vrednotenja in izbire ukrepa, vendar lahko zaradi matematične abstrakcije sistema prihaja do napak. Že Chiang in sod. (2014) so ugotovili, da je metoda ciljanja na KOVO boljša od večciljne optimizacije z GA, vendar so pri metodi ciljanja potrebne večje površine za doseg enakega učinka. Ghebremichael in sod. (2013) so naredili korak dlje in poskušali združiti zemljišča, ki so imela podobne lastnosti kot KOVO, ter spremljali učinkovitost ukrepov iz vidika ekonomske sprejemljivosti za kmetijo. Ugotovili so, da se pogosto s povečano učinkovitostjo ukrepov donos kmetije znižuje in da je potrebno ukrepe prilagajati upravljanju posamezne kmetije.

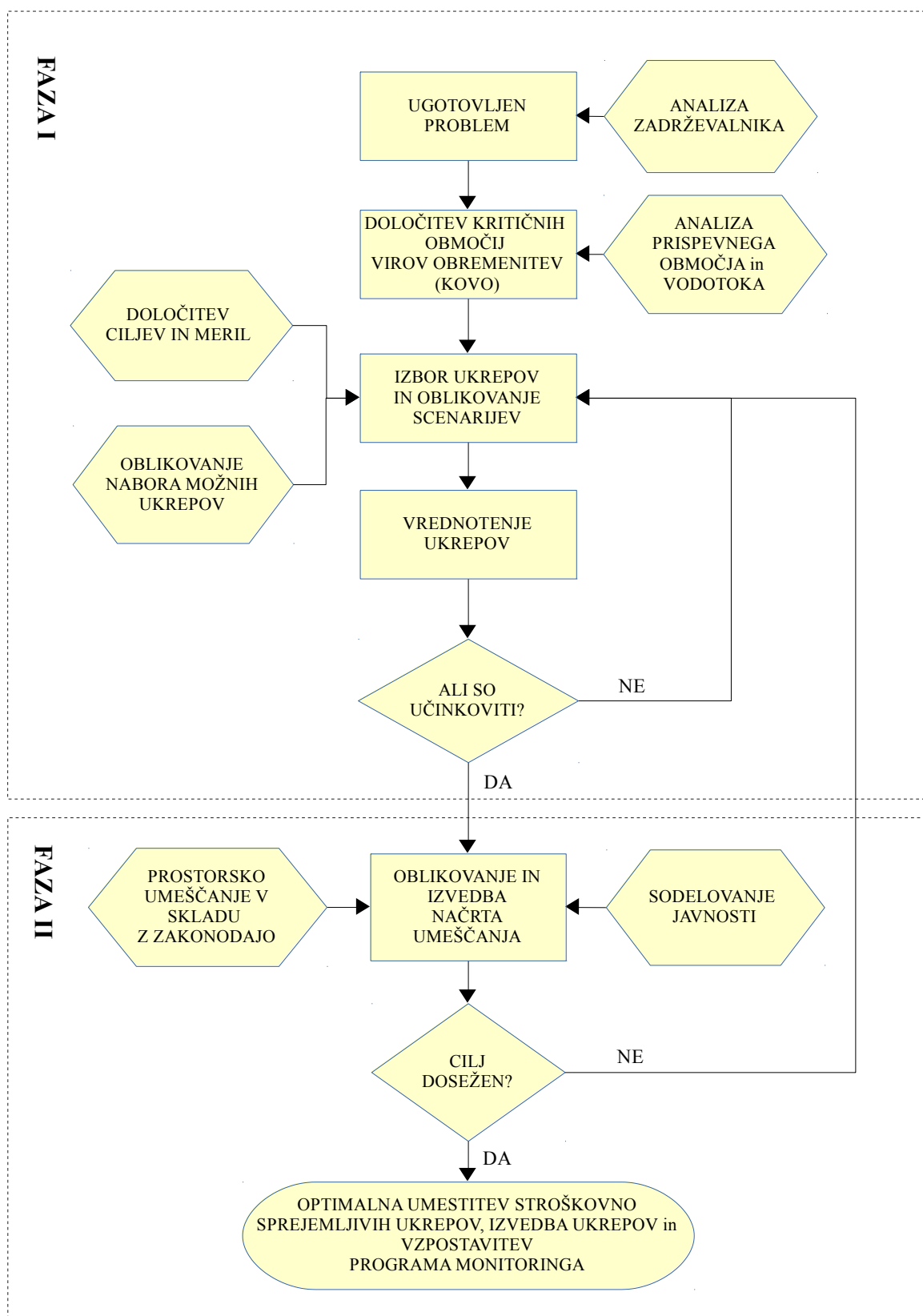
3.2 UMEŠČANJE UKREPOV - FAZA II

3.2.1 Oblikovanje in izvedba načrta umeščanja ukrepa

Umeščanje ukrepov mora zagotavljati čim večjo učinkovitost, upoštevati omejitve/kakovosti v prostoru (vodna telesa, naravna dediščina, krajina, javna infrastruktura in objekti) in ne sme vplivati na prihodke pridelave kmetije ali predstavljati velikih stroškov vzpostavitve in vzdrževanja. Pomeni torej usklajevanje gospodarskih, družbenih in okoljskih dejavnikov (Krönert in sod., 2001). Z umeščanjem gradbenih ukrepov na kmetijska zemljišča, na obvodni prostor in v vodno telo je potrebno preveriti zakonske in podzakonske predpise s področja gradnje objektov, urejanja kmetijskih zemljišč, prostora, okolja, voda in narave. V Sloveniji so to: Zakon o kmetijskih zemljiščih (2011), Zakon o graditvi objektov (2004), Zakon o prostorskem načrtovanju (2007), Zakon o vodah (2002), Zakon o varstvu okolja (2006), Zakon o ohranjanju narave (2004), Zakon o sladkovodnem ribištvu (2006), Zakon o divjadi in lovstvu (2004) in številni drugi. Pri načrtovanju gradbenih ukrepov je potrebno

upoštevati tudi predpise in standarde (npr.: DIN 18917, 18918, 19657, 19661-2 in 4044), ki določajo način izvedbe, uporabo materialov, vrsto rastlin in pripravo tal.

Glede na to, da večina vodnih teles, povodij, porečij ali prispevnih površin presega državne meje, je potrebno upoštevati tudi zakonske predpise pripadajočih držav. Evropa ureja čezmejne vplive posegov z Direktivo o presoji vplivov nekaterih javnih in zasebnih projektov na okolje (2011/92/EU). V kolikor obstaja verjetnost, da bo projekt, ki se izvaja v eni državi članici, pomembno vplival na okolje v drugi državi članici, je potrebno izvesti Presoj o vplivov na okolje. Projekti vključujejo veliko deležnikov (nacionalne, regionalne in lokalne oblasti, nevladne organizacije, javnost). V primeru izvajanja in umeščanja ukrepov za varstvo voda je potrebno preveriti, ali je v skladu z Uredbo o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje (2014). Pristop k načrtovanju umestitve ukrepov je odvisen predvsem od velikosti in upravnih meja: država, regija, občina ali individualna kmetija in nacionalne zakonodaje s področja prostorskega načrtovanja. Prav zaradi kompleksne mreže uradnih postopkov je potrebno predhodno preveriti, kateri so ukrepi, ki bodo v največji možni meri dolgoročno izboljšali nastali problem, kje se nahajajo kritična območja vira obremenitev, kakšni so stroški predvidenih učinkovitih ukrepov in v kakšnem obsegu se morajo ti ukrepi izvajati. Cilj je dosežen, ko je načrt umeščanja sprejet, so ukrepi umeščeni oziroma se izvajajo. V tej točki se vzpostavi tudi program monitoringa, s katerim se preverja učinkovitost ukrepov in omogoča prilagoditve glede na naravne in družbene spremembe v vodozbirnem območju.

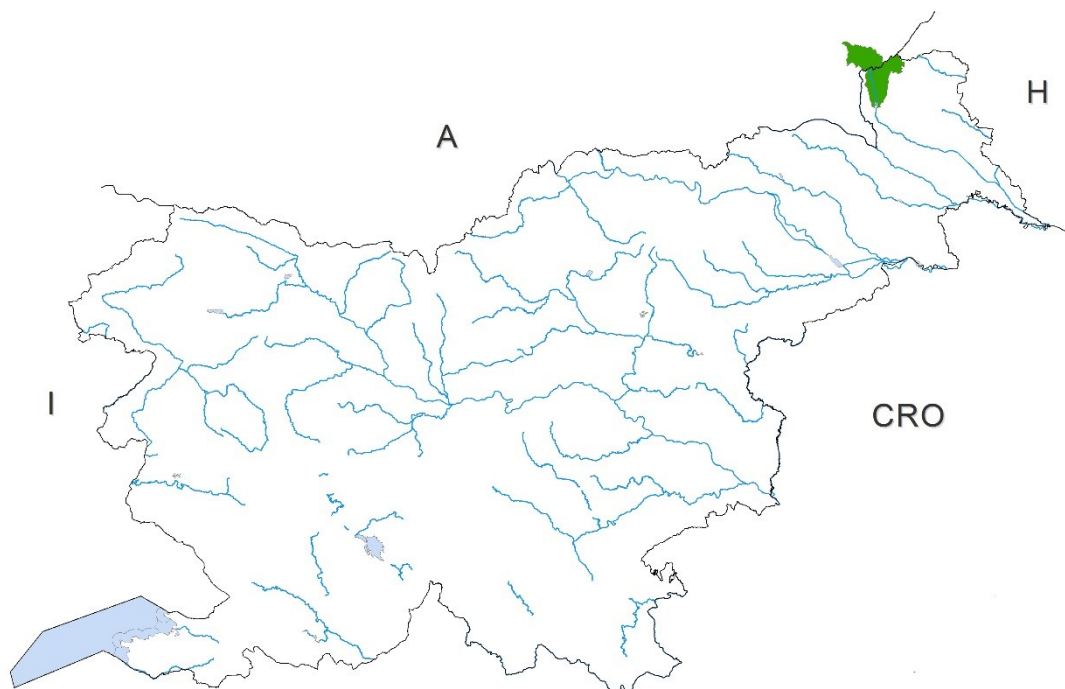


Slika 6: Postopek izbire in umeščanja ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacij
Figure 6: Decision flowchart for selection and placement of ERM into the reservoir watershed

4 MATERIALI IN METODE

4.1 IZBIRA TESTNEGA OBMOČJA

Za preverjanje zastavljenih hipotez smo izbrali vodozbirno območje akumulacije Ledavsko jezero, ki se nahaja v zahodnem delu Krajinskega parka Goričko na SV delu Slovenije (slika 7). Akumulacija je v skladu s Pravilnikom o določitvi in razvrstitvi vodnih teles površinskih voda (Ur. l. RS, št. 63/2005) uvrščena med močno preoblikovana vodna telesa površinskih voda (MPVT) s precej spremenjenimi hidrološkimi in morfološkimi značilnostmi glede na naravne razmere, zaradi katerih ne more dosegati dobrega ekološkega stanja. Kot navaja Triglav (2012), so vodnogospodarske razmere na območju Ledavskega jezera kritične, zato zahtevajo izvedbo temeljitih in obsežnih ukrepov za sanacijo, kajti le tako bo akumulacija lahko zagotavljala načrtovani obseg in koristno prostornino za predvidene namene: protipoplavno, namakalno, vodooskrbno, ribiško ter rekreacijsko. Hkrati Ledavsko jezero sodi v skupino stoječih voda, kjer je kljub določeni stopnji izboljšanja stanja, še vedno zaznati preobremenjenost s hranili, sredstvi za varstvo rastlin, nizko prosojnost (Secchijeva globina < 1 m), »cvetenje« alg in razraščanje makrofitov (Remec-Rekar, 2014). Razlog za slabo stanje se pripisuje kmetijstvu na površinah vodozbirnega območja (Mazej Grudnik in sod., 2013).



Slika 7: Vodozbirno območje Ledavskega jezera na karti površinskih voda Republike Slovenije
Figure 7: The watershed of the reservoir Ledavsko jezero on the map of surface waters of Republic Slovenia

4.2 AKUMULACIJA LEDAVSKO JEZERO

4.2.1 Opis Ledavskega jezera

Akumulacija Ledavsko jezero je bil zgrajen na reki Ledavi 1977 leta za zaščito mesta Murska Sobota pred poplavami. Po katastrofalnih poplavah v Prekmurju leta 1972 so vodnogospodarski strokovnjaki ugotovili, da bo z izgradnjo akumulacije pred poplavo zaščitene 10.000 hektarjev obdelovalne zemlje in mesto Murska Sobota, poplave pa se bodo precej zmanjšale še na dodatnih 20.000 hektarjih obdelovalne zemlje. Pri tem je bil osnovni namen akumulacije protipoplavna zaščita, ki mu je sledilo namakanje kmetijskih površin, zagotavljanje vode drugim uporabnikom in vzpostavitev razmer za razvoj ribištva, turizma ter rekreacije (Zapisnik ..., 1974). K strokovnemu sodelovanju so bili povabljeni tudi predstavniki Pomurske skupnosti za varstvo okolja in kmetijske zemljiške skupnosti. Zavod za urbanizem Maribor je izdelal študijo za preskrbo Prekmurja s pitno vodo, ki kot enega od vodnih virov vključuje tudi akumulacijo (Triglav, 2012).

Z izgradnjo zemeljskega jezusa z dolžino 750 m, višino 7,5 m in naklonom brežin 1:3 je reka Ledava zapolnila ravnico s cesto in mostom za jezom. Nadmorska višina minimalne gladine Ledavskega jezera (lokalno prebivalstvo ga imenuje tudi Domajinsko jezero ali Krašči) je bila določena na 218,4 m, nadmorska višina gladine koristne zaježitve na 220,9 m in gladine visokovodne zaščite na 222,4 m. Nadmorska višina krone jezusa je 223,5 m (Kovačec, 1977). Po prvotnem načrtu znaša poplavljen površina na koti 218,4 m 50 ha, na koti 220,9 m 143 ha in pri koti 222,5 m 218 ha. Največji volumen akumulacije znaša $5,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ in je bil po prvotnem projektu razdeljen na tri dele:

- Spodnji del (stalna ojezeritev) z minimalno prostornino akumulacije $0,47 \times 10^6 \text{ m}^3$ in koto gladine na 218,4 m.
- Srednji del (koristna-delovna prostornina, namenjena namakanju, ribištvu in rekreaciji) pri koti gladine 220,9 m znaša $2,42 \times 10^6 \text{ m}^3$.
- Zgornji del (zadrževanje poplavnega vala) pri koti 222,5 m ima prostornino $2,7 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Za odvajanje visoke vode skozi jez služi iztočni objekt. Jaškasti preliv ima koto krone na 220,9 m, dno na koti 214,0 m. Proti jezeru je v steni jaškastega preliva odprtina, ki se zapira s tablasto zapornico dimenzij $2,6 \times 5,50 \text{ m}$. Pravokotno na jašek je na dnu situiran prepust dimenzij dvakrat po $3,5 \times 3,5 \text{ m}$, ki vodi pravokotno skozi jez. Zaključuje se s podslapjem in 250 m dolgim odsekom reke Ledave v dvojnem profilu. Preliv mora pri maksimalni koti zaježitve 222,40 omogočati odtok $62,5 \text{ m}^3/\text{s}/50\% \text{ QKVV}$ (pretok katastrofalno visoke vode). V času nizkih voda je zagotovljen stalni minimalni odtok iz akumulacije $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, srednji odtok znaša $1,26 \text{ m}^3/\text{s}$ in pri maksimalnem izpustu $56 \text{ m}^3/\text{s}$. Sicer je obratovalni režim določen v dokumentu „Akumulacija Domajinci - Obratovalni red“ (Kovačec, 1977), ki je del tehničnega poročila projektne dokumentacije.

4.2.2 Kakovost vode v Ledavskem jezeru

Analize splošnih fizikalno kemijskih parametrov in parametrov kemijskega stanja na Ledavskem jezeru in reki Ledavi se opravljajo v okviru operativnega državnega monitoringa površinskih voda od leta 2007. Glede na to, da kriteriji za oceno ekološkega potenciala za biološke elemente še niso izdelani, se ocena izdelava na osnovi stanja splošnih fizikalno kemijskih parametrov in posebnih onesnaževal. Osnovno merilo pri določanju kemijskega stanja so zato še vedno kriteriji OECD. Podatki, ki smo jih pridobili na spletni strani Agencije RS za okolje (ARSO) kažejo, da povprečne letne vrednosti posameznih parametrov, akumulacija Ledavsko jezero uvrščajo med evtrofni- do hiperevtrofni tip jezer (preglednica 6). V letih 2008 in 2013 so bile v jezeru izmerjene tudi povečane koncentracije metolaklora. Zadnje poročilo (Remec-Rekar, 2014) navaja, da akumulacija Ledavsko jezero v skladu s kriteriji v Uredbi o stanju površinskih voda (2009) v letu 2013 ni dosegla ekološkega potenciala.

Preglednica 6: Povprečne letne koncentracije nekaterih fizikalno-kemijskih parametrov v akumulaciji Ledavsko jezero glede na OECD kriterije za razvrstitev v trofično kategorijo in okoljski standard za mataloklor

Table 6: Average annual concentrations of some physio-chemical parameters of the reservoir Ledavsko jezero based on OECD criteria for categorization into trophic category in Environmental standard for matalochlor

Leto	Fosfor celotni (povprečje) [µg P/l]	Dušik anorg. (povprečje) [µg N/l]	Prosojnost Secchi (povprečje) [m]	Klorofil <i>a</i> (povprečje) [µg/l]	Klorofil <i>a</i> (maksimum) [µg/l]	Metaloklor [µg/l]
2007	135	2978	0,3	61,4	205,8	0,11
2008	104	913	0,5	32	47,8	0,6
2009	137	1018	0,5	22,1	32,1	0,2
2010	70	824	0,5	32,3	67,5	0,29
2011	64	526	0,6	19,8	26,7	0,24
2012	100	522	0,6	28,4	37	0,29
2013	123	1229	0,6	16,7	23,7	0,77
TIP JEZERA	OECD kriteriji za razvrstitev jezer v trofično kategorijo					Okolj.stand.
u-oligotrofno	< 4	< 200	> 12	< 1	< 2,5	
oligotrofno	< 10	200 - 400	> 6	< 2,5	< 8	
mezotrofno	10 - 35	300 - 650	6 - 3	2,5 - 8	8 - 25	0,3
evtrofno	35 - 100	500 - 1500	3 - 1,5	8 - 25	25 - 75	
hiper-evtrofno	> 100	> 1500	< 1,5	> 25	> 75	

Koncentracijo suspendiranih snovi v vodi akumulacije so spremljali med leti 2003 in 2006. Iz preglednice 7 je razvidno, da povprečne letne vrednosti v letu 2003 presegajo priporočeno vrednost za skupne suspendirane snovi 25 mg TSS/l, kar je v skladu z Uredbo o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (2002). Ob tem maksimalne izmerjene koncentracije močno presegajo priporočeno vrednost.

Preglednica 7: Vrednosti suspendiranih snovi (mg/l) v akumulaciji Ledavsko jezero v okviru državnega monitoringa med leti 2003 in 2006. Vzorci so bili odvzeti v hipo- in metalimniju. (Agencija RS za okolje, ARSO)

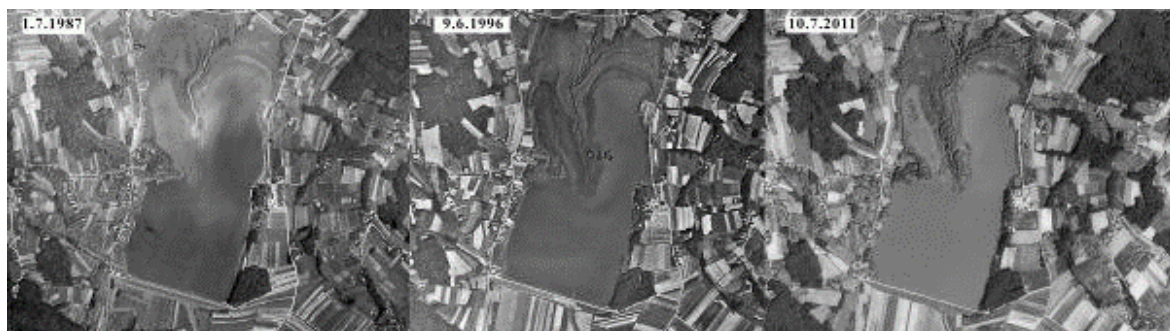
Table 7: Total suspended sediments (mg/l) in reservoir Ledavsko jezero, measured by State monitoring in years 2003 to 2006. Samples were taken in hypo- and metalimnion (Environmental Agency of Slovenia, ARSO)

Leto	Suspendirane snovi po sušenju (mg TSS /l)				
	Povprečje	Mediana	Standardni odklon	Maks.	Min.
2003	50,5	29,5	48,5	150,0	8,0
2004	21,8	18	13,5	51,0	12,0
2005	23,6	25	10,6	43,0	9,0
2006	24,8	9	56,0	210,0	1,6

Za zanesljivost napovedovanja trenda bi bilo potrebno izvajati večje število vzorčenj kot 2- do 4-krat na leto, saj se med vzorci, ki so odraz trenutnega stanja, kažejo velike razlike v koncentraciji (Mazej Grudnik in sod., 2013).

4.2.3 Odlaganje suspendiranih snovi

Zaradi morfoloških sprememb, ki so posledica odlaganja suspendiranih snovi, prihaja do razlik, na katere opozarja Triglav (2012) pri evidentiranju vodne površine. Od odkupljenih 164 ha za potrebe delovanja akumulacije, od katerih je bilo 122 ha spremenjenih v vrsto namenske rabe jezero, znaša danes površina dejanske rabe (voda) v evidenci GERK le 76 ha (Pravilnik o evidenci ..., 2008). Razlike se pojavljajo tudi glede na geodetski posnetek, ki ga je opravilo podjetje Geotim d.o.o. v letu 1998, kjer poplavljen površina pri koti 218,50 m znaša 43,7 ha in pri koti 220,50 m 118,6 ha. Spremembe v površini, zlasti na izlivnem delu reke Ledave v akumulacijo, so razvidne tudi iz arhivskih posnetkov Geodetskega inštituta Republike Slovenije (Slika 8). Območje delte se je, zaradi odlaganja rinjenih plavin, hitro širilo zlasti v prvih letih po nastanku, kar sovпада z opazovanji Straškrabe (2004). Kasneje se namreč rinjene plavine vnaša le v času poplav in visokih pretokov (Allan, 2007).



Slika 8: Ledavsko jezero na aero- in ortofotoposnetkih med leti 1987 in 2011, kjer je opaziti širjenje delte in izginjanje zaliva v SZ delu akumulacije (Geodetski inštitut Republike Slovenije, Izdaja arhivskih aeroposnetkov)

Figure 8: Lake Ledavsko jezero on aero and orthophoto images between 1987 and 2011, where an increase of delta and decrease of bay area in NW part of the reservoir is visible (Geodetic Institute of Slovenia, Archives of aerial photos)

Zmanjšana površina nakazuje na zmanjšanje volumna zaradi odlaganja suspendiranih snovi, potrebnega za primarni namen. Podrobnejša ocena izgube volumna bi bila mogoča s ponovnim geodetskim posnetkom ali sodobno batimetrično analizo.

Na podlagi enačbe 3 smo izračunali, da znaša učinkovitost prestrezanja sedimenta (TE) v Ledavskem jezeru pri delovni vsebini $2,42 \times 10^6 \text{ m}^3$ in srednjem iztoku iz akumulacije ($1,26 \text{ m}^3/\text{s}$) 79,5 %, ki se pri minimalnem zagotovljenem odtoku ($0,5 \text{ m}^3/\text{s}$) iz akumulacije poveča na 88,9 %.

4.3 REKA LEDAVA

Reka Ledava (nem. Limbach) je levi pritok reke Mure in je za Muro druga največja pomurska reka. Izvira pri vasi Pichla (občina Kapfenstein) na avstrijskem Štajerskem, na nadmorski višini 430 m. Dolžina reke do izliva v akumulacijo znaša 17,4 km, od tega 8 km poteka po avstrijskem ozemlju. Pred regulacijami je bila Ledava v večjem delu toka značilna nižinska reka z majhnim strmcem in počasnim tokom. Padavinski tok se zaradi pretežno ilovnatih naplavin, gričevnate krajine in dobro razvite hidrografske mreže (slika 11), hitro oblikuje. Zato so bile poplavne ravnice reke in njenih pritokov mokrotne in izpostavljene poplavam. Pred izgradnjo akumulacije je imela reka v poletnih mesecih zelo nizek vodostaj, saj ima zaradi gričevnatega površja in razmeroma položnih pobočij zelo nizek specifični odtok ($5,8 \text{ l/s/km}^2$; vodomerna postaja Čentiba) in odtočni količnik (21,6 %; vodomerna postaja Čentiba) (ARSO). Podrobneje so hidrološke lastnosti opisane v poglavju 4.4.6.3. Po oceni ekomorfološkega stanja Ledave (Vrhovšek in sod., 2007) je struga do Sotine sonaravno urejena z obrežno vegetacijo. Na odseku do Sv. Jurija je ob reki sklenjeni obrežni oleseneli pas vegetacije, vendar meandrov in tolmunov ter brzic ni opaziti. Zasenčenost zaradi drevesnih vrst je kar 80 %. Med Sv. Jurijem in Večeslavci je opaziti spodjedanje bregov na zavojih in ožinah, obrežna vegetacija je sestavljena pretežno iz močvirnih vrst. Med Večeslavci in Pertočo je struga kanalizirana, brežine so utrjene s travo in občasnim grmičevjem, vendar spodjedanje bregov ni opazno.

4.3.1 Kakovost reke Ledave

V zadnji Oceni stanja rek v Sloveniji v letu 2011 Agencije RS za okolje je ekološko stanje reke Ledave ocenjeno kot dobro. V skladu z Uredbo o stanju površinskih voda (2010) – mejne vrednosti razredov ekološkega stanja so koncentracije nitrata prestopile mejo za dobro ekološko stanje ($9,5 \text{ mg NO}_3 / \text{l}$) le v letu 2009 (preglednica 8). Po Uredbi o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (2002) povprečne letne koncentracije celotnega fosforja v vseh letih presežejo priporočene vrednosti za salmonidne ($\leq 0,2 \text{ mg TP /l}$) in le v letu 2008 za ciprinidne vode ($\leq 0,4 \text{ mg TP /l}$). Koncentracija skupnih suspendiranih snovi preseže priporočeno vrednost ($\leq 25 \text{ mg TSS /l}$) le v letu 2009, ki so ga zaznamovale nadpovprečne količine padavin.

Preglednica 8: Povprečne letne koncentracije hranil in suspendiranih snovi v reki Ledavi med leti 2007 in 2012 z osnovnimi statističnimi vrednostmi (ARSO) in z mejnimi ter priporočenimi vrednostmi

Table 8: Average annual concentrations of nutrients and total suspended solids in the river Ledava between 2007 and 2012 with basic statistical parameters (ARSO) and with the threshold and recommended values

Leto	Celotni dušik (mg TN /l)	Nitrati (mg NO ₃ /l)	Celotni fosfor (mg TP/l)	Ortofosfor (mg PO ₄ /l)	Suspendirane snovi (mg TSS /l)
2007	2,34	8,15	0,36	0,12	5,63
2008	2,03	7,05	0,49	0,09	13,63
2009	3,37	11,23	0,27	0,11	44,25
2010	2,50	8,75	0,39	0,09	17,20
2011	2,26	8,18	0,29	0,09	13,00
2012	2,28	7,65	0,34	0,06	18,20
Povprečje 2007 - 2012	2,46	8,50	0,35	0,09	18,65
Maks.	5,10	18,00	0,77	0,16	110,00
Min.	0,93	2,20	0,10	0,03	2,00
St.Dev.	0,77	2,95	0,20	0,04	23,89
Mejne / priporočene vrednosti	-	9,5 oz. 50	0,2 – 0,4	-	25

4.4 VODOZBIRNO OBMOČJE LEDAVSKEGA JEZERA

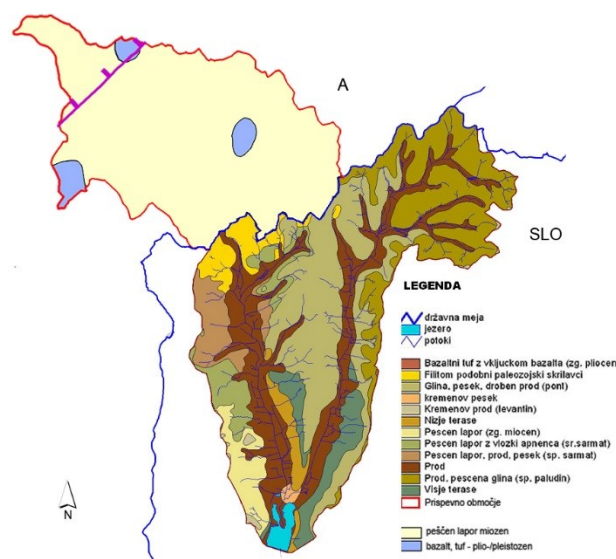
Vodozbirno območje akumulacije Ledavsko jezero do jezua obsega 105,25 km². Od tega se 33,7 km² območja nahaja v Avstriji. Območje se razteza čez štiri občine v Sloveniji (Cankova, Rogašovci, Kuzma in Grad) in tri v Avstriji (Kapfenstein, St. Anna am Aigen in Neuhaus am Klausenbach). Značilna je razpršena poselitev s povprečno gostoto prebivalstva 63 ljudi/km². Večja strnjena naselja se nahajajo v nižinskih predelih ob reki, kjer je Ledava ob tektonski prelomnici izoblikovala širšo dolino in ustvarila možnosti za gostejšo poselitev.

4.4.1 Geologija in geomorfologija

Vodozbirno območje sestavlja (i) strmejši in višji relief v povirju reke Ledave (Avstrija), kar je posledica trše geološke sestave karbonskih filitnih skrilavcev in bazalnega tufa, vulkanskega porekla in (ii) homogeno gričevje, kjer prevladujejo terciarni laporji ter gline (Žlebnik, 1978). Območje porečja Ledave in njenih pritokov je po geološki zgradbi iz obdobja miocena (slika 9). Ker so kamnine slabo sprijete, so močno podvržene delovanju zunanjih sil. Proti koncu pliocena je rečna erozija površje postopno spremenila v gričevnat svet. Debelina spodnjih pliocenskih plasti znaša od 600 do 800 m. Sestavljajo jih kremenovi peski in peščene gline. Pod njimi so glinaste plasti, predvsem v dolinah in na spodnjih delih pobočij, zato so doline vlažne. Na območju naselij Ocinje, Sotina in Serdica, tik ob avstrijski meji, prihajajo na površje paleozojski glineni skrilavci. Ti so odpornejši, zato so reliefne oblike bolj strme in izstopajo od ostale terciarne okolice. Sledi v površinski izoblikovanosti Goriškega je pustilo tudi vulkansko delovanje na prehodu iz spodnjega v srednji pliocen.

Središče vulkanizma je bilo v okolici Gleichenberga (Avstrija), v Sloveniji se ostanki bazaltnih tufov iz vulkanskega obdobja nahajajo na območju Gradu (Program ..., 2007).

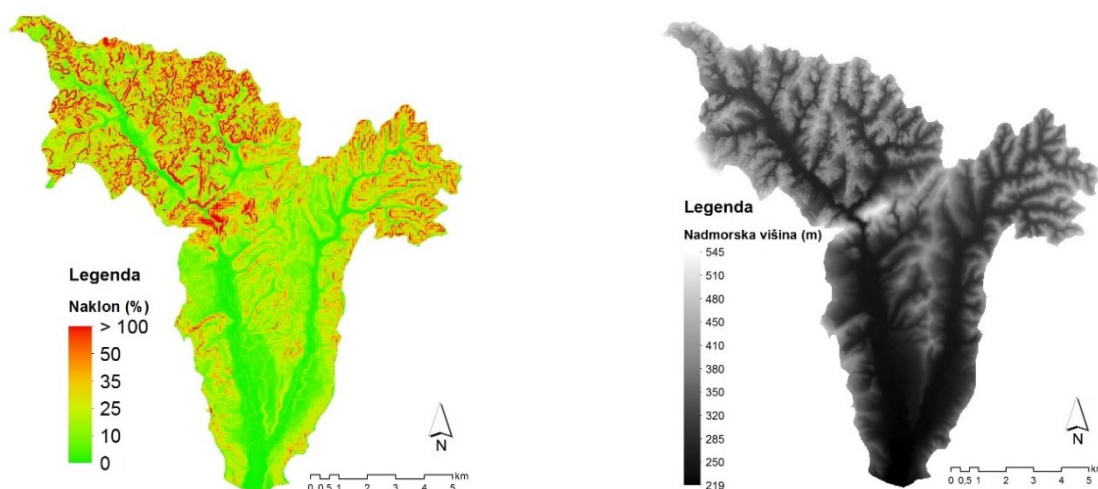
Menjavanje terciarnih in kvartarnih glinenih, ilovnatih, peščenih in prodnatih sedimentov, ki so slabo sprijeti, lahko vodi k usadom in polzenju tal. Na Goričkem so usadi sicer manjši, a številni (Gams, 1959). Tudi Natek (1996) navaja, da lahko slabo sprijeti glinasti in peščeni oligocenski in miocenski sedimenti ob poletnih neurjih sprožijo desetine ali celo stotine zemeljskih plazov. Komac in Zorn (2009) sta poskušala s kvantitativnim pristopom ugotoviti, kakšno je razmerje med plazenjem in drugimi geomorfnimi procesi. Ugotovila sta, da največ plazov (48,9 %) nastane pri naklonih 9° (15,4 %), ki obsegajo tudi največji delež površine (48,9 %). Pri tem je relativna plazovna stopnja najvišja na zahodnem Goričkem.



Slika 9: Geološka karta vodozbirnega območja Ledavskega jezera (Krajinski park Goričko in Geološki zavod Slovenije, Geologische Bundesanstalt Österreich, KM500 Austria Geologie)

Figure 9: Geological map of the Ledavsko jezero watershed (Goričko Nature Park and the Geological Survey of Slovenia, Bundesanstalt Geologische Österreich, Austria KM500 Geologie)

Na podlagi analize digitalnega modela višin (Geodetska uprava Republike Slovenije - GURS) z natančnostjo 25 x 25 m je razvidno, da nakloni med 11 – 24 % predstavljajo kar 37 % površin, sledijo površine z naklonom med 0 - 11 %, ki obsegajo 35,5 % površin. Površine z nakloni od 24 - 35 % predstavljajo 16,1 % površin. Najbolj strma pobočja z nakloni nad 50 % pokrivajo 3,5 % območja (slika 10). Najvišja točka povodja je izpod Gleichenberger Kogeln, kjer doseže 598 m.n.v., najnižja točka obravnavanega območja pa je pri mostu v Pertoči oz. severno od lokalne ceste Ropoča-Lukaj potok na 220,5 n.m.v. Sicer je najvišji vrh na slovenski strani tega območja Sotinski breg ali Kugel s 418 m.n.v.

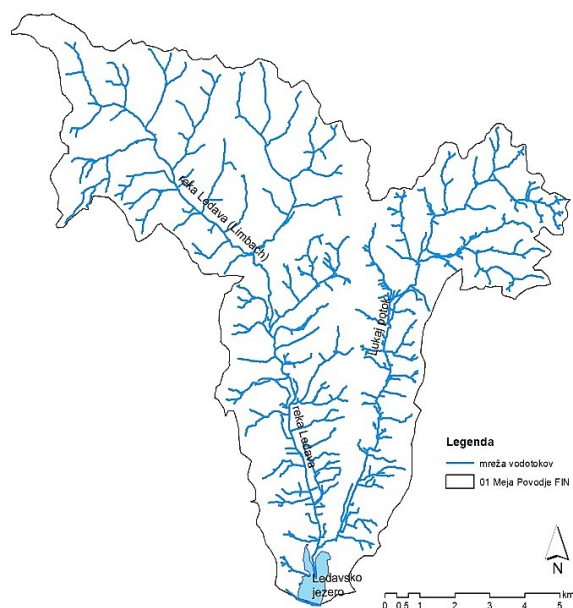


Slika 10: Nakloni in nadmorske višine vodozbirnega območja Ledavskega jezera oblikovane na digitalnem modelu višin DMV (GURS, 2012)

Figure 10: The slope and elevation of the reservoir Ledavsko jezero watershed created from a digital elevation model DEM (GURS, 2012)

Glede na geološko sestavo tal na obravnavanem povodju gornje Ledave ni večjih in izdatnejših izvirov vode, zato Goričko ni v celoti samooskrbno z neoporečno pitno vodo. Na obravnavanem območju se nahajajo slabo prepustni miocenski sedimenti, ki gradijo ozemlje Goriškega ob avstrijski meji. Območje metamorfnih paleozojskih skrilavcev med Ocincjem in Sotino sodi med plasti, ki so dejansko brez virov podzemne vode. V ravninskem delu je podtalnica blizu terena (Program ...2007, Priloga 3). Iz hidrogeološkega vidika spada vodozbirno območje Ledavskega jezera med manjše medzrnske in razpoklinske vodonosnike z lokalnimi ali omejenimi viri podzemne vode, za katere je značilna visoka izdatnost in visoka prepustnost, kar vpliva na veliko hidrološko odzivnost vodozbirnega območja na padavinske dogodke. Padavinski odtok se, zaradi topografskih lastnosti in dobro razvite hidrografske mreže, hitro oblikuje (Grubar Brečko, 2009).

Gosta mreža vodotokov je prikazana na sliki 11, iz katere je razvidno, da je mreža gostejša na slovenski strani vodozbirnega območja. Zaradi prevlade neprepustnih tal v dolinah je gostota vodnega omrežja nekaterih pritokov znatno večja od povprečja. Izstopata predvsem potok Kopica z gostoto $2,35 \text{ km/km}^2$ in Lipnica z $1,77 \text{ km/km}^2$ (Kolbezen in Pristov, 1998). Osrednji del tvorita reka Ledava (v Avstriji: Limbach) in Lukaj potok, ki se izliva v reko Ledavo tik pred Ledavskim jezerom. Dolžina reke Ledave do izliva v Ledavsko jezero znaša 16,4 km, dolžina Lukaj potoka do izliva v Ledavo pa 10,27 km. Reka Ledava od izliva v Avstriji (279 m n.m.) pri kraju Kapfenstein se v Ledavsko jezero izliva na nadmorski višini 220,5 m.

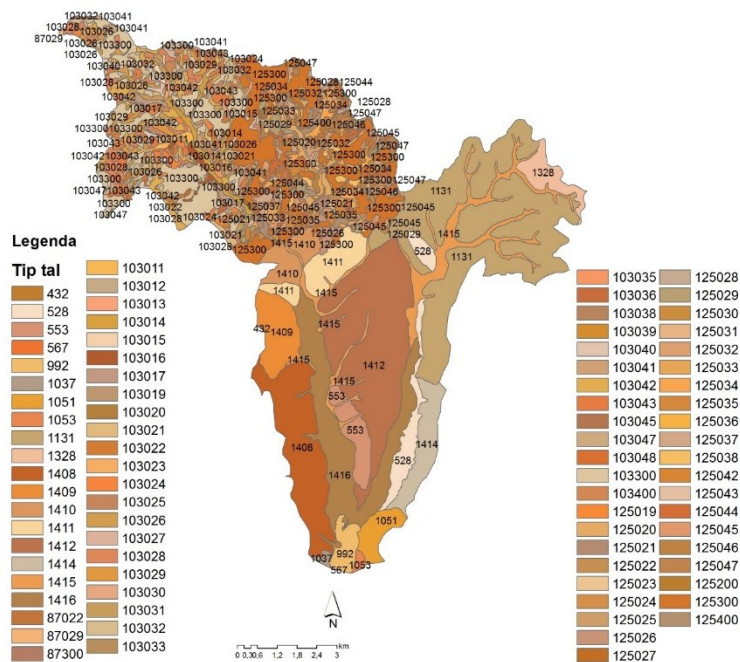


Slika 11: Gosta mreža vodotokov na vodozbirnem območju Ledavskega jezera (Geodetska uprava Republike Slovenije in Zavod za geoinformacijski sistem dežel Štajerske in Gradiščansko - GIS Steiermark in GIS Burgenland)

Figure 11: Dense stream network of the reservoir Ledavsko jezero watershed (The Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia and Geoinformation system Institution of Land Steiermark and Burgenland – GIS Steiermark and GIS Burgenland)

4.4.2 Pedologija

Dno dolin prekrivajo aluvialne ilovnate in peščeno-ilovnate naplavine, kjer se izmenjujejo lahko do težje prepustne parapodzolne in oglejene peščeno-ilovnate in glinene prsti, zato je gostota vodnega omrežja nekaterih pritokov znatno večja od povprečja v Sloveniji (ARSO, 2002). Tip tal na območju lahko razberemo iz združene digitalne pedološke karte Centra za raziskave in preučevanje tal za gozd, naravne nevarnosti in krajino (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, BFW) Avstrije in Centra za pedologijo in varstvo okolja (Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani). Karto sestavlja 17 pedokartografskih enot (PKE) v Sloveniji in 62 kartografskih enot tal (Bodenform, BOFO) v Avstriji (slika 12).



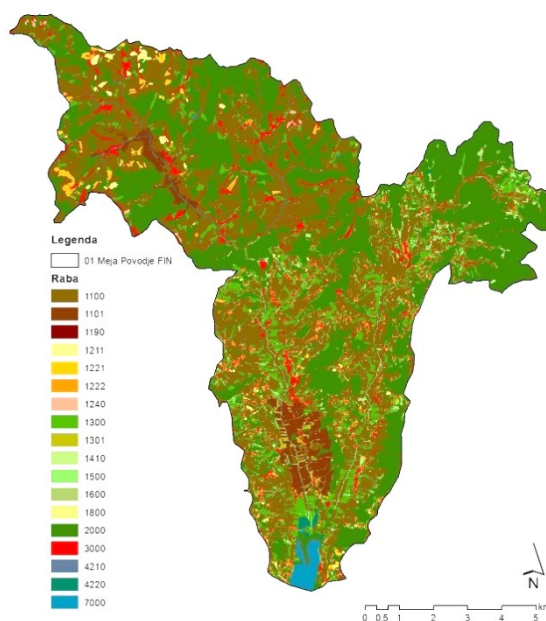
Slika 12: Digitalna pedološka karta tal vodozirnega območja Ledavskega jezera (M 1:25000)
Figure 12: Digital soil map of the reservoir Ledavsko jezero watershed (M 1: 25000)

Razlike v reliefni izoblikovanosti, matični osnovi in vodnih značilnostih so vplivale na razlike v sestavi tal, ki jo sestavlja več pedokartografskih enot (PKE). Največji del vodozirnega območja prekrivajo srednje in zgornje-pliocenski prod, pesek in različne glin. Prod in pesek sta v glavnem kremenova, le delno gnajnsna, amfibolitova oz. blestnikova. Doline ob potokih so večinoma ozke in vlažne, zato se naselja držijo pobočij in slemen, po katerih je speljana večina cest. Na podlagi slike 12 lahko razberemo, da se v dolinah vodotokov izmenjujejo srednje močni evtrični hipogleji (npr. 1416), ravninski psevdogleji (PKE 553) in obrečna, evtrična zmerno oglejena tla (PKE 1415). Največji odstotek (27,07%) prekrivajo psevdoglejena distrična rjava tla (PKE 1412, 103032, 103037, 125038,) in distrična rjava tla (PKE 1131, 125032, 125033, 125029, 103028, 103023, 87022) na pliocenskih sedimentih, ki so izprana in slabo rodovitna. Na globoko oglejenih obrečnih tleh in mineralnem hipogleju se širijo mokrotni travniki, medtem ko distrična in oglejena distrična rjava tla prekrivajo njive. Površina tal, s skromno snežno odejo, na tem območju v zimskih mesecih pogosto zmrzne, zato ob spomladanskem taljenju nastanejo ugodne razmere za poljenje preperine (Gams, 1959).

4.4.3 Raba zemljišč

S pomočjo kart namenske rabe občin v Sloveniji (Cankova, Rogašovci, Kuzma in Grad) in občin v Avstriji (St. Anna am Aigen, Kapfenstein in Neuhaus am Klausenbach), ki smo jih združili s karto dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč (Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano), smo oblikovali karto dejanske rabe zemljišč za celotno vodozbirno

območje (slika 13). Zaradi grobe delitve namenske rabe prostora (Flächenwidmung) v Avstriji (območja namenjena gradnji, prometne površine, zelene in parkovne površine, površinske vode), smo s pomočjo digitalnega ortofoto posnetka (DOF, M 1:5000) ročno izrisali travnike in zemljišča ostalih trajnih nasadov ter jim pripisali oznako, ki sovпада z vrsto dejanske rabe (1300 – trajni travnik, 1240-ostali trajni nasadi). Hkrati smo rabi njiva ali vrt (1100) in trajni travnik (1300) združili z območji melioracijskih jarkov in jim pripisali novo šifro: 1101 (njiva z melioracijami) in 1301 (trajni travnik z melioracijami).



Slika 13: Dejanska raba zemljišč vodozbirnega območja Ledavskega jezera
Figure 13: Landuse of the reservoir Ledavsko jezero watershed

Za Goričko je značilna velika razdrobljenost kmetijskih posesti. Dobra tretjina kmetijskih gospodarstev v letu 2010 ima manj kot 3 ha, povprečna velikost zemljišč/kmetijo znaša 3,94 ha (www.surs.si, 24. 2. 2015). Kmetijstvo je brez dvoma dejavnost, ki ohranja območje Goriškega obdelano in poseljeno, sonaravni načini pridelave pa predstavljajo osnovo za nadaljnji razvoj turizma. Iz preglednice 9 je razvidno, da dobro tretjino vodozbirnega območja (37,8 %) prekrivajo kmetijska zemljišča, sledijo gozdovi (36,7 %), ki skupaj z drevesi in grmičevjem ter zemljišči poraslimi z drevesi obsegajo 41,23 km². Travniki in travniki z melioracijami obsegajo 12,1 %. Delež vinogradov, sadovnjakov in drugih trajnih nasadov je majhen. Največ je ekstenzivnih sadovnjakov, ki pokrivajo 1,6 % površin sledijo intenzivni sadovnjaki (0,9 %), vinogradi (0,7 %) ter ostali trajni nasadi (0,2 %). Kmetijska zemljišča v zaraščanju in neobdelana kmetijska zemljišča obsegajo 1,7 % površin, preostalo pokrivajo pozidana in sorodna zemljišča, trstičje in vode.

Preglednica 9: Raba zemljišč na vodozbirnem območju Ledavskega jezera
Table 9: Landuse of the reservoir Ledavsko jezero watershed

Raba zemljišč		Površina (km ²)	Površina (%)
Šifra	Opis		
1100	Njiva ali vrt	36,490	34,7
1101	Njiva z melioracijami	3,302	3,1
1190	Rastlinjak	0,001	0,01
1211	Vinograd	0,705	0,7
1221	Intenzivni sadovnjak	0,954	0,9
1222	Ekstenzivni sadovnjak	1,708	1,6
1240	Ostali trajni nasadi	0,184	0,2
1300	Trajni travnik	12,413	11,8
1301	Trajni travnik z melioracijami	0,318	0,3
1410	Kmetijsko zemljišče v zaraščanju	1,657	1,6
1500	Drevesa in grmičevje	0,950	0,9
1600	Neobdelano kmetijsko zemljišče	0,126	0,1
1800	Kmetijsko zemljišče poraslo z gozdnim drevjem	0,010	0,01
2000	Gozd	38,604	36,7
3000	Pozidano in sorodno zemljišče	6,511	6,2
4210	Trstičje	0,084	0,1
4220	Ostalo zamočvirjeno zemljišče	0,196	0,2
7000	Voda	1,039	1,0
Skupna vsota		105,253	100,0

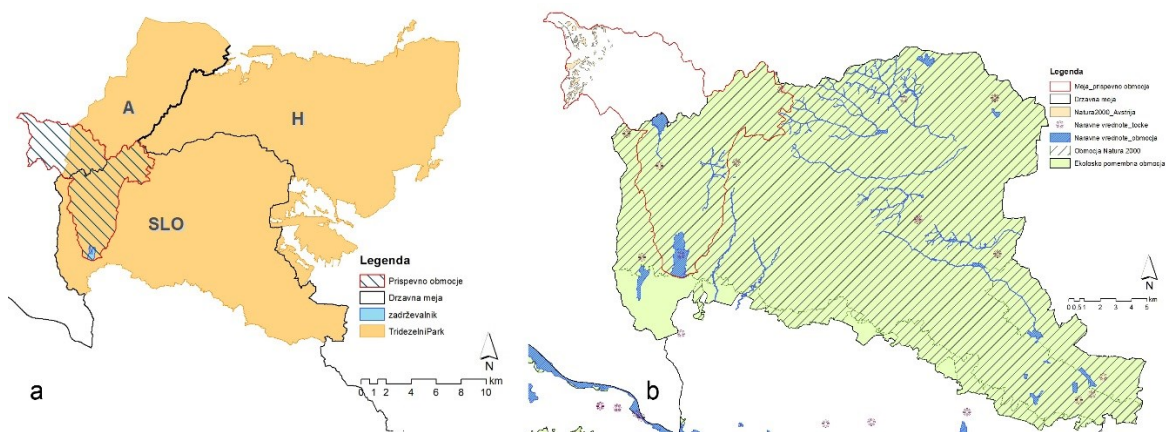
Po podatkih Mazej Grudnik in sod. (2013) med žiti prevladuje gojenje koruze za zrnje, ki je v letu 2007 pokrivala 19,2 % površin, letu 2010 pa 16,2 % površin. Sledi pšenica s 15 % površin v letu 2007 oziroma 14,1 % površin v letu 2010. Ječmena je v obeh obravnavanih letih nekaj čez 11 %. Druga žita (proso, tritikala, rž, ajda..) zavzemajo 5,2 % površin v letu 2007, v letu 2010 pa skoraj 2 % površin manj. Med leti 2007 in 2010 se je zmanjšal delež površin na katerih se pridelujejo žita, za 20 %, delež industrijskih rastlin (oljna ogrščica, buče,..) se je povečal za 3% in delež zelene krme (silažna koruza idr.) za 5 %.

4.4.4 Naravna dediščina

Vodozbirno območje Ledavskega jezera se nahaja na območju Krajinskega parka Goričko, ki obsega 462 km² in 11 občin (slika 14). Park je bil ustanovljen v letu 2003 z Uredbo o Krajinskem parku Goričko (Ur. l. RS, št. 101/2003) in je sestavni del Trideželnega parka Goričko – Raab - Örseg. Ustanovljen je bil z namenom, da se zavarujejo naravne vrednote, ohrani biotska raznovrstnost in krajinska pestrost ter omogočajo razvojne možnosti prebivalstva na Goričkem. Med razvojnimi usmeritvami je v Uredbi navedeno, da se spodbuja razvoj podeželja in naravi prijazne oblike kmetovanja, ki so usklajene z varstvom naravnih vrednot in kulturne dediščine, ohranjanjem biotske raznovrstnosti in krajinske

pestrosti, s pospeševanjem pridelovanja starih sort kulturnih rastlin in z gojenjem avtohtonih pasem domačih živali in tudi njihovih produktov. Hkrati se spodbuja uporaba okolju prijaznih tehnologij in metod pri gospodarjenju z naravnimi viri.

Območje parka je uvrščeno tudi v območje Natura 2000 po Direktivi EU o pticah (79/409/EEC) in tudi po Direktivi EU o varstvu habitatov (92/43/EEC), katerih namen je povezati območja, pomembna za naravo v ekološko mrežo in tako ohraniti biotsko raznovrstnost v Evropi. Med naravne znamenitosti se uvršča tudi Ledavsko jezero, ki kljub umetnemu nastanku nudi habitat številnim organizmom. Samo v litoralnem pasu trstičja, rogoza, šašev, ločja in vrbovja gnezdiijo bičja trstnica (*Acrocephalus schoenobaenus*) in rakar (*Acrocephalus arundinaceus*) ter vse tri vrste cvrčalcev: kobiličar (*Locustella naevia*), trstni cvrčalec (*Locustella luscinioides*) in rečni cvrčalec (*Locustella fluviatilis*). Obvodno in vodno telo so naselile še številne druge vrste rastlin in živali. Med naravne znamenitosti sodi tudi struga reke Ledave v Rogašovcih, ki je s sonaravno podobo in ohranjeno obrežno zarastjo ter naravnimi hidrološkimi in morfološkimi značilnostmi del obsežnega habitata vidre (*Lutra lutra*) in jelševca (*Astacus astacus*). Na vodozbirnem območju Ledavskega jezera med naravne znamenitosti spadajo še mokrotni travniki v Pertoči, Slatinski vrelec v Nuskovi in Sotini, Sotinski breg (krajinsko in geomorfološko pomemben hrib), nahajališče bazalta in piroklastitov v kamnolomu severno od Grada ter pravi kostanj v Gerlincih zahodno od Ledavskega jezera (slika 13).



Slika 14: Krajinski park Goričko je del Trideželnega parka Goričko – Raab – Örség (a). Vodozbirno območje Ledavskega jezera v Sloveniji je v celoti del Krajinskega parka Goričko, ki obsega Ekološko pomembna območja, Območje Nature2000 in nekaterih naravnih vrednot, v Avstriji se na severnem delu območja nahajajo območja Nature2000 (b)

Figure 14: Nature Park Goričko is part of the Trilateral Nature Park Goričko - Raab - Örség (a). Ledavsko catchment area of the lake in Slovenia is fully part of the Goričko Nature Park, which comprises ecologically important areas, Nature2000 and some natural values, in Austria, in the northern part of the area located area Nature2000 (b)

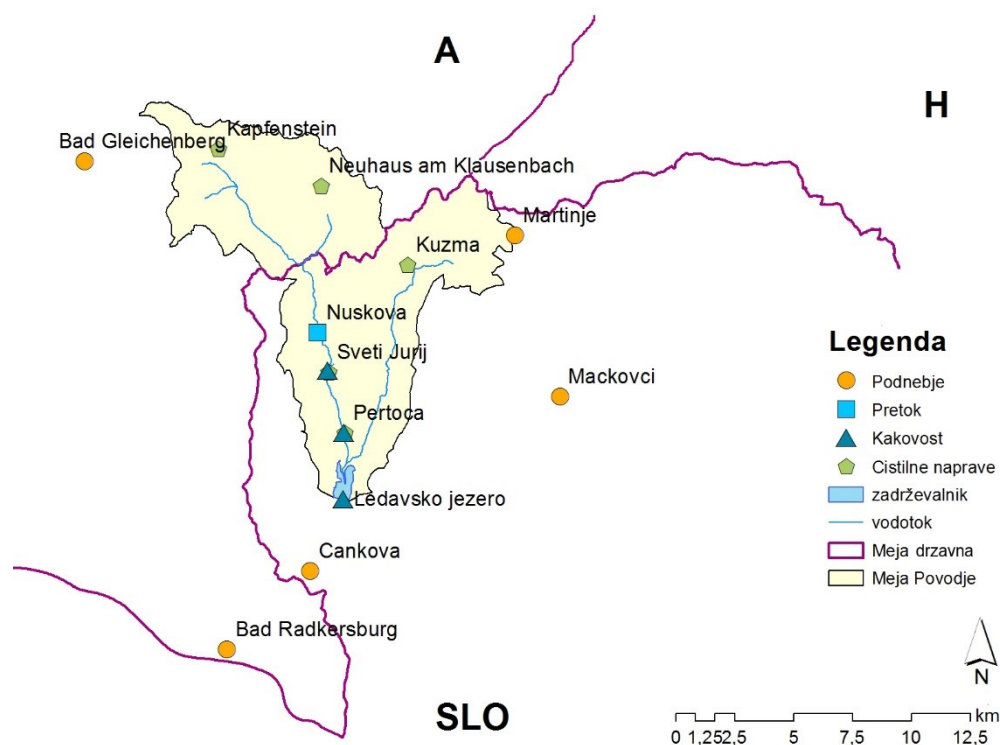
4.4.5 Viri onesnaževanja

Točkovnih virov je na vodozbirnem območju razmeroma malo. Število evidentiranih divjih odlagališč se je od leta 2010 do 2011 zmanjšalo iz 71 na 39 (Mazej Grudnik in sod., 2013). Edini manjši industrijski obrat je podjetje ALTRAD-LIV d.o.o. in ne prispeva k onesnaževanju okolja. Med točkovne vire tako lahko štejemo le tri čistilne naprave v Sloveniji (Pertoča, Sv. Jurij in Kuzma) ter dve v Avstriji (Kapfenstein, Neuhaus am Klausenbach), prikazane na sliki 15.

Za izračun obremenjevanja okolja z dušikom in fosforjem so Mazej Grudnik in sod. (2013) uporabili metodo OECD-EUROSTAT (2007). Osnova izračuna je razlika med količino dušika in fosforja, ki ga vnesemo v tla (vnos), ter količino dušika in fosforja, ki ga s pridelki odstranimo s kmetijskih površin (odvzem). V izračun bilance so vključeni podatki o površinah GERK v letih 2010 in 2007, ki so pridobljeni preko Ministrstva za kmetijstvo in okolje (MKO) iz D obrazca zbirnih vlog, vodenih pri Agenciji RS za kmetijske trge in razvoj podeželja (AKTRP). V izračun so bila všteta le kmetijska zemljišča, vključena v izvajanje ukrepov KOP in obsegajo 1475,2 ha, kar pomeni 52,4 % vseh zemljišč dejanske kmetijske rabe. Zaradi pomanjkanja podatkov, izračuna za Avstrijo nismo uporabili. V letu 2010 se je z izvajanjem kmetijske dejavnosti na obdelovalne površine vključene v KOP vneslo 367,7 t dušika. S pridelki je bilo odvzetega 134 t, tako je na območju kmetijskih zemljišč ostalo neuporabljenega 233,7 t dušika. Tudi fosforja je bilo v letu 2010 več vnesenega kot ga je bilo s pridelki odvzetega, zato je v okolju ostalo 28 t fosforja. Čeprav se je delež kmetijskih zemljišč v uporabi od leta 2007 do leta 2010 zmanjšal za 7,5 % (Mazej-Grudnik in sod., 2013) je ostanek dušika na površinah večji za 10 %, medtem ko je ostanek fosforja manjši za 15 %. To se lahko odraža tudi na koncentraciji NO_3^- v vodi reke Ledave, ki je bila leta 2010 višja kot v letu 2007, medtem ko je koncentracija TP padla.

4.4.6 Podnebje

Zahodni del Goriškega spada med najbolj sušna območja Slovenije. Značilno je celinsko podnebje z vročimi poletji in mrzlimi zimami. Podatki so pridobljeni iz padavinskih postaj Cankova (46°43'25,67" N 16°0'54,45" E), Mačkovci in Martinje (46°50'53,57" N 16°8'13,79" E) in meteoroloških postaj Bad Gleichenberg (46°52'25,67" N 15°54'41,95" E) in Bad Radkersburg (46° 41,3' N, 15° 59,3' E). Za Slovenijo je podatke zagotovila Agencija RS za okolje (ARSO), za Avstrijo Centralni zavod za meteorologijo in geodinamiko (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, ZAMG). Postaje so prikazane na sliki 15.

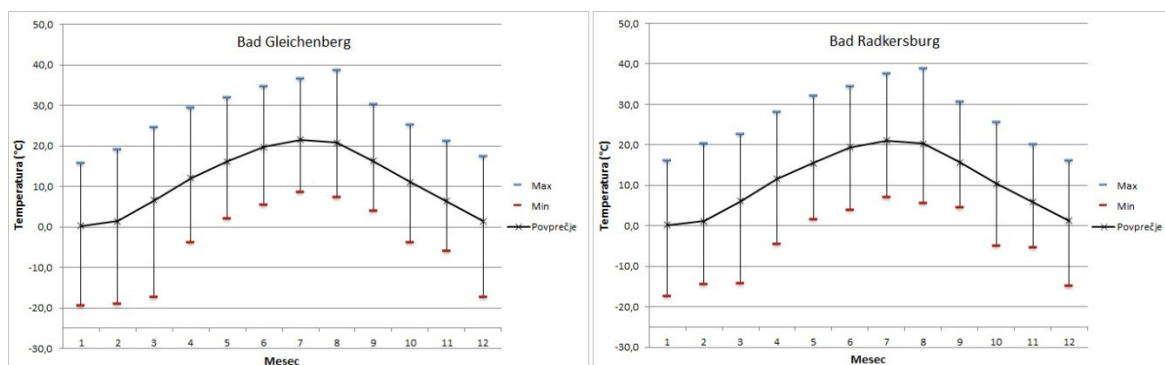


Slika 15: Merilna mesta za kakovost voda in podebje, za vodomerno postajo Nuskova in lokacije čistilnih naprav na širšem območju akumulacije Ledavsko jezero

Figure 15: Monitoring points for water quality and climate data, gauging station Nuskova and location of treatment plants in the area of the reservoir Ledavsko jezero

4.4.6.1 Temperatura

Najvišje temperature vrednosti so značilne v poletnih mesecih. Povprečne dnevne temperature (2003 - 2014) so najvišje v mesecu juliju, ko dosežejo 21 °C, najnižje so izmerjene v mesecu januarju (-0,1 °C). Najvišja temperatura je bila izmerjena 8. 8. 2013 v Bad Radkersburgu in je znašala 38,8 °C, v Bad Gleichenbergu je znašala 0,2 °C manj. Najnižja temperatura v Bad Gleichenbergu (-19,4 °C) je bila izmerjena 25. 1. 2006, v Bad Radkersburgu je 24. 1. 2006 dosegla -17,4 °C. Na sliki 16 so prikazane povprečna, maksimalna in minimalna mesečna temperatura na omenjenih postajah.

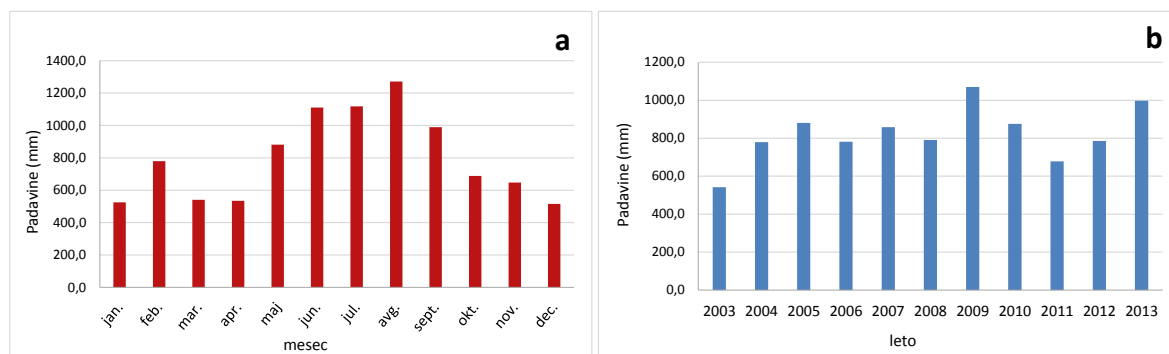


Slika 16: Povprečna, maksimalna in minimalna mesečna temperatura za obdobje 2003-2013 na postajah Bad Radkersburg in Bad Gleichenberg

Figure 16: The average, maximum and minimum monthly temperature for the period 2003-2013 at the stations Bad Radkersburg and Bad Gleichenberg

4.4.6.2 Padavine

Vodozbirno območje je pod vplivom kontinentalnega podnebja, kjer največ padavin pade v poletnih mesecih zlasti v obliki ploh in neviht, ki jih pogosto spremlja močan veter (ARSO, 2009). Območje sodi med predele z najmanj padavinami, kjer v povprečju pade med 800 – 900 mm dežja. Največ padavin pade v mesecu avgustu (1270,77 mm) in juliju (1118,16 mm) (slika 17a). Najmanj padavin v obdobju 2003 – 2013 je bilo zabeleženih v mesecu januarju (525,46 mm) in decembru (515,34 mm). Največja dnevna količina padavin v obdobju med januarjem 2003 in januarjem 2014 je bila zabeležena 15. 5. 2006, ko je padlo 78,5 mm dežja.



Slika 17: Povprečne mesečne (a) in letne (b) padavine vodozbirnega območja Ledavskega jezera za obdobje 2003-2013 (ARSO in ZAMG)

Figure 17: Average monthly (a) and annual (b) rainfall for the reservoir Ledavsko jezero watershed for the period 2003 - 2013 (ARSO and ZAMG)

Sicer je največ padavin v tem obdobju padlo v letih 2009 (1069,97 mm) in 2013 (997,05 mm), medtem ko sta bili leti 2003 (542,29 mm) in 2011 (677,97 mm) med najbolj sušnimi (slika 17b). V letu 2003 je zaradi pomanjkanja padavin negativna vodna bilanca v tleh nastopila izjemno zgodaj. Marec se je uvrstil med suhe in razmeroma tople mesece, pomanjkanje padavin se je nadaljevalo tudi maja in junija. Junij so zaznamovale tudi

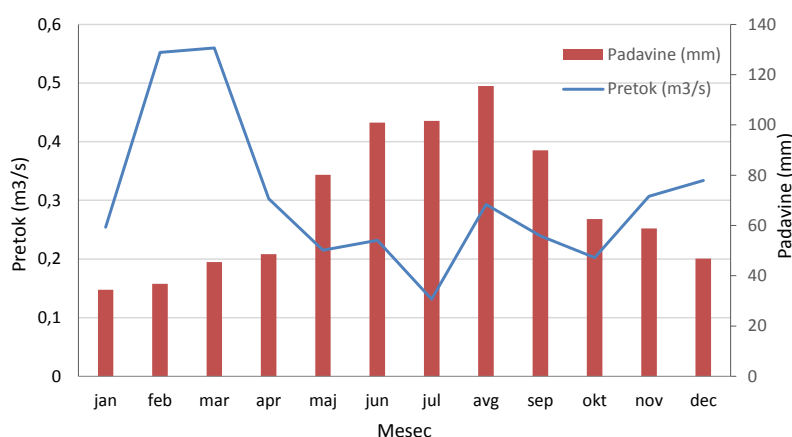
ekstremno visoke temperature zraka. Najvišje dnevne temperature so več kot pol meseca presegale 30°C. Povprečna temperatura zraka je bila v večjem delu države kar 5 do 7°C višja od dolgoletnega povprečja, padavine so dosegle le 30 do 50 % dolgoletnih vrednosti (ARSO, Meteorološki letopis 2003).

Za leto 2009 so značilne visoke vode čez celotno leto, izstopal je mesec december, ko so v velikem delu Slovenije reke poplavljalje zaradi močnih padavin in taljenja snega, saj se leto uvršča med deset najtoplejših let v Sloveniji, ko so se temperature rek in jezer na večini merilnih mest gibale nad obdobjnim povprečjem (Kobold in sod., 2012).

4.4.6.3 Hidrološke lastnosti

Reka Ledava ima dežno-snežni režim, kar pomeni, da so pretoki večji v zgodnjem spomladanskem in pozno jesenskem obdobju, kadar je povečan površinski odtok zaradi taljenja snega in intenzivnejših padavin. Iz hidrograma (slika 18) je razvidno, da so kljub visokim povprečnim padavinam v poletnem obdobju vrednosti pretoka nizke. V tem obdobju se pretok odziva na padavine, vendar vrednost zaradi visokih temperatur in z njimi povezane evapotranspiracije ostajajo nižje kot v obdobju med februarjem in aprilom, ko se pričneta taliti led in sneg in so padavine pogostejše. Na večji odtok med padavinskimi dogodki vpliva tudi raba tal. Površine brez vegetacijskega pokrova povzročajo hitrejši odtok v mokrih obdobjih, medtem ko je v suhih obdobjih retencijska kapaciteta tal zmanjšana do te mere, da lahko privede do pomanjkanja vode v vodotoku.

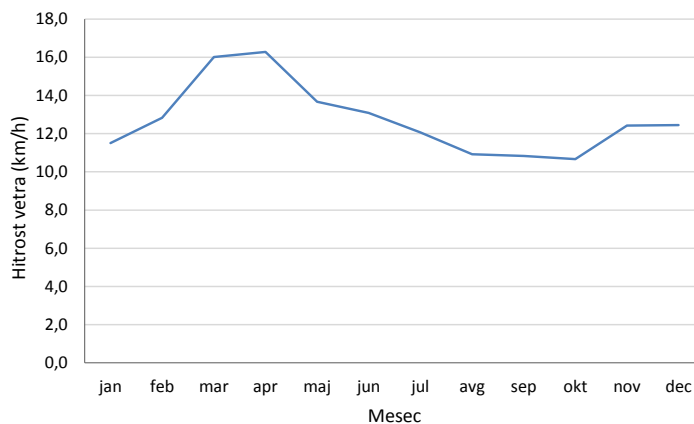
S hidrogramom na vodomerni postaji Nuskova (46°48'38,14" N 16°1'39,02" E) je v obdobju med 2003 in 2014 največji izmerjeni pretok 4. 8. 2009 znašal 17,8 m³/s in najnižji 22. 8. 2003, ko je bilo zabeleženo 0,002 m³/s. Merilno mesto je prikazano na sliki 15.



Slika 18: Povprečna mesečna količina padavin in povprečni pretok na vodomerni postaji Nuskova (2003 - 2013)

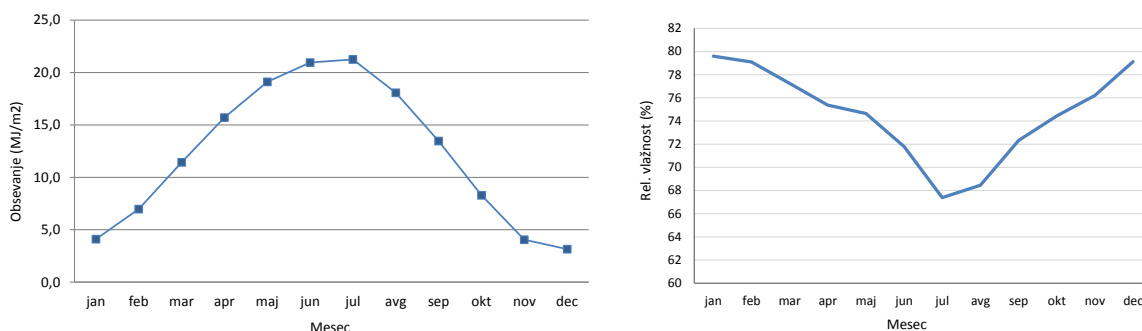
Figure 18: The average monthly rainfall and average flow at the gauge station Nuskova (2003 - 2013)

Na vodno bilanco porečij in vodozbirnih območij v veliki meri vliva tudi evapotranspiracija. Na proces izhlapevanja in transpiracije (evapotranspiracijo) ob rastlinskih dejavnikih in okoljskih razmerah vplivajo še meteorološki: sončno obsevanje, temperature zraka, vlaga v zraku in hitrost vetra (Cesar in Šraj, 2012). Najpogostejše vetrovi, na postaji Bad Gleichenberg, pihajo iz južne smeri in imajo letno povprečno hitrost 12,7 km/h. Najnižja povprečna mesečna hitrost vetra je bila zaznana januarja (11,5 km/h) in najvišja aprila, ko veter v povprečju piha s hitrostjo 16,3 km/h (slika 19).



Slika 19: Povprečna mesečna hitrost vetra (km/h) na vodozbirnem območju Ledavskega jezera (2003-2013)
Figure 19: Average monthly wind speed (km/h) in the watershed of the reservoir Ledavsko jezero (2003-2013)

Največ dnevnega sončnega obsevanja območje prejme med majem in avgustom. V juliju znaša povprečna dnevna moč 21,1 MJ/m². Močno sončno obsevanje in nizka relativna zračna vlažnost v poletnih mesecih (slika 20) kažeta na močno izhlapevanje vode iz vodnih teles, utrjenih in neporaslih površin.



Slika 20: Povprečno mesečno obsevanje (MJ/m²) in relativna vlažnost zraka na vodozbirnem območju Ledavskega jezera (povprečje postaj Bad Gleichenberg in Bad Radkersburg, 2003-2013)
Figure 20: Average monthly radiation (MJ/m²) and relative air humidity (%) in the watershed of the Ledavsko jezero (average of stations Bad Gleichenberg and Bad Radkersburg, 2003-2013)

Po podatkih ARSO doseže povprečna referenčna evapotranspiracija za postajo Veliki Dolenci in Murska Sobota najvišje vrednosti v juliju, tj. 126 oziroma 128 mm. Najmanjše vrednosti so izračunane za mesec december in znašajo 10 oziroma 12 mm (preglednica 10).

Preglednica 10: Povprečne mesečne vrednosti za referenčno evapotranspiracijo (mm) za postaji Murska Sobota in Veliki Dolenci (1971 - 2000) (ARSO, Agrometeorologija)

Table 10: Average monthly values of reference evapotranspiration (mm) for stations Murska Sobota and Veliki Dolenci (1971 - 2000) (ARSO, Agrometeorologija)

Postaja	jan	feb	mar	april	maj	junij	julij	avg.	sept.	Okt	nov	dec
Murska Sobota	12	21	47	75	108	118	126	107	65	36	17	10
Veliki Dolenci	14	24	51	78	108	116	128	117	72	40	19	12

4.5 MERITVE KAKOVOSTI VODE

V okviru operativnega državnega monitoringa se ocenjuje ekološko in kemijsko stanje vodnih teles, ki temelji na zahtevah Vodne direktive 2008/105/ES o okoljskih standardih kakovosti ter smernic in navodil, izdelanih v luči uresničevanja Vodne direktive. Način in obseg izvajanja monitoringa površinskih voda ureja Pravilnik o monitoringu stanja površinskih voda (2009). V okviru državnega monitoringa se od leta 2007 na merilnem mestu Sveti Jurij (46°47'49,99"N 16°1'55,55"E) spremlja kakovost pritoka reke Ledave in na merilnem mestu (46°44'49,95"N 16°2'24"E) kakovost vode v akumulaciji Ledavsko jezero.

Meritve splošnih fizikalno kemijskih parametrov (pH, elektroprevodnost, temperatura vode, nasičenost s kisikom in raztopljeni kisik) in odvzem vzorcev za analizo vode v laboratoriju za skupni dušik (TN), nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-), celotni fosfor (TP), ortofosfat (PO_4^{3-}) in količina suspendiranih snovi (TSS) so izvajali dvakrat tedensko, med junijem 2013 in majem 2014. V reki Ledavi je bilo odvzetih 94 vzorcev, medtem ko na Ledavskem jezeru vzorcev zaradi zamrznjene vode dvakrat nismo mogli odvzeti. Odvzem vzorcev vode je potekal v skladu z določili mednarodnih standardov (SIST ISO 5667-6 za vzorčenje rek, SIST ISO 5667-4 za vzorčenje jezer in SIST EN ISO 5667-3 za pripravo embalaže, transporta in skladiščenja vzorcev). Vzorce vode smo zamrzili in jih enkrat mesečno odpeljali na analizo v akreditiran laboratorij Erico d.o.o. in Zavod za zdravstveno varstvo Maribor.

Vzorčenje vode na reki Ledavi je potekalo v Pertoči, merilnem mestu, ki leži v bližini dotoka v akumulacijo, kjer so še izražene značilnosti vodotoka in ni neposrednih vplivov onesnaženj (46°46'26,52" N 16°2'24,64" E). Na akumulaciji je odvzem vzorcev potekal ob iztočnem objektu (46°44'49,95" N 16°2'24" E), saj smo želeli upoštevati kakovost vode na iztoku, ki hkrati predstavlja iztok iz vodozbirnega območja. Integriran vzorec na globini 0,5 m razumemo kot reprezentativen za celoten vodni stolp, saj je jezero plitko in dobro premešano (Yiping in sod., 2011).

Ob odvzemu vode za analizo hranil suspendiranih snovi smo z multiparametrsko sondo (WTW, Multi 340i) merili še elektro-prevodnost, nasičenost s kisikom, koncentracijo raztopljenega kisika in pH. Na akumulaciji smo merili še prosojnost s Secchijevo ploščo

premera 21 cm, ter spremljali vodostaj na merilni lati pri izlivnem objektu. Spremljanje vodostaja je v tej raziskavi smiselno, ker smo se z vzdrževalcem in upravljavcem Mura - Vodnogospodarsko podjetje d.d., dogovorili, da se velikost odprtine na izlivnem objektu v obdobju meritev ne spreminja oziroma nas obvestijo, v kolikor se bo. Tako smo lahko spremljali tudi nihanje koncentracije hranil v odvisnosti od pretoka skozi zapornico.



Slika 21: Merilno mesto za kakovost na reki Ledavi z multiparametersko sondo WTW Multi 340i (a), vodomerna lata ob izlivnem objektu na Ledavskem jezeru (b) in vodomerna postaja v Nuskovi na reki Ledavi (c)

Figure 21: Waterquality of measuring points on the river Ledava with multiparameter instrument WTW Multi 340i (a), waterlevel batten near the outflow in the Ledavsko jezero (b) and gauge station in Nuskova on the river Ledava (c)

Za izračun pretoka iz akumulacije, glede na nihanje vodostaja smo uporabili enačbo (9) za pravokotno zapornico na izlivnem objektu (dim.: 5,5 x 2,6 m), ki je povzeta po Bagheri (2012).

$$q = C_D \times a \times \sqrt{2g \times h_0} \quad \dots (9)$$

Pri tem je q – odtok glede na enoto širine (m^3/s), a - višina odprtine zapornice (cm), h_0 – globina zapornice od gladine (m), $n = h_0/a$, C_d – koeficient odtoka (pri $a \geq 1\text{cm}$ in $n \geq 2$ znaša med 0,6 in 0,66; v tej raziskavi smo uporabili 0,6) in g – težni pospešek (m/s^2).

4.6 VZPOSTAVITEV MODELA SWAT

V okviru te raziskave smo uporabili model SWAT 2012 in program ArcGIS 10.0. SWAT za vnos podatkov potrebuje primeren programski vmesnik (ArcSWAT), s katerim lahko dostopa do rasterskih (GRID) in vektorskih prostorskih podatkovnih sklopov (datoteke v shape formatu in prostorski objekti), ki jih vnesemo v program ArcGIS.

Za zagon vmesnika ArcSWAT je potreben nabor prostorskih podatkov (digitalni model višin (DMV), raba zemljišč, lastnosti tal, mreža vodotokov, točkovnih virov obremenitev in glavna točka iztoka iz povodja). Programski vmesnik ArcSWAT na podlagi prostorskih podatkov vodozbirno območje razdeli na podpovodja. Podpovodja nato na podlagi enkratne kombinacije tipa tal, rabe zemljišč in naklona, razdeli na hidrološke odzivne enote (HOE; angl. hydrologic response units, HRU), so predstavljene kot odstotek območja podpovodja. Obstaja tudi možnost, da vodozbirno območje delimo le na podpovodja, ki so definirana glede na prevladujočo rabo zemljišč, tipa tal, naklona in tehnologije pridelovanja.

Simulacija hidroloških procesov je v SWAT ločena na dve fazi: (i) kopensko, ki nadzira vnos količine vode, suspendiranih snovi, hranil in pesticidov v glavni vodotok vsakega podpovodja ter (ii) fazo premeščanja suspendiranih snovi, hranil, in drugih onesnaževal v generiranih vodnih tokovih (mreži vodotokov) vodozbirnega območja do točke iztoka iz vodozbirnega območja. Glede na to, da je hidrološki tok odvisen od podnebja, SWAT potrebuje še podatke o dnevnih padavinah, minimalni/maksimalni temperaturi, sončnem obsevanju, relativni zračni vlažnosti in hitrosti vetra. Na podlagi teh podatkov model simulira hidrološke procese: shranjevanje vode v poljščinah, površinski odtok, infiltracijo, evapotranspiracijo, lateralni tok, drenažo, razporeditev vode po talnih profilih, povratni tok, črpanje vode in polnjenje s pronicanjem iz površinskih vodnih teles.

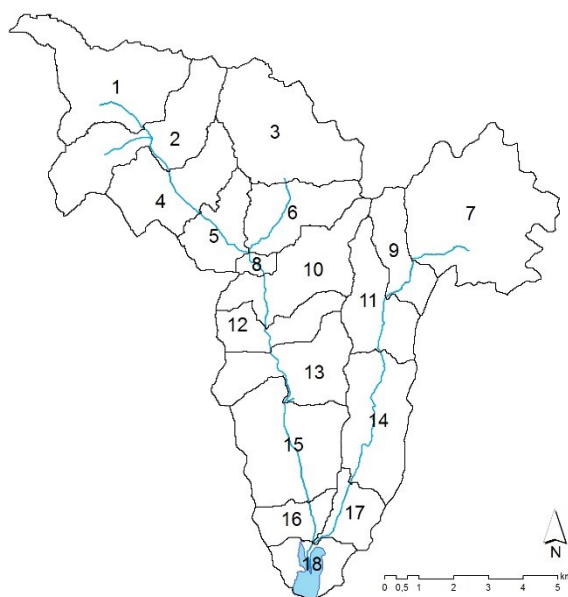
Za simulacijo hidroloških procesov premeščanja in transformacij različnih oblik fosforja, dušika, sredstev za varstvo rastlin in suspendiranih snovi so potrebni podatki o načinu obdelave tal in opravilih (vnos gnojil, sredstev za varstvo rastlin, kolobarjenje, mulčenje idr.) znotraj posameznega HOE. SWAT izračuna, koliko vode in hranil se odstrani v koreninskem sloju, preko transpiracije in deleža biomase pridelkov in predvidi dotok suspendiranih snovi s površin. Po tem, ko so določene obremenitve v glavnih vodotokih podpovodij, model simulira spiranje skozi mrežo vodotokov in akumulacije znotraj vodozbirnega območja do iztoka iz vodozbirnega območja (Arnold in sod., 2012).

Po oblikovanju podatkovnih baz in vnosu podatkov sledi zagon modela, analiza senzitivnosti, negotovosti, kalibracija in validacija, kar je nujen in prepleten proces vsakega modeliranja.

4.6.1 Vhodni podatki

4.6.1.1 Digitalni model višin in mreža vodotokov

Vodozbirno območje akumulacije Ledavsko jezero sega do izvira reke Ledave v Avstriji zato smo DMV karto Avstrije (1 x 1 m) združili z DMV karto Slovenije (25 x 25 m) na skupno karto z ločljivostjo 25 m. Na dodani mreži vodotokov smo označili točke monitoringa pretoka in kakovosti voda, ki so bile označene kot točke iztoka iz podpovodij ter točko iztoka iz akumulacije, ki je hkrati predstavljala glavno točko iztoka iz vodozbirnega območja. Nato smo izvedli avtomatsko razmejitev vodozbirnega območja na podpovodja. ArcSWAT je vodozbirno območje razdelil na 18, med seboj hidrološko povezanih, podpovodij (slika 22). Po delitvi na podpovodja je model k obstoječi karti dodal podrobno poročilo o območju (površine podpovodij, nakloni, dolžina rečnega odseka idr.). Na podlagi enotne kombinacije rabe zemljišč, tal in naklona je SWAT znotraj posameznega podpovodja oblikoval 5758 hidroloških odzivnih enot (HOE). Prednost HOE je ravno v povečanju natančnosti, ki jo dodamo napovedim obremenitev iz podpovodja. Model iz količine snovi za HOE izračuna povprečno vrednost za posamezno podpovodje pred simulacijo procesov v vodotoku. Neto količine iz podpovodij nato preko mreže vodotokov izračuna za celotno vodozbirno območje (Neitsch in sod., 2012).

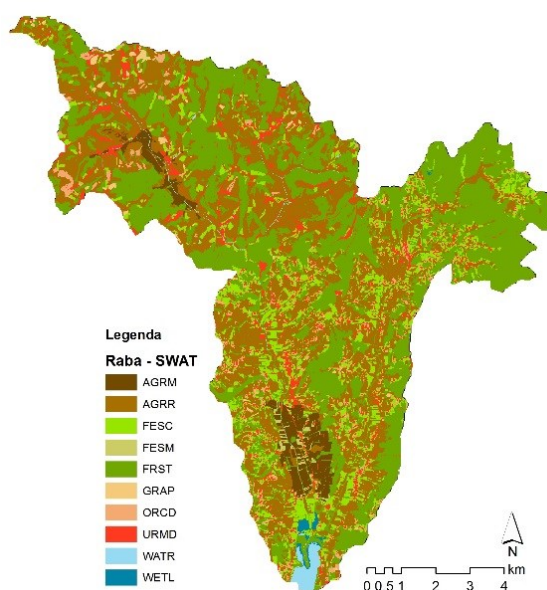


Slika 22: Vodozbirno območje je SWAT na podlagi digitalnega modela višin, merilnih mest in točkovnih virov onesnaženja razdelil na 18 podpovodij

Figure 22: Regarding to the digital elevation model, measuring points and point sources SWAT delineated watershed to 18 subwatersheds

4.6.1.2 Raba zemljišč

Raba zemljišč je bila določena na podlagi več kart, ki smo jih pridobili od občin Slovenije in Avstrije (namenska raba prostora). Za območje Slovenije smo na Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) pridobili še karto dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, ki je oblikovana iz podatkov GERK (grafična enota rabe zemljišča kmetijskega gospodarstva) ter jih združili v sloj rabe zemljišč. Zaradi grobe delitve rabe prostora (Flächenwidmung) v Avstriji (območja namenjena gradnji, prometne površine, zelene in parkovne površine, površinske vode), smo za ta del s pomočjo digitalnega ortofoto posnetka (DOF, M 1:5000) ročno izrisali travnike in zemljišča ostalih trajnih nasadov ter jim pripisali oznako, ki sovпада s slovensko vrsto dejanske rabe (1300, 1240). Dodali smo tudi območja osuševalnih sistemov in jih združili v posebno rabo njive in travniki z osuševalnimi sistemi (1101, 1301). Podatke o osuševalnih sistemih za Avstrijo smo pridobili na Zavodih za geoinformacijski sistem dežel Štajerske in Gradišanskega (GIS Steiermark in GIS Burgenland) ter pri upravljavcu reke Ledave in Ledavskega jezera, Mura - Vodnogospodarsko podjetje d.d. za Slovenijo. Po združitvi kart Slovenije in Avstrije smo razrede rabe povezali z razredi rabe modela SWAT (Priloga A), ki so dodeljeni v sloj rabe zemljišč na karti (slika 23).



Slika 23: Razredi rabe SWAT za vodozbirno območje Ledavskega jezera
Figure 23: Landuse in SWAT for the watershed of the reservoir Ledavsko jezero

V preglednici 11 je prikazan opis in obseg posameznih razredov rabe SWAT za vodozbirno območje Ledavskega jezera.

Preglednica 11: Obseg (ha) razredov rabe zemljišč po oblikovanju HOE na vodozbirnem območju
Ledavskega jezera
Table 11: Landuse area (ha) in SWAT after delineation of subwatersheds in HRU of reservoir Ledavsko
jezero watershed

SWAT zemljišč	Raba OPIS	POVRŠINA (ha)	POVRŠINA (%)
AGRR	njiva vrstni posevki	3660,75	34,8
AGRM	njiva z osuš. sistemi	340,94	3,24
FESC	travnik	1247,50	11,85
FESM	trajni travnik z osuš. sistemi	31,75	0,29
FRST	gozd	4134,13	39,28
GRAP	vinograd	86,063	0,82
ORCD	sadovnjak	259,50	2,46
URMD	urbano območje - srednja gostota	635,75	6,05
WATR	voda	100,4375	0,94
WETL	mokrišče	28,5	0,27
Skupna vsota:		10525,31	100,00

4.6.1.3 Tla

Digitalizirane pedološke karte tal v merilu M 1:25000 smo za Slovenijo pridobili iz Centra za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in za Avstrijo iz Centra za raziskave in preučevanje tal za gozd, naravne nevarnosti in krajino (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, BFW). Digitalna pedološka karta merila (PK25) je osnovana na 1644 profilih vse Slovenije, iz katerih so določene pedosistematske enote (PSE), ki skupaj po tri tvorijo pedokartografsko enoto (PKE). Lastnosti PKE, ki predstavlja osnovno kartografsko enoto pedološke karte, so določene na podlagi lastnosti PSE (enota tal oz. talni tip), glede na razmerje zastopanosti PSE v PKE. S pomočjo analize pedologa, ki je med talnimi profili poiskal najustreznejšega, smo lahko PSE povezali s PKE. Vodozbirno območje v Sloveniji je prekrito s 17 PKE in 23PSE, območje v Avstriji pa z 62 kartografskimi enotami tal (Bodenform) in 72 talnimi profili (slika 23).

Na podlagi podatkov talnih profilov digitalnih pedoloških kart, računskih enačb in pedo-hidrološkega programa SPAW (Saxton, 2006) smo oblikovali datoteko (.sol), ki vsebuje fizikalne lastnosti vseh horizontov v talnem profilu: število horizontov, hidrološko skupino, največjo globino korenin, globino horizonta od površja, gostoto tal, količino rastlinam dotopne vode, nasičeno hidravlično prevodnost, delež vsebnosti organskega ogljika, odstotek gline, melja in peska, odstotek skeleta od skupne mase vzorca, albedo tal in faktor erozivnosti (priloga C). Pri tem smo gostoto tal, količino dostopne vode in nasičeno hidravlično prevodnost tal pridobili s pomočjo modela SPAW, ki podatke izračuna na podlagi teksture tal. Vrednosti albeda, vsebnost organskega ogljika in faktorja erozivnosti smo pridobili s pomočjo računskih enačb, povzetih iz literature.

Albedo prikazuje delež kratko-valovne svetlobe, ki se odbije od nekega telesa, v tem primeru tal. Bolj gosta, kot je zasaditev, in bolj vlažna, kot so tla, manj energije se odbije. Izračuna se lahko tudi na podlagi Munsellove barvne lestvice, natančneje po svetlosti barve, kar je drugi znak v zvezi, ki označuje določeno barvo (npr. za svetlo modro 5PB 5/ 10 označuje 5PB barvni ton, 5/ svetlost in 10 nasičenost ali čistost barve). Vrednost smo izračunali po naslednji enačbi 11 (Post in sod., 2000):

$$\text{Albedo tal} = (0,07 \times \text{svetlost}) - 0,12 \quad \dots (10)$$

Za vsebnost organskega ogljika smo si pomagali z izračunom (enačba 12) iz SWAT dokumentacije (Neitsch in sod., 2011), kjer je orgC odstotek organskega ogljika v horizontu (%), OS odstotek organske snovi in faktorjem za preračun (1,72):

$$\text{orgC} = \text{OS}/1,72 \quad \dots (11)$$

K_{USLE} parameter se nanaša na erodibilnost tal. Z uporabo podatkov o teksturi tal in vsebnostjo organskega ogljika lahko uporabimo enačbo 13, ki jo je predlagal Williams (1995):

$$K_{\text{USLE}} = f_{\text{csand}} \times f_{\text{cl-si}} \times f_{\text{orgc}} \times f_{\text{hisand}} \quad \dots (12)$$

Pri tem je f_{csand} dejavnik, ki poda nizko vrednost erodibilnosti tal za tla z visoko vsebnostjo grobega peska in visoko vrednost erodibilnosti tal za tla z nizko vsebnostjo peska, $f_{\text{cl-si}}$ je dejavnik, ki podaja nizke vrednosti erodibilnosti za razmerje med visokimi vsebnostmi gline in melja, f_{orgc} je dejavnik, ki zmanjša erodibilnost tlom z visoko vrednostjo organskega ogljika, in f_{hisand} je dejavnik, ki zmanjša erodibilnost tal z ekstremno visoko vsebnostjo peska.

4.6.1.4 Podnebje

Podatke o maksimalni in minimalni dnevni temperaturi, relativni zračni vlagi, sončnem obsevanju in hitrosti vetra smo pridobili iz obstoječih padavinskih, klimatskih in meteoroloških postaj Avstrije in Slovenije. Točke postaj (Cankova, Mačkovci, Martinje, Bad Radkersburg in Bad Gleichenberg) so opisane v poglavju 4.3.6 in razvidne iz slike 15. Za Slovenijo je podatke zagotovila Agencija RS za okolje (ARSO), za Avstrijo Centralni zavod za meteorologijo in geodinamiko (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, ZAMG). Vsi podatki so bili zbrani za obdobje od 1. 1. 2003 do 31. 4. 2014. Podatke s koordinatami postaj smo v tabelarni obliki vnesli kot .txt datoteko.

4.6.1.5 Točkovni viri obremenitev

Na tem območju so tri čistilne naprave v Sloveniji (Pertoča, Sv. Jurij in Kuzma) ter dve v Avstriji (Kapfenstein, Neuhaus am Klausenbach), edini točkovni viri onesnaženja (slika 15). Podatke smo pridobili od občine Kuzma, Agencije RS za okolje ter iz Poročila o nadzoru čistilnih naprav Urada za okolje in prostor dežele Štajerska (Abteilung Umwelt und Raumordnung, Land Steiermark; Friehs in sod., 2014). Vsi podatki, ki jih zahteva SWAT (obremenitev s sedimentom v t/dan, organski dušik v kg N/dan in organski fosfor v kg P/dan), niso bili podani. Čistilna naprava Kuzma je vsebovala podatek o količini vstopni in izstopni količini KPK in BPK, čistilne naprave v Avstriji pa podatke o KPK, BPK, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, TP, TN. Uporabili smo minimalne dnevne vrednosti, saj maksimalnih ni mogoče predvideti. Mineralni fosfor smo izračunali kot 2/3 delež skupnega fosforja (TP). Manjkajoče podatke za čistilne naprave v Sloveniji smo dopolnili na podlagi podatkov referenčnih čistilnih naprav v Avstriji (Friehs in sod., 2014). Vrednosti, ki smo jih potrebovali za model smo ocenili na podlagi literature, ki je navajala podatke za čistilne naprave podobne velikosti (Clark in sod., 2005, Neal in sod. 2005). Ko smo podatke uredili (Preglednica 12) smo jih vnesli v model po pripadajočem podpovodju.

Preglednica 12: Podatki o čistilnih napravah in pripadajoče povprečne dnevne vrednosti parametrov (organski fosfor – orgP, sediment, organski dušik - orgN) na vodozbirnem območju Ledavskega jezera
Table 12: Point source data with average day values of organic Phosphorus (orgP), sediment and organic nitrogen (orgN) in the watershed of Ledavsko jezero

ČISTILNA NAPRAVA	PRIČETEK DELOVANJA	PE	PRIKLJUČENIH PE	orgP (kg/d)	sediment (t/dan)	orgN (kg/dan)
Sveti Jurij	2013	800	350	0,015	0.027	0.056
Pertoča	2013	500	150	0,017	0.03	0.063
Kuzma	2012	250	250	0,017	0.03	0.063
Kapfenstein	2006	2000	NP	0,051	0.117	0.665
Neuhaus am Klausenbach	2006	2000	NP	0,051	0.117	0.665

4.6.1.6 Tehnologija pridelovanja

SWAT omogoča vnos številnih, natančno obdelanih podatkov o tehnologiji pridelovanja za simulacijo na nivoju HOE. Primarni cilj modeliranja je pridobivanje informacij o vplivu človeških aktivnosti na določen sistem. Bistveno pri tem je zbiranje informacij o rabi zemljišč ter tehnologiji pridelovanja (setev, žetev, namakanje, uporaba hranil in sredstev za varstvo rastlin, obdelava tal ipd.) v sistemu. Datoteka tehnologija pridelovanja (management files, .mgt) se deli na postopke, ki se tekom simulacije ne spreminjajo, in na postopke, ki se pojavijo ob točno določenem času. SWAT omogoča, da se v enem letu zvrsti več gojenih rastlin, vendar je lahko le ena na posamezni hidrološki odzivni enoti (Neitsch in sod., 2011). Potrebne podatke o obstoječem načinu kmetovanja, pridelovalnih praksah (njiva, travnik, vinograd, sadovnjak) in pridelovalnem koledarju z datumi opravil (žetev, gnojenje, spravilo)

na vodozbirnem območju Ledavskega jezera smo pridobili od Kmetijsko svetovalne službe Cankova (Kmetijsko gozdarski zavod Murska Sobota) (priloga B). Te podatke smo uporabili tudi za del vodozbirnega območja v Avstriji.

4.6.1.7 Ukrepi

Ukrepe, ki jih bomo modelirali, se v SWAT nastavijo na nivoju HOE v datoteki koledar opravil (scheduled management operations, .ops) in datoteki tehnologija pridelovanja (.mgt). V datoteki operacije (.ops) lahko nastavimo parametre za 10 različnih vrst ukrepov: terase, osuševanje, obdelava tal po plastnicah, varovalni pasovi, izmenjujoči pasovi poljščin, požar, travnati odvodni jarki, posodabljanje parametrov rastlin, upravljanje z ostanki rastlin in splošna operacija, kjer uporabnik določi učinkovitost s spremembo parametra. Vrsta ukrepa, ki se simulira, se označi s kodo, ki je podana za parameter MGT_OP. V datoteki tehnologija pridelovanja (.mgt) se določijo vrednosti parametrov za način obdelave tal, ozelenitev površin, vnos hranil, razpored uporabe sredstev za varstvo rastlin, namakanje, spravilo pridelka idr. Zadnja verzija modela ArcSWAT ima za večino ukrepov že pripravljene vrednosti parametrov za modeliranje gradbenih in negradbenih ukrepov (Waidler in sod., 2011).

4.6.2 Analiza senzitivnosti

Namen analize senzitivnosti je ugotoviti na katere parametre je model najbolj občutljiv oziroma pri katerih parametrih njihova majhna sprememba vrednosti znatno vpliva na rezultate modela. Model je na obravnavani parameter občutljiv, če se pri majhni spremembi vrednosti parametra pokažejo velika odstopanja v rezultatih, s čimer povečamo zaupanje v model pri napovedi rezultatov. Analizo smo izvedli s programom SWAT-CUP (Abbaspour, 2012). Za optimizacijo negotovosti pri modeliranju smo uporabili metodo SUFI2 (Sequential Uncertainty Fitting Algorithm), kjer je eden izmed ciljev, da zmanjša negotovost tako, da je večina merjenih podatkov postavljena znotraj 95 % negotovostnega napovednega traku (Eslamian, 2014). Identificirane parametre dobimo z oceno senzitivnosti napake med merjenimi in simuliranimi podatki, ob spremembi parametrov modela. Pripadajoča *p*-vrednost je verjetnost, da ob predpostavki o pravilni ničelni domnevi dobimo testno statistiko vrednosti, ki se nagibajo v korist alternativne domneve od izračunane vrednosti Studentovega t-testa (Košmelj, 2007). V našem primeru to pomeni, da so najbolj občutljivi parametri tisti, katerih *p*-vrednosti so manjše od 0,05. Preostale vrednosti niso statistično značilne, zato jih ne bomo uporabljali pri umerjanju (kalibraciji) modela. V preglednici 13 podajamo niz parametrov, ki jih je ponudil vmesnik za analizo senzitivnosti za pretok in sediment. Model je vrednosti spreminjal znotraj določenega razpona glede na značilnosti vodozbirnega območja.

Pri analizi senzitivnosti za pretok reke Ledave so se v modelu kot najbolj pomembni parametri izkazali: povprečna temperatura zraka, pri kateri je enaka verjetnost, da bo deževalo ali snežilo (SFTMP), temperatura zraka, pri kateri se sneg prične taliti (SMTMP),

časovni zamik, od katerega je taljenje današnjega snega odvisno od temperature prejšnjega dne (TIMP), rastlinam dostopna voda v tleh (mm H₂O/mm tal, SOL_AWC), koeficient časovnega zamika površinskega odtoka (SURLAG) in krivulja površinskega odtoka (CN2). Medtem ko so se pri analizi senzitivnosti za suspendirane snovi reke Ledave v modelu kot najbolj pomembni parametri izkazali: prostorninska gostota suspendiranih snovi v strugi (CH_BNK_BD), porastlost struge (CH_COV), eksponentni parameter za izračun suspendiranih snovi v strugi med premeščanjem (SPEXP) in linearni parameter za izračun največje količine suspendiranih snovi, ki se vrne v strugo med premeščanjem (SPCON).

Preglednica 13: Parametri z razponi vrednosti uporabljenimi pri analizi senzitivnosti. Z odebeljeno so označeni najbolj občutljivi parametri, uporabljeni za umerjanja modela

Table 13: Parameters with ranges of values used in the sensitivity analysis. The bold marked the most sensitive parameters used for model calibration

	Parameter	Opis parametra	Razpon	t-test	p-vrednost
PRETOK	GW_DELAY.gw	Groundwater delay	0 - 500	-0,31	0,76
	SMFMX.bsn	Maximum melt rate for snow during year (occurs on summer solstice)	0 - 10	-0,39	0,70
	ESCO.bsn	Soil evaporation compensation factor	0 - 1	-0,75	0,46
	SOL_K(.).sol	Saturated hydraulic conductivity	0 - 2000	0,99	0,32
	SNOCOVX.bsn	Minimum snow water content that corresponds to 100 % snow cover.	0 - 500	1,00	0,32
	CANMX.hru	Maximum canopy storage.	0 - 100	1,14	0,25
	GWQMN.gw	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur.	0 - 5000	1,18	0,24
	ALPHA_BF.gw	Baseflow alpha factor	0 - 1	1,19	0,24
	GW_REVAP.gw	Groundwater "revap" coefficient.	0.02 - 0.2	-1,55	0,12
	SMFMN.bsn	Minimum melt rate for snow during the year (occurs on winter solstice).	0 - 10	-1,74	0,08
	SMTMP.bsn	Snow melt base temperature	-5 - 5	2,49	0,01
	SFTMP.bsn	Snowfall temperature.	-5 - 5	4,65	0,00
	TIMP.bsn	Snow pack temperature lag factor.	0,01 - 1	-4,84	0,00
	SOL_AWC(.).sol	Available water capacity of the soil layer.	0 - 0.3	6,02	0,00
	SURLAG.bsn	Surface runoff lag time.	0 - 12	-7,77	0,00
	CN2.mgt	SCS runoff curve number for moisture condition 2	35 - 98	-10,24	0,00

... se nadaljuje

.... nadaljevanje preglednice 13

	Parameter	Opis parametra	Razpon	t-test	p-vrednost
SEDIMENT	CH_BED_TC.rte	Critical shear stress of channel bed	0,0-400	0,18	0,86
	USLE_P.mgt	Support practice factor	0,3 – 0,9	-0,23	0,82
	CH_BED_KD.rte	Erodibility of channel bed sediment by jet test	0,001-3,75	-0,26	0,80
	CH_BNK_TC.rte	Critical shear stress of channel bank	0,0-400	0,41	0,68
	CH_BNK_D50.rte	D50 Median particle size diameter of channel bank sediment	1 - 10000	-0,46	0,64
	CH_BED_BD.rte	Bulk density of channel bed sediment	1,1 - 1,9	0,60	0,55
	CH_BED_D50.rte	D50 median particle size diameter of channel bed sediment	1 - 10000	0,82	0,42
	USLE_K(..).sol	Soil erodibility factor	0,5 - 2,0	-1,14	0,26
	CH_BNK_KD.rte	Erodibility of channel bank sediment by jet test	0,001-3,75	-1,30	0,20
	CH_ERODMO(..).rte	Non-erosive to no resistance to erosion of channel	0,1 – 1,0	1,54	0,13
	ADJ_PKR.bsn	Peak-rate adjustment factor for sediment routing	default 1,0	1,56	0,12
	CH_BNK_BD.rte	Bulk density of channel bank sediment	1,1 – 1,9	1,87	0,06
	CH_COV1.rte	Channel cover factor	-0.001 - 1	3,67	0,00
	SPEXP.bsn	calculating sediment reentrained in channel sediment routing	1 - 1.5	4,27	0,00
	SPCON.bsn	calculating maximum amount of sediment reentrained	0 - 0.01	-12,42	0,00

4.6.3 Kalibracija in validacija

Kalibracija (umerjanje) je poskus uskladitve merjenih in z modelom izračunanih vrednosti s prilagajanjem vrednosti parametrov znotraj sprejemljivega območja. Pri tem si pomagamo z rezultati analize senzitivnosti in najprej umerjamo tiste parametre, ki so se izkazali za najbolj občutljive (preglednica 14). Merjene in z modelom izračunane vrednosti parametrov se morajo pri tem čim boljje ujemati. Postopek se lahko izvede ročno, avtomatsko (Green in van Griensven, 2008) ali z uporabo obeh pristopov, kot so to storili Glavan in sod. (2012a). Postopek kalibracije znotraj priporočenih razponov vrednosti parametrov, usklajujemo toliko časa, dokler med merjenimi in simuliranimi vrednostmi ni pomembne, statistično značilne razlike oziroma zadovoljivega ujemanja (Krause in sod., 2005). Parametri, določeni v postopku kalibracije se nato uporabijo v zaključnem postopku validacije modela. S postopkom validacije pokažemo, da je model zanesljiv in natančen s tem, ko primerjamo neodvisen niz simuliranih vrednosti z merjenimi vrednostmi, ki jih nismo uporabili v postopku kalibracije. Kalibracija in validacija se izvajata tako, da ločimo obdobje meritev na dva niza podatkov, med katerimi enega uporabimo za kalibracijo drugega za validacijo.

V tej raziskavi smo kalibracijo in validacijo, tako kot za analizo senzitivnosti, izvedli avtomatsko, s pomočjo uporabe SUFI2 algoritma v programu SWAT-CUP. Za dokončno

zadovoljivo ujemanje med merjenimi in simuliranimi vrednostmi smo kalibracijo izvajali še ročno. Uspešnost modela za simulacijo pretoka in suspendiranih snovi smo preverili s pomočjo statističnih metod opisanih v poglavju 2.5.6.2.3 (Uspešnost delovanja SWAT).

4.6.3.1 Kalibracija modela za pretok

Kalibracija pretoka je bistvena, ker procesi pretoka vključujejo vodno bilanco prispevnih površin, vključno z evapotranspiracijo, medtokom, površinskim in podpovršinskim odtokom. Prav tako so hidrološki podatki pomembni za napovedovanje dolgoročnega trenda, zlasti kadar so podatki o kakovosti vodnih teles (sediment, hranila in druga onesnaževala) na razpolago za krajše časovno obdobje (Arnold in sod., 2012). Za kalibracijo pretoka smo uporabili povprečne dnevne vrednosti pretoka na vodomerni postaji Nuskova za obdobje 2003-2013. Prvi dve leti (2003-2004) smo predvideli za zagonsko obdobje (angl. warm-up period) simulacije ter tako izločili možnost napake, ko se model prilagaja realnemu stanju. Obdobje med 1.1. 2005 in 31.12. 2010 smo zajeli za kalibracijo in nato zadnja tri leta (2011-2013) za validacijo modela. V preglednici 14 so predstavljeni uporabljeni parametri za simulacijo pretoka za vodozbirno območje reke Ledave, njihov razpon in končne vrednosti, uporabljene v kalibraciji.

Preglednica 14: Parametri uporabljeni pri kalibraciji in validaciji modela za pretok z razponom (min. and maks. vrednost), priporočeno in prilagojeno vrednostjo po končanem umerjanju
Table 14: The parameters used in the calibration and validation of the model for the flow of the range (min. and max. value), recommended and adapted value after calibration

Parametri za kalibracijo in validacijo modela za pretok		razpon	priporočena vrednost	prilagojena vrednost
ALPHA_BF	Baseflow alpha factor	0 - 1	0,048	0,5972
CANMX	Maximum canopy storage	0 - 100	0	-0,2017
CN2	SCS runoff curve number for moisture condition 2	35-98	default	-0,0753
ESCO	Soil evaporation compensation factor	0 - 1	0,95	0,88
GW_DELAY	Groundwater delay	0 - 500	31	90,35
GW_REVAP	Groundwater "revap" coefficient	0,02 – 0,2	0.02	0,158
GWQMN	Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur	0 - 5000	1000	1400
SFTMP	Snowfall temperature	-5 do 5	1	1,66
SMFMN	Minimum melt rate for snow during the year (occurs on winter solstice)	0 - 10	4,5	1,397
SMFMX	Maximum melt rate for snow during year (occurs on summer solstice)	0 - 10	4,5	6,46
SMTMP	Snow melt base temperature	-5 do 5	0,5	1,5933
SNOCVMX	Minimum snow water content that corresponds to 100 % snow cover	0 - 500	1	3,9767
SOL_AWC	Available water capacity of the soil layer	0 - 1	default	0,1917
SOL_K	Saturated hydraulic conductivity (mm/hr)	0 - 2000	default	0,1883
SURLAG	Surface runoff lag time	0,01 - 24	4	0,2617
TIMP	Snow pack temperature lag factor	0 - 1	1	0,1321

Po zagonu avtokalibracije smo iskali optimalno ujemanje med dnevnimi vrednostmi merjenih in simuliranih podatkov. Izkazalo se je, da so simulirani pretoki v sprejemljivem območju, na kar kažejo vrednosti determinacije (R^2), ki so višje od 0,5 (preglednica 15). Ob tem negativne vrednosti PBIAS nakazujejo na majhno precenitev simuliranih vrednosti (Gupta in sod., 1999). Kljub temu lahko ocenimo, da model zelo dobro simulira pretok, saj je odstopanje od merjenih vrednosti manjše od 10 % tako na dnevni, mesečni kot tudi letni ravni (Moriasi in sod., 2007). Na zadovoljivo delovanje modela za napovedovanje trendov kažejo tudi E_{NS} vrednosti (preglednica 15) za mesečno kalibracijo (0,493), medtem ko se letne simulirane vrednosti skoraj popolnoma ujemajo z merjenimi letnimi povprečji ($E_{NS} = 0,996$). Dnevne in mesečne vrednosti so nekoliko slabše, ker je E_{NS} koeficient zelo občutljiv na vrednosti, ki izstopajo iz povprečja (Krause in sod., 2005). V preglednici 16 so prikazana nihanja znotraj merjenih in simuliranih vrednosti. Standardni odklon kaže na večja odstopanja od povprečja posameznih izmerjenih vrednosti. Odstopajoče vrednosti so lahko napaka v meritvi ali posledica izrednih padavinskih dogodkov.

Preglednica 15: Statistične vrednosti za letni, mesečni in dnevni korak za kalibracijo pretoka za reko Ledavo (2006-2010)

Table 15: Statistical values for the annual, monthly and daily time step calibration for flow in the river Ledava (2006-2010)

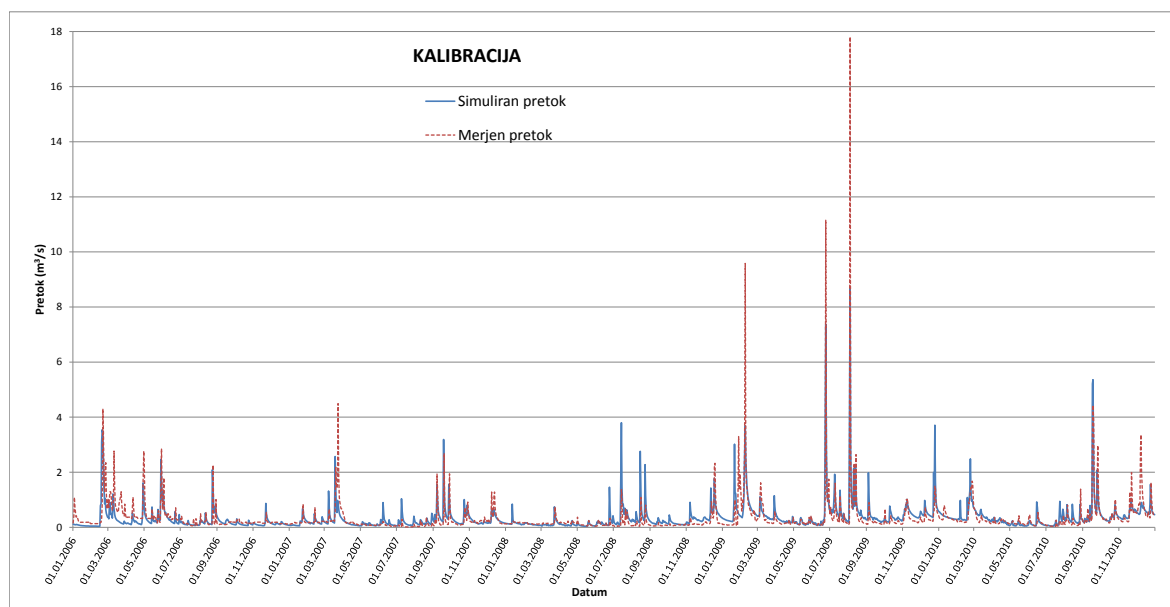
Statistični kriteriji	KALIBRACIJA		
	leto	mesec	dan
E_{NS}	0,996	0,493	0,571
PBIAS	-5,29	-5,19	-5,29
R^2	0,701	0,618	0,571

Preglednica 16: Primerjava osnovnih statističnih vrednosti med merjenimi in simuliranimi dnevnimi pretoki (m^3/s) za obdobje kalibracije (2006-2010)

Table 16: Basic statistical data between the measured and simulated (SWAT) results for the daily flow (m^3/s) in the river Ledava (2006-2010)

	Povprečje	Mediana	Pretok (m^3/s)		
			Maks	Min	Stand. odklon
Meritve	0,332	0,182	17,807	0,011	0,689
Simulacija	0,350	0,219	8,729	0,036	0,510

Na sliki 24 je razvidno, da konice med simuliranimi in merjenimi vrednostmi sovpadajo, ob tem model na nekaterih mestih preceni ali podceni pretok v reki Ledavi. Eden izmed razlogov je ta, da model ne more predvideti trenutnih sprememb v prostoru, kot je na primer sprememba v vrsti poljščine, načinu obdelave ali zaraščanju kmetijskih zemljišč, ki vplivajo na odtok iz prispevnih površin. Prav tako lahko razlike nastanejo zaradi prostorske razporeditve padavin ali taljenja snega.



Slika 24: Simulirane in merjene dnevne vrednosti pretoka (m^3/s) v reki Ledavi za obdobje kalibracije 2006-2010

Figure 24: Simulated and measured values for flow (m^3/s) in the river Ledava in the daily time step calibration period (2006-2010)

4.6.3.2 Validacija modela za pretok

Po končani kalibraciji smo z validacijo želeli potrditi umerjene vrednosti opazovanega obdobja (2011 - 2013). Podatki, uporabljeni za kalibracijo modela, imajo namreč neposreden vpliv na validacijo in oceno rezultatov. Zaradi omejene količine podatkov za sediment smo validacijo izvedli le za hidrologijo oziroma povprečni srednji dnevni pretok (m^3/s). Rezultati so prikazani v preglednici 17 in na sliki 25.

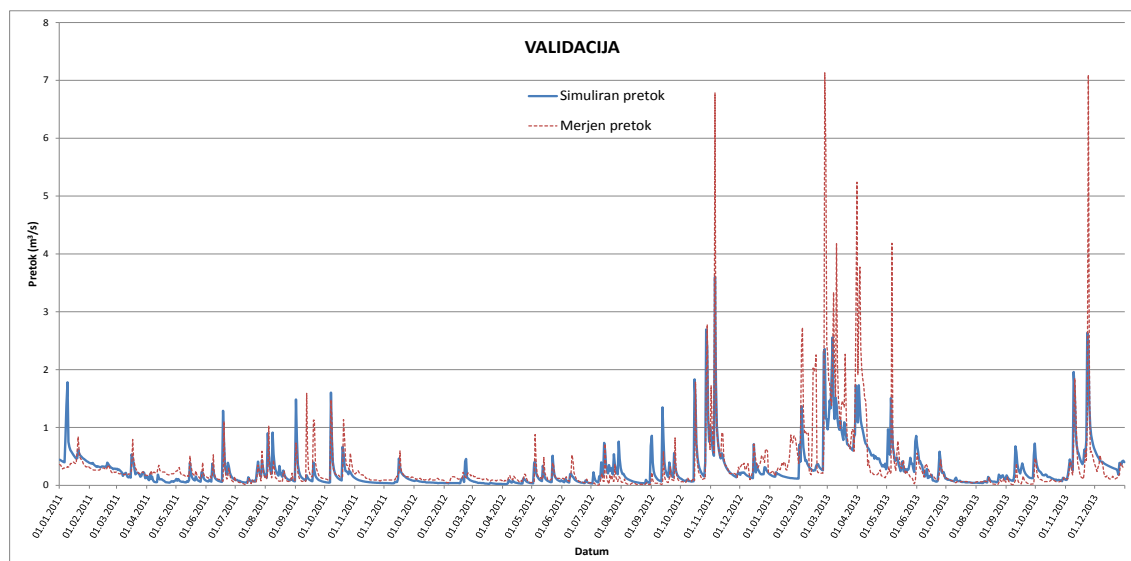
Preglednica 17: Vrednosti statističnih kriterijev za povprečni dnevni pretok (m^3/s) na reki Ledavi (junij 2013 – marec 2014)

Table 17: Values of statistical criteria for daily flow (m^3/s) in the river Ledava (june 2013 - march 2014)

Statistični kriteriji	VALIDACIJA	KALIBRACIJA
	dan	dan
ENS	0,50	0,57
PBIAS	14,08	-5,29
R²	0,525	0,57

Pogosto so rezultati uspešnosti modela za obdobje validacije, zaradi manjšega števila zajetih podatkov, slabši kot za obdobje kalibracije (Arnold in sod., 2012). Kljub temu rezultati validacije v tej raziskavi sledijo rezultatom kalibracije. Vrednosti E_{NS} pri kalibraciji (0,57) in validaciji (0,50) kažejo na dobro ujemanje med merjenimi in simuliranimi vrednostmi, kar potrjuje tudi koeficient determinacije ($R^2 > 0,5$). Le vrednosti PBIAS se med kalibracijo in validacijo razlikujejo. Pri kalibraciji je model precenil merjene vrednosti, medtem ko jih

je pri validaciji nekoliko podcenil. Sicer je PBIAS za validacijo v razponu dobrih, za kalibracijo zelo dobrih rezultatov.



Slika 25: Primerjava med simuliranimi (SWAT) in merjenimi (ARSO) vrednostmi za povprečni dnevni pretok (m^3/s) na reki Ledavi (2011 - 2013)

Figure 25: A comparison of simulated (SWAT) and measured (ARSO) values for average daily flow (m^3/s) on the river Ledava (2011 - 2013)

4.6.3.3 Kalibracija modela za suspendirane snovi

Za kalibracijo modela smo zajeli mesečna povprečja za obdobje trajanja meritev med junijem 2013 in majem 2014. Za kalibracijo je bilo uporabljeno orodje SWAT-CUP. Fino prilagoditev smo izvedli ročno. Zaradi kratkega obdobja in majhnega števila meritev, kakor tudi zaradi hidroloških in podnebnih razmer, ki v obdobju enega leta močno variirajo, delitev na obdobje kalibracije in validacije ni smiselna. Pri kalibraciji smo upoštevali parametre, ki so prikazani v preglednici 18. V analizi senzitivnosti se je med najbolj občutljivimi izkazal CH_COV1, dejavnik erodibilnosti, in CH_COV2, dejavnik poraščenosti struge. Dejavnik kaže na razmerje med degradacijo struge z gosto poraščenostjo in brez poraščenosti. Vegetacija namreč zmanjšuje hitrost vodnega toka in s tem tudi njegovo erozivno moč. Kalibrirana vrednost (5,4) kaže, da je struga reke Ledave v odseku Nuskove delno poraščena z redko obrežno olesenelo vegetacijo in da je erodibilnost struge dokaj majhna. Slednje nakazuje tudi kalibrirana vrednost (0,3) za erodibilnost struge (CH_ERODMO). Bolj kot se vrednosti približujejo 1, bolj erodibilna je struga.

Preglednica 18: Parametri uporabljeni pri kalibraciji modela za sediment z razponom (minimalna, maksimalna vrednost), priporočeno in prilagojeno vrednostjo po končanem umerjanju

Table 18: The parameters used in the calibration model for the sediment with the range (minimum and maximum value), recommended and adapted value after calibration

Parametri za kalibracijo suspendiranih snovi v Pertoči		razpon	Priporočena vrednost	prilagojena vrednost
ADJ_PKR	Peak rate adjustment factor for sediment routing in the subbasin (tributary channels)	0,5- 2	1	1,815
PRF_BSN	Peak rate adjustment factor for sediment routing in the main channel.	0 - 2	1	2
SPCON	Linear parameter for calculating the maximum amount of sediment that can be reentrained during channel sediment routing.	0,0001 – 0,01	0.0001	0,001197
SPEXP	Exponent parameter for calculating sediment reentrained in channel sediment routing.	1 – 1,5	1	1,4
CH_COV1 (EROD)	Channel erodibility factor.	-0,05 - 30	0	5,4
CH_COV2	Channel cover factor.	-0.001 - 30	0	5,4
CH_ERODMO1-12	Channel erodibility factor. Jan–Dec.	0 - 1	0	0,3

Statistični kriteriji za učinkovitosti modela na mesečni časovni ravni (preglednica 19, slika 26) kažejo, da je model sprejemljiv za napovedovanje prenosa suspendiranih snovi. Čeprav negativni koeficient učinkovitosti E_{NS} razkriva, da merjena srednja vrednost napove bolje kot simulirana vrednost, PBIAS opisuje 22 % odstopanje rezultatov, kar se uvršča v razred dobre učinkovitosti modela za napovedovanje suspendiranih snovi (Moriassi in sod., 2007). Upoštevati je potrebno, da E_{NS} bolje napoveduje, kadar je število podatkov večje (Van Liew in sod., 2007). Hkrati se rezultati E_{NS} koeficienta uporabljajo za oceno vseh komponent (pretok, sediment, hranila in onesnaževala), medtem ko se rezultati PBIAS uporabljajo ločeno za posamezno komponento.

Preglednica 19: Statistične vrednosti kalibracije (2013 -2014) za oceno napovedi modela SWAT za suspendirane snovi

Table 19: Statistical values for suspended solids in the river Ledava in the monthly time step (2013-2014)

Statistični kriteriji	KALIBRACIJA - mesec
E_{NS}	-8,34
PBIAS	21.97
R^2	0,0269

Preglednica 20: Primerjava osnovnih statističnih vrednosti med merjenimi in simuliranimi mesečnimi koncentracijami suspendiranih snovi v reki Ledavi (2013-2014)

Table 20: Basic statistical data between the measured and simulated (SWAT) results for the monthly sediment in the river Ledava (2013-2014)

	Koncentracija skupnih suspendiranih snovi (mg TSS/l)				
	Povprečje	Mediana	Maks.	Min.	Stand. odklon
Merjene	98,77	94,50	410,00	1,00	61,87
Simulirane	72,20	41,48	263,00	1,82	65,45

Na sliki 26 so prikazane povprečne mesečne merjene vrednosti koncentracije suspendiranih snovi v reki Ledavi na merilnem mestu v Pertoči. V prvem delu je opaziti velika odstopanja med merjenimi in simuliranimi vrednostmi. Medtem ko simulirane vrednosti kažejo na upadanje, so merjene vrednosti zelo visoke. V mesecu avgustu ob nastopu prvih padavinskih dogodkov, simulirane vrednosti naraščajo, medtem ko merjene upadajo. Skupen trend med simuliranimi in merjenimi vrednostmi se pokaže šele od meseca novembra. Najpogostejše koncentracija suspendiranih snovi v vodi vodotoka naraste s povečanim pretokom in upade v času baznega odtoka, vendar so izmerjene koncentracije na merilnem mestu v Pertoči prav v obdobju nizkih pretokov visoke. Po pregledu rezultatov meritev v okviru državnega monitoringa (ARSO) za merilno mesto Sv. Jurij (2,65 km gorvodno) smo ugotovili, da se višje vrednosti pojavljajo maja in avgusta (preglednica 21) v obdobju povečanih padavin (slika 18, poglavje 4.4.6.3 - Hidrološke lastnosti), vendar zaradi majhnega števila meritev trenda ni mogoče napovedati. Visoke koncentracije v poletnih mesecih so prav tako lahko posledica višjih temperatur vode, zaradi katere se poveča biološka aktivnost. V nekaterih državah Združenih držav Amerike zato ločujejo mejne vrednosti za suspendirane snovi med 'toplo vodo', kjer se povprečna 30 dnevna mejna vrednost nahaja med 90 mg/l in 150 mg/l, medtem, ko se v 'hladnih vodah' vodotokov vrednosti gibljejo med 30 mg/l in 35 mg/l (EPA, 1999).

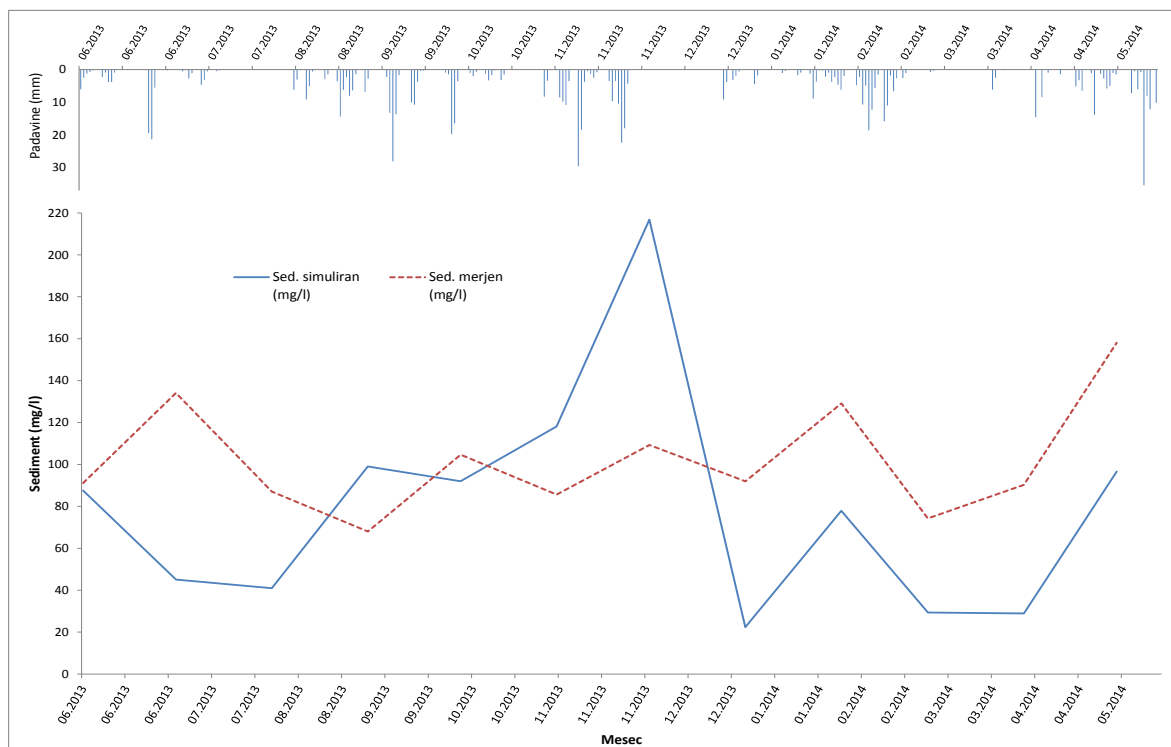
Preglednica 21: Povprečna letna koncentracija suspendiranih snovi v reki Ledavi na merilnem mestu Sv. Jurij (2007 – 2012) (ARSO)

Table 21: Average year Concentration of total suspended solids in the river Ledava at measuring point Sv. Jurij (2007-2012) (ARSO)

Mesec meritve	Skupne suspendirane snovi (mg TSS/l)					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
februar/marec	3	2	11	2,4	2,8	3,7
maj	9,8	32	110	35	8,9	30
julij/avgust	7,5	15	10	28	36	35
november/december	2,2	5,5	46	3,4	4,3	4,1

Pogosto je tudi koncentracija suspendiranih snovi višja na predelih, kjer so brežine sestavljene iz velikega deleža peska in drobnega proda, kot tam kjer so brežine sestavljene iz meljasto-glinenih tal (Kronvang in sod., 2012), in večja na predelih, kjer obrežno

vegetacijo sestavljajo trave, kot so na predelih, kjer obrežno vegetacijo sestavljajo olesenele vrste (Knighton, 1998). Za območje merilnega mesta je značilno prav vse naštet: strme brežine, kjer prevladujejo peščena in meljasta tla, poraščena s travo.



Slika 26: Povprečne merjene in simulirane vrednosti suspendiranih snovi (mg TSS/l) v reki Ledavi (Pertoča) med junijem 2013 in majem 2014

Figure 26: Average measured and simulated values of suspended solids (mg TSS/l) in river Ledava (Pertoča) between June 2013 and May 2014

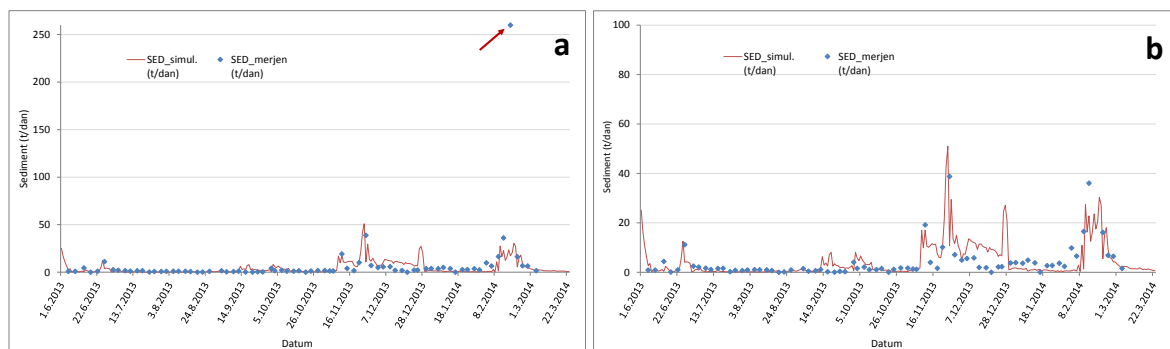
Razlika med povprečnimi mesečnimi simuliranimi in merjenimi vrednostmi (26,9 %) lahko nastopi kot posledica prostorske spremenljivosti. Kalibracija pretoka, ki je zajeta v kalibraciji suspendiranih snovi, je namreč potekala za merilno mesto Nuskova, ki se razlikuje v velikosti in lastnostih prispevne površine in tudi struge reke Ledave. Hkrati ima reka Ledava v Pertoči padec dna oziroma gladine manjši kot je v Nuskovi, zato prihaja do odlaganja suspendiranih snovi, ki se lahko z majhnimi motnjami v turbulenci ob nizkih vodostajih ponovno premešajo z vodo.

Zaradi pomanjkanja podatkov o pretoku za leto 2014 (podatki za leto 2013 so bili verificirani šele konec leta 2014), kalibracije nismo mogli izvesti na podlagi obremenitev vode s suspendiranimi snovmi (količina v vodi), ki veliko natančneje opišejo dejansko stanje premeščanja suspendiranih snovi z vodo iz odseka struge. Ko smo pridobili manjkajoče podatke za pretok (1. 1. 2014 do 5. 3. 2014), je bilo smiselno izvesti primerjavo med dnevnimi simuliranimi količinami suspendiranih snovi (t/dan) in izračunanimi količinami suspendiranih snovi (t/dan). Dnevno obremenitev s sedimentom smo izračunali kot produkt izmerjene koncentracije suspendiranih snovi (mg TSS/l) in povprečnega dnevnega pretoka (m^3/s). Pri tem smo morali prilagoditi pretok glede na spremembo prispevne površine med

merilnim mestom Nuskova in Pertoča, saj smo koncentracijo suspendiranih snovi merili v Pertoči. Vodozbirno območje do postaje Nuskova obsega podpovodja 1 - 6, 8, 10 in 12, kar znaša skupaj 52,84 km². Do Pertoče se vodozbirno območje (F) poveča za podporečji 13 in 15 (14,84 km²) in znaša skupaj 67,67 km². Na podlagi tega razmerja (enačba 14) smo izračunali pretok (Q) v Pertoči:

$$Q_{\text{Pertoča}} = \left(\frac{F_{\text{Pertoča}}}{F_{\text{Nuskova}}} \right) \times Q_{\text{Nuskova}} \quad \dots (13)$$

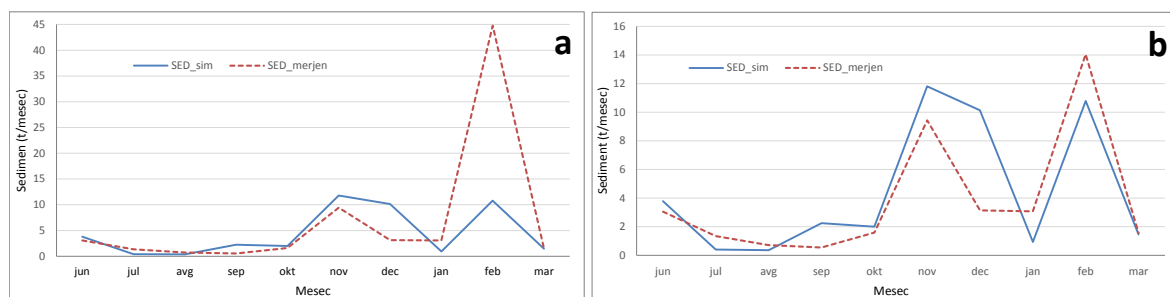
Pri tem smo ugotovili, da je ujemanje med merjenimi in simuliranimi vrednostmi veliko boljše, na kar kažejo statistični kriteriji (preglednica 22) in sliki 27 in 28. Pearsonov koeficient korelacije (r) kaže na srednjo do močno pozitivno ujemanje. Koeficient determinacije (R^2) preseže vrednost 0,5, ko se pri mesečnih povprečjih zmanjša število mogočih varianc, vključno z odstopajočo vrednostjo (17. 2. 2014 je znašala 259,8 t/dan).



Slika 27: Primerjava simuliranih in preračunanih dnevni količin suspendiranih snovi (t/dan) v Pertoči za obdobje junij 2013 in marec 2014. Na sliki a je s puščico označena odstopajoča vrednost, ki je iz grafa na sliki b izvzeta.

Figure 27: A comparison of the simulated and the calculated daily quantities of sediment (t/day) Pertoča for June 2013 and March 2014. In the picture but the arrow marked aberrant value, which is the graph in Figure b not included.

Na sliki 28 je razvidno kako velik vpliv na statistične vrednosti ima lahko ena odstopajoča vrednost, ki je posledica padavinskega dogodka (povprečna dnevna količina padavin iz prejšnjega dne do polnoči, je na najbližji padavinski postaji Cankova znašala 17,14mm). Vpliv odstopajoče vrednosti je razviden tudi iz razlik v E_{NS} koeficientu in PBIAS. V obeh primerih so rezultati ujemanja veliko boljši, kadar smo vrednost iz nabora podatkov odstranili, kar je razumljivo glede na vpliv te vrednosti na povprečje.



Slika 28: Primerjava simuliranih in preračunanih mesečnih količin suspendiranih snovi (t/mesec) na reki Ledava (Pertoča) za obdobje junij 2013 in marec 2014. Na sliki a z odstopajočo vrednostjo (17.2. 2014), ki je iz grafa na sliki b izvzeta

Figure 28: A comparison of the simulated and the calculated daily quantities of flow (t /day) in the river Ledava (Pertoča) for June 2013 and March 2014. In the picture but the arrow marked aberrant value, which is the graph in Figure b not included

Preglednica 22: Vrednosti statističnih kriterijev za dnevne in mesečne vrednosti suspendiranih snovi v reki Ledavi (Pertoča) (junij 2013 – marec 2014)

Table 22: Statistical criteria for daily and monthly values of suspended solids in the river Ledava (Pertoča) (june 2013-march 2014)

Statistični kriteriji	MESEC		DAN	
	z odstopajočo vrednostjo	brez odstopajoče vrednosti	z odstopajočo vrednostjo	brez odstopajoče vrednosti
ENS	0,26	0,57	0,11	0,38
PBIAS	36,55	-14,09	53,04	17,69
R ²	0,37	0,64	0,22	0,39
Pearson (r)	0,61	0,81	0,46	0,63

Vrednosti ENS pri mesečnih povprečjih brez odstopajoče vrednosti kažejo na zadovoljivo delovanje modela, medtem ko vrednosti koeficienta PBIAS sodijo v kategorijo zelo dobrih rezultatov delovanja (Moriasi in sod., 2007). Kljub preračunanim vrednostim za pretok, s katerimi smo lahko prikazali količino suspendiranih snovi v Pertoči, je razvidna primernost modela za simulacijo količine suspendiranih snovi.

5 REZULTATI

Da bi dokazali uporabnost razvitega orodja za optimalno umeščanje ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacije (OrIU), smo najprej podrobneje analizirali stanje v reki Ledavi in akumulaciji Ledavsko jezero, saj lahko z analizo rezultatov zveznih meritev za obdobje enega leta, pridobimo boljšo oceno o kakovosti voda, kot je podana na podlagi državnega monitoringa. Nato smo s pomočjo modela SWAT analizirali vodozbirno območje, določili kritična območja virov obremenitev (KOVO) in na podlagi nabora ukrepov oblikovali scenarije iz izbranih ukrepov ter preverili njihovo učinkovitost na zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi v akumulacijo. Zaradi pomanjkanja podatkov o odtoku iz akumulacije za obdobje umerjanja (2003-2013), akumulacije nismo zajeli v modeliranje s SWAT. Zato smo pri analizi rezultatov upoštevali podatke o dotoku suspendiranih snovi v podpovodje 18, kjer se nahaja tudi dotok v akumulacijo Ledavsko jezero.

5.1 KAKOVOST VODE V REKI LEDAVI IN LEDAVSKEM JEZERU

5.1.1 Hranila v reki Ledavi

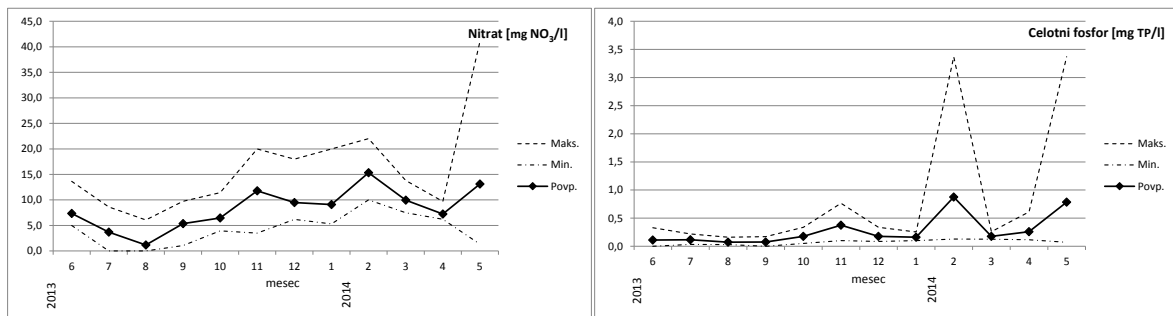
Analiza rezultatov je pokazala, da maksimalne koncentracije nitrata (NO_3^-) v vodi reke Ledave občasno presegajo mejne vrednosti za dobro ekološko stanje (9,5 mg/l) vendar so, kot je pokazala študija Ojsteršek Zorčič in sod. (2015), vezane na padavinske dogodke. Vrednosti s padajočim hidrogramom tudi hitro upadejo, kar se kaže pri povprečnih koncentracijah, ki mejnih vrednosti ne presegajo (preglednica 23). Priporočena vrednost za celotni fosfor (TP) je za salmonidne vode ($\leq 0,2$ mg TP /l), v obdobju meritev (2013 - 2014) presežena tako s povprečnimi (0,28 mg/l) in tudi z maksimalnimi izmerjenimi vrednostmi (0,85 mg/l). Priporočena vrednost za ciprinidne vode ($\leq 0,4$ mg TP/l) je bila presežena le novembra 2013 (0,77 mg TP/l), februarja (3,37 mg TP/l) in maja 2014 (3,37 mg TP/l) (preglednica 23) ter v času povečanih pretokov in obilnih padavin (slika 34).

Preglednica 23: Povprečne, maksimalne in minimalne vrednosti hranil (nitrata NO_3^- , celotni dušik TN, celotni fosfor TP in ortofosfor PO_4^{3-}) v reki Ledavi

Table 23: Average, maximum and minimum values for nutrients (nitrate NO_3^- , total nitrogen TN, total phosphorous TP and orthophosphorous PO_4^{3-}) in the river Ledava

Leto	Mesec	Nitrata [NO_3^- mg/l]				Celotni fosfor [P mg/l]				Celotni dušik [N mg/l]				Ortofosfor [PO_4^{3-} mg/l]			
		Maks.	Min.	Povp.	St.Dev.	Maks.	Min.	Povp.	St.Dev.	Maks.	Min.	Povp.	St.Dev.	Maks.	Min.	Povp.	St.Dev.
2013	6	13,64	5,01	7,35	2,37	0,33	0,00	0,11	0,10	3,48	1,13	2,14	0,66	0,000	0,000	0,000	0,000
	7	8,64	0,00	3,69	2,48	0,22	0,03	0,12	0,05	2,97	0,70	1,58	0,59	0,000	0,000	0,000	0,000
	8	6,08	0,00	1,17	2,05	0,16	0,03	0,07	0,05	1,80	0,40	0,99	0,38	0,000	0,000	0,000	0,000
	9	9,75	1,06	5,36	2,02	0,17	0,00	0,07	0,04	3,00	0,64	1,71	0,55	0,000	0,000	0,000	0,000
	10	11,43	3,95	6,48	2,24	0,34	0,05	0,18	0,08	3,38	1,32	2,05	0,67	0,102	0,000	0,039	0,029
	11	20,00	3,50	11,79	4,17	0,77	0,10	0,37	0,18	5,60	1,24	3,27	1,14	0,135	0,018	0,068	0,037
	12	18,00	6,20	9,48	2,66	0,34	0,09	0,18	0,06	4,72	2,03	2,88	0,63	0,095	0,006	0,026	0,022
2014	1	20,00	5,30	9,11	3,13	0,25	0,10	0,16	0,04	5,27	1,93	2,76	0,73	0,089	0,006	0,024	0,021
	2	22,00	10,00	15,33	3,06	3,37	0,13	0,87	0,89	6,85	3,44	4,50	0,84	0,211	0,006	0,047	0,056
	3	13,80	7,50	9,95	1,73	0,26	0,13	0,18	0,03	3,81	2,44	2,94	0,34	0,052	0,006	0,013	0,012
	4	9,70	6,23	7,23	0,86	0,61	0,12	0,26	0,11	4,05	2,22	2,77	0,40	0,122	0,009	0,038	0,034
	5	41,00	1,33	13,12	10,79	3,37	0,07	0,79	0,89	12,27	0,38	3,86	3,19	0,144	0,015	0,064	0,036
Povprečje:		16,17	4,17	8,34	3,13	0,85	0,07	0,28	0,21	4,77	1,49	2,62	0,84	0,08	0,01	0,03	0,02

Nizke vrednosti, izmerjene v poletnih mesecih (slika 29), kažejo na veliko porabo hranil, ko je rast rastlin v vodi in na kopnem na vrhuncu. Prav tako v tem obdobju ni povečanega odtoka vode in spiranja hranil s prispevnih površin zaradi strnjene vegetacijskega pokrova.



Slika 29: Nihanje povprečnih mesečnih vrednosti za nitrata (NO_3^-) in celotni fosfor (TP) v reki Ledavi v obdobju meritev (2013-2014)

Figure 29: Average monthly values for nitrate (NO_3^-) in total phosphorous (TP) in the river Ledava (2013-2014)

5.1.2 Hranila in kisik v akumulaciji Ledavsko jezero

Na podlagi povprečne letne vrednosti celotnega fosforja (0,17 mg TP/l) in celotnega dušika (1,67 mg TN/l) v Ledavskem jezeru (preglednici 23 in 24), sodi akumulacija po OECD kriterijih (preglednica 6) med hiper-evtrofna jezera. Povprečne letne in mesečne vrednosti nitrata v vodi akumulacije ne presegajo mejne vrednosti (50 mg NO_3^- /l) za pitno vodo (preglednica 24). Nekoliko višje koncentracije nitrata je zaznati v februarju, marcu, novembru in decembru, ob tem le februarja presežejo mejno vrednost za dobro ekološko

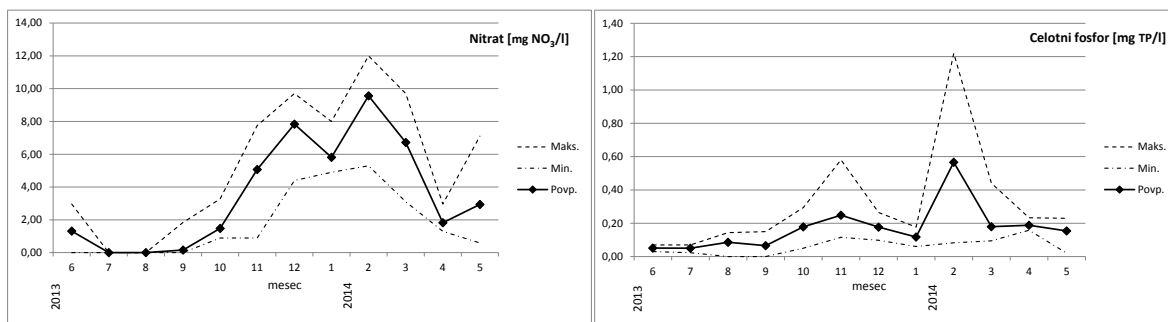
stanje ($9 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$) predpisano za reke. Povprečne mesečne vrednosti za salmonidne vode ($\leq 0,2 \text{ mg TP /l}$) v skladu z Uredbo o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (2002), so bile presežene le v mesecu februarju ($0,57 \text{ mg TP /l}$) in novembru ($0,25 \text{ mg TP /l}$). Tudi mejna vrednost za ciprinidne vode ($\leq 0,4 \text{ mg TP /l}$) je bila presežena le v februarju 2014, v obdobju obilnih padavin in povečanih pretokov.

Preglednica 24: Povprečne, maksimalne in minimalne vrednosti hranil (nitrat NO_3^- , celotni dušik TN, celotni fosfor TP in ortofosfor PO_4^{3-}) v akumulaciji Ledavsko jezero

Table 24: Average, maximum and minimum values for nutrients (nitrate NO_3^- , total nitrogen TN, total phosphorous TP and orthophosphorous PO_4^{3-}) in the reservoir Ledavsko jezero

Leto	Mesec	Nitrat [$\text{NO}_3^- \text{ mg/l}$]				Celotni fosfor (P mg/l)				Celotni dušik (N mg/l)				Ortofosfor [$\text{PO}_4^{2-} \text{ mg/l}$]			
		Maks.	Min.	Povp.	St.Dev.	Maks.	Min.	Povp.	St.Dev.	Maks.	Min.	Povp.	St.Dev.	Maks.	Min.	Povp.	St.Dev.
2013	6	2,97	0,00	1,32	0,99	0,07	0,03	0,05	0,01	1,67	0,66	1,27	0,27	0,000	0,000	0,000	0,000
	7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,02	0,05	0,01	1,50	1,00	1,17	0,15	0,000	0,000	0,000	0,000
	8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,09	0,04	2,20	0,80	1,09	0,36	0,000	0,000	0,000	0,000
	9	1,84	0,00	0,15	0,44	0,15	0,00	0,07	0,04	1,90	0,89	1,25	0,27	0,000	0,000	0,000	0,000
	10	3,28	0,89	1,48	0,72	0,29	0,05	0,18	0,06	1,74	0,71	1,17	0,25	0,043	0,000	0,015	0,010
	11	7,75	0,89	5,07	2,13	0,58	0,12	0,25	0,12	2,23	0,81	1,68	0,42	0,058	0,015	0,039	0,012
	12	9,70	4,40	7,84	1,59	0,26	0,10	0,18	0,04	3,15	1,82	2,66	0,40	0,052	0,006	0,028	0,011
2014	1	8,00	4,90	5,82	0,80	0,18	0,06	0,12	0,03	2,63	1,83	2,21	0,18	0,034	0,006	0,017	0,007
	2	12,00	5,30	9,57	2,40	1,22	0,08	0,57	0,30	3,76	1,91	2,90	0,62	0,107	0,006	0,032	0,026
	3	9,70	3,10	6,72	2,26	0,44	0,10	0,18	0,10	2,73	1,13	2,01	0,45	0,021	0,006	0,010	0,005
	4	2,97	1,30	1,83	0,53	0,23	0,16	0,19	0,02	1,64	1,02	1,31	0,20	0,013	0,006	0,009	0,002
	5	7,10	0,59	2,94	2,05	0,23	0,02	0,15	0,06	2,26	0,24	1,29	0,58	0,024	0,001	0,011	0,007
Povprečje:		5,44	1,78	3,56	1,16	0,32	0,06	0,17	0,07	2,28	1,07	1,67	0,34	0,03	0,00	0,01	0,01

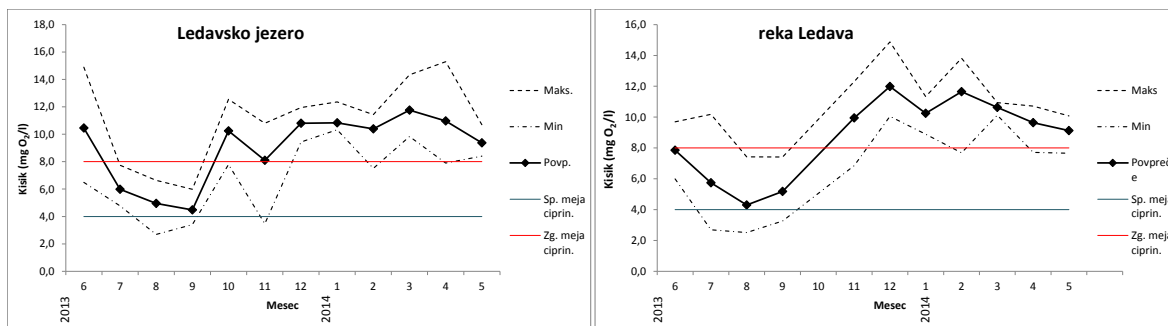
Na sliki 30 je opaziti, da koncentracije NO_3^- v vodi akumulacije v poletnih mesecih močno upadejo. Minimalne vrednosti (preglednica 24) so med junijem in septembrom padle pod mejo določljivosti (po EN ISO 10304-1 znaša meja določljivosti (LOQ) $0,026 \text{ mg NO}_3^-/\text{l}$), kar kaže na povečano primarno produkcijo in izrabo hranil v vegetacijski dobi. Koncentracije nitratnega iona narastejo v obdobju obilnih padavin in povečanih pretokov, podobno kot v reki Ledavi. Razlika med koncentracijami v reki in akumulaciji je ta, da koncentracije zaradi biogeokemijskih procesov, vezanih na zadrževalni čas vode, ki je močno odvisen od obratovalnega režima, ne upadejo tako hitro kot v reki. Zato so višje koncentracije, kljub majhnim pretokom, zaznane še v mesecu dni po visokih pretokih v reki.



Slika 30: Nihanje povprečnih mesečnih vrednosti za nitrat (NO_3^-) in celotni fosfor (TP) v akumulaciji Ledavsko jezero za obdobje meritev (2013 - 2014)

Figure 5: Average monthly values for nitrate (NO_3^-) in total phosphorous (TP) in the reservoir Ledavsko jezero (2013 - 2014)

Na sliki 31 so prikazane povprečne, minimalne in maksimalne izmerjene koncentracije kisika ($\text{mg O}_2/\text{l}$) v vodi Ledavskega jezera, z označenimi mejnimi vrednostmi kisika ($< 0,4 \text{ mg O}_2/\text{l}$ in $< 0,8 \text{ mg O}_2/\text{l}$) za ciprinidne vode po Uredbi o kakovosti voda ... (2002).



Slika 31: Povprečne, minimalne in maksimalne mesečne vrednosti koncentracije kisika ($\text{mg O}_2/\text{l}$) v akumulaciji Ledavsko jezero in reki Ledavi med junijem 2013 in majem 2014

Figure 31: Average, minimum and maximum monthly value of the oxygen concentration ($\text{mg O}_2/\text{l}$) in the reservoir Ledavsko jezero between June 2013 and May 2014

Opazimo lahko, da povprečne mesečne vrednosti koncentracije kisika ne padejo pod spodnjo mejo ($4 \text{ mg O}_2/\text{l}$) za ciprinidne vode. Ta vrednost raztopljenega kisika v vodi, je tudi mejna vrednost za zelo dobro stanje globokih jezer po Uredbi o stanju površinskih voda (2009). Najnižje koncentracije kisika je opaziti v poletnih mesecih, ko se poveča temperatura vode, ki zmanjša topnost kisika in posledično poveča procese denitrifikacije (Ojsteršek Zorčič in sod., 2015).

5.1.3 Povezanost med reko Ledavo in Ledavskim jezerom

Razumevanje, kako se akumulacija odziva na dotok hranil, je bistveno pri oceni učinka izvedenih ukrepov v vodozbirnem območju, saj je vsaka akumulacija, kot tudi interakcija akumulacije z reko, edinstvena. Rezultati raziskave (Ojsteršek Zorčič in sod., 2015) so pokazali, da lahko z zveznimi in sočasnimi meritvami kemijskih in fizikalno-kemijskih parametrov v vodi reke in akumulacije, prepoznamo procese in parametre, ki vplivajo na

dinamiko NO_3^- v akumulacijah. Z analizo podatkov so se pokazale značilne korelacije med padavinami in pretokom ($r = 0,40$, $p < 0,0001$), pretokom v reki Ledavi in odtokom iz akumulacije ($r = 0,90$, $p < 0,0001$) ter koncentracijo nitratnih ionov v akumulaciji in koncentracijo nitratnih ionov v reki Ledavi ($r = 0,60$, $p < 0,0001$). Slaba korelacija med koncentracijo NO_3^- in odtokom iz akumulacije ($r = 0,34$, $p < 0,01$) kaže, da je dotok iz reke Ledave podvržen biogeokemijskim procesom v Ledavskem jezeru, ki nihajo glede na letni čas in tudi glede na zadrževalni čas vode v akumulaciji. Z analizo podatkov smo pokazali, da so spremembe v koncentraciji NO_3^- močno odvisne od pritoka, letnega časa in obratovanja akumulacije. Močan odziv koncentracij v vodi akumulacije na spremembe v reki je značilen ob koncu vegetacijske dobe, ko je vpliv biokemičnih procesov v vodi manjši. Koncentracije v vodi akumulacije močno narastejo po padavinskem dogodku in se zaradi obratovanja le postopoma zmanjšujejo.

5.1.4 Suspendirane snovi

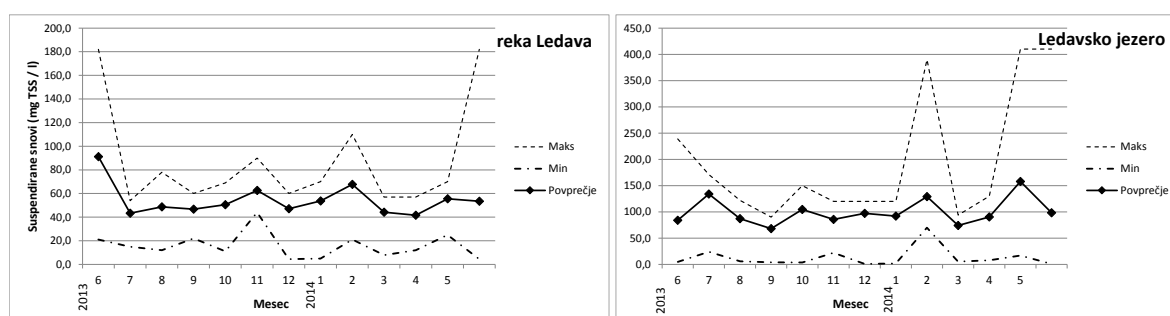
Povprečne mesečne koncentracije skupnih suspendiranih snovi (TSS) močno presegajo priporočeno mejno vrednost (≤ 25 mg TSS/l), tako v reki Ledavi kot v akumulaciji ne glede na letni čas (preglednica 25). Najvišje povprečne mesečne koncentracije v reki Ledavi so bile izmerjene v mesecu februarju (67 mg TSS/l), juniju (91,17 mg TSS/l) ter novembru (62,63 mg TSS/l). Koncentracija TSS v akumulaciji odstopa tudi od povprečnih letnih vrednosti, izmerjenih v sklopu državnega monitoringa med leti 2003 in 2006 (preglednica 6). Najvišje povprečne vrednosti v akumulaciji so bile izmerjene v februarju (129,13 mg TSS/l), maju (158 mg TSS/l), juliju (134,11 mg TSS/l) ter oktobru (104,63 mg TSS/l). Pri tem standardni odkloni kažejo na močna odstopanja od povprečnih vrednosti, kar je posledica razlik med maksimalnimi in minimalnimi izmerjenimi vrednostmi.

Preglednica 25: Povprečne mesečne vrednosti za koncentracijo suspendiranih snovi v reki Ledavi in akumulacijau Ledavsko jezeru (2013 - 2014)

Table 25: Povprečne mesečne vrednosti for total suspended solids concentration in the river Ledava and in the reservoir Ledavsko jezero (2013 – 2014)

Leto	mesec	Reka Ledava - Skupne suspendirane snovi (mg TSS/l)					Leto	mesec	Ledavsko jezero - Skupne suspendirane snovi (mg TSS/l)				
		Povprečje	Maks	Min	St.Dev	Št. Meritev			Povprečje	Maks	Min	St.Dev	Št. Merit.
2013	junij	91,17	182,00	21,00	59,36	6	2013	junij	84,12	239,00	4,70	91,90	6
	julij	43,33	54,00	15,00	11,94	9		julij	134,11	171,00	24,00	49,31	9
	avgust	48,75	78,00	12,00	20,20	8		avgust	87,00	122,00	6,00	37,24	8
	september	46,75	60,00	22,00	13,14	8		september	68,00	90,00	4,00	29,38	8
	oktober	50,56	69,00	11,00	16,93	9		oktober	104,63	150,00	3,70	48,78	9
	november	62,63	90,00	44,00	13,51	8		november	85,67	120,00	22,00	32,14	9
	december	47,06	60,00	4,50	16,50	9		december	97,22	120,00	1,00	38,13	9
2014	januar	53,66	70,00	4,90	19,09	9	2014	januar	91,98	120,00	1,80	35,32	9
	februar	67,75	110,00	21,00	24,77	8		februar	129,13	390,00	70,00	107,10	8
	marec	44,21	57,00	7,90	14,37	9		marec	74,27	94,00	5,40	26,55	9
	april	41,67	57,00	12,00	15,68	6		april	90,28	130,00	7,70	43,61	6
	maj	55,50	70,00	25,00	20,60	4		maj	158,00	410,00	17,00	172,88	4
Povpr.letno		53,50	182,00	4,50	24,30	93	Povpr.letno		98,32	410,00	1,00	62,40	94

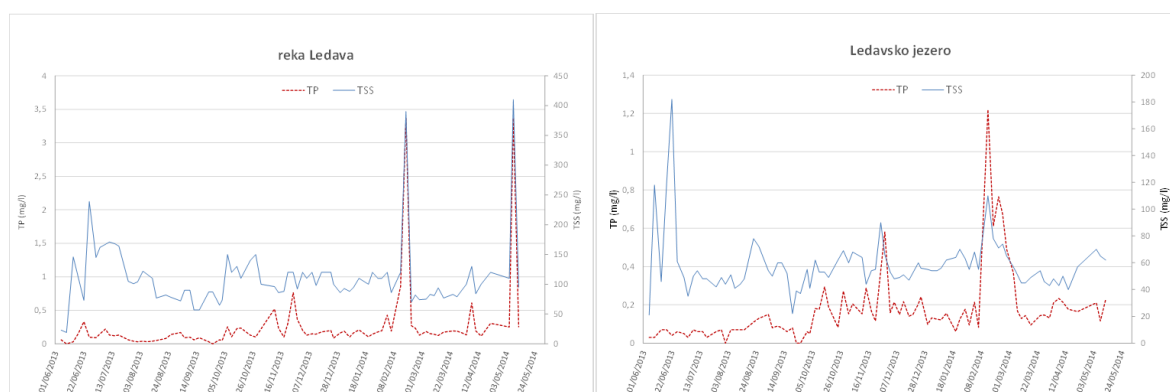
Na sliki 32 lahko opazimo, da se razlike med maksimalnimi in minimalnimi vrednostmi suspendiranih snovi v poletnih in jesenskih mesecih zmanjšajo tako v reki kot v akumulaciji. Kljub vsemu povprečne mesečne vrednosti ostajajo visoke skozi vse leto.



Slika 32: Nihanje povprečnih mesečnih vrednosti za skupne suspendirane snovi (mg TSS/l) v akumulaciji Ledavsko jezero in v reki Ledavi za obdobje meritev (2013 - 2014)

Figure 32: Average monthly values for total suspended solids (mg TSS/l) in the reservoir Ledavsko jezero and in the river Ledava (2013 - 2014)

Na sliki 33 so razvidna nihanja v koncentraciji suspendiranih snovi (mg TSS/l) in fosforja (mg TP/l) v reki Ledavi in Ledavskem jezeru. Pearsonov koeficient razkriva dobro ujemanje v Ledavskem jezeru ($r = 0,28$; $n = 50$) in zelo dobro ujemanje ($r = 0,80$; $n = 58$) v reki Ledavi. Slabša korelacija med koncentracijo fosforja in suspendiranimi snovmi v Ledavskem jezeru kaže na močan vpliv biokemijskih procesov. Hkrati lahko na podlagi teh rezultatov potrdimo dosedanja opazovanja o suspendiranih snoveh kot mediju prenosa hranil, zlasti fosforja.



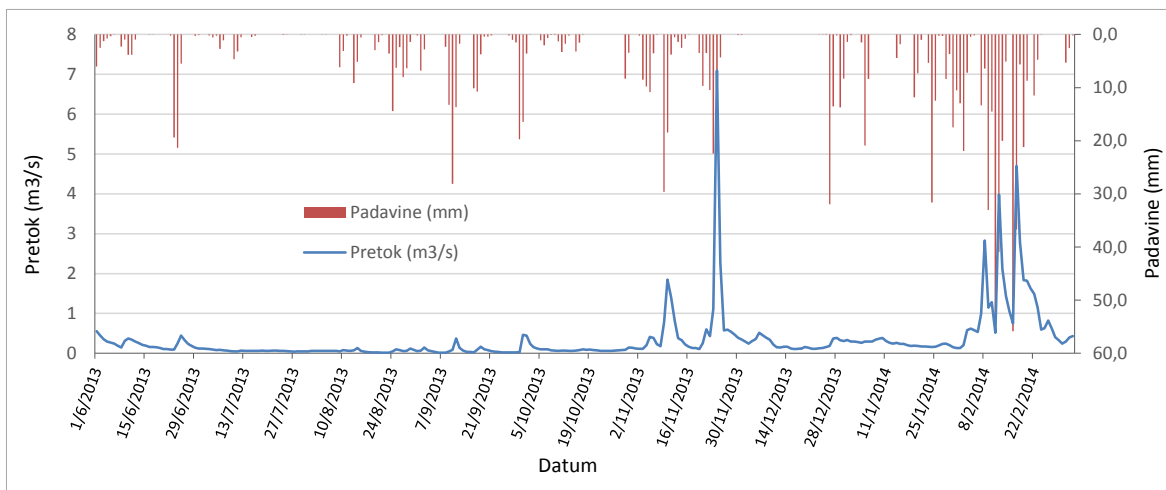
Slika 33: Koncentracija celotnega fosforja (mg TP/l) in suspendiranih snovi (mg TSS/l) v reki Ledavi in Ledavskem jezeru za obdobje meritev (2013 - 2014)

Figure 33: Measured concentrations of total phosphorus (mg TP/l) and suspended solids (mg TSS/l) in the reservoir Ledavsko jezero and in the river Ledava (2013 - 2014)

5.1.5 Padavine in pretoki

Ker so podatki o pretoku na postaji Nuskova, zaradi obnove, na razpolago le do 5. marca 2014, smo povprečne dnevne količine padavin in pretokov primerjali med junijem 2013 in marcem 2014. Na sliki 34 je razvidno, da se pretok v reki odziva na padavine v vodozbirnem območju. Med junijem in oktobrom se pretok kljub padavinam v reki Ledavi ne poveča bistveno. V tem obdobju, so namreč tla na kopnem in v strugi vodotoka prekrita z vegetacijo, kar zmanjšuje površinski odtok in odtok po strugi vodotokov. Prav tako je v tem obdobju

izhlapevanje izrazitejše. Prve konice se pojavijo v začetku novembra. Sledi jim obdobje nizkih pretokov, ki so povezani z zmrzovanjem. Temperatura zraka je 25. novembra 2013 padla pod 0°C, se konec decembra nekoliko dvignila in 9. januarja 2014 spet padla. Ob koncu januarja je zapadel tudi prvi sneg, ki se je v prvi polovici februarja pričel taliti. Ob povišanih temperaturah v februarju in intenzivnejših padavinah je pretok v reki pričel ponovno močno naraščati.



Slika 34: Dnevne vrednosti padavin (mm) za vodozbirno območje Ledavskega jezera in pretoka (m^3/s) na vodomerni postaji Nuskova (junij 2013 - marec 2014)

Figure 34: Daily precipitation (mm) values for the Ledavsko jezero watershed and flow (m^3/s) at gauge station Nuskova (june 2013 – march 2014)

Pokazali smo, da so zmanjšana prosojnost in razraščanje makrofitov in alg posledica dotoka suspendiranih snovi in nanj vezanega fosforja. Hkrati se z odlaganjem suspendiranih snovi spreminjata morfologija in hidrologija ter s tem povezani biogeokemični procesi. Zato se bomo v nadaljevanju osredotočili na modeliranje premeščanja suspendiranih snovi z vodozbirnega območja in ukrepe, s katerimi lahko zmanjšamo dotok suspendiranih snovi v akumulacijo.

5.2 REZULTATI MODELA SWAT

5.2.1 Analiza površin vodozbirnega območja

Za podrobnejšo analizo vodozbirnega območja smo si pomagali s SWAT modelom. Z razdelitvijo vodozbirnega območja Ledavskega jezera na 18 podpovodij oziroma 5758 hidroloških odzivnih enot (HOE), smo lahko dobili vpogled v dejavnike, ki ob podnebnju najbolj vplivajo na erozijske procese, tj. raba zemljišč, tip tal in naklon površin.

5.2.1.1 Raba zemljišč in naklon

Na podlagi priloge D je razvidno, da se največji delež kmetijskih zemljišč (AGRR in AGRM) nahaja v podpovodjih 1, 2, 3, 6 in 15. Od tega se njive z osuševalnimi sistemi nahajajo le na podpovodjih 2, 4, 5, 15, 16 in 17, medtem ko se travniki z osuševalnimi sistemi (FESM) nahajajo le v 2, 15, 16 in 17 podpovodju. Sicer se največ travnikov (FESC) nahaja v podpovodju 7, kjer je 68 % površin poraščenih z gozdom. V podpovodju 7 sicer prevladujejo nakloni med 11 – 24 %, kjer tudi sicer pravladuje gozd (preglednica 24). Velik del gozda pokriva tudi podpovodja od 1 do 4. Površine s sadovnjaki in vinogradi prevladujejo v podpovodju 1, 2 in 15 in na naklonih med 11 - 24 % ter 24 - 35 %. Vode pokrivajo 1,2 % celotnega vodozbirnega območja, od tega največ v podpovodju 18, kjer se nahaja Ledavsko jezero. Razpršena poselitev se kaže v dokaj enakomerni razporeditvi urbanih površin (URMD), katerih površine so večje le v podpovodjih 1, 2, 3, 7 in 13, kjer prevladujejo nakloni med 11 in 24 %. Sicer se največ urbanih površin nahaja na naklonih do 11 % (preglednica 26). Iz preglednice 26 je razvidno tudi, da se največ njiv in travnikov nahaja na naklonih do 11 % in na naklonih med 11 – 24 %. Na najbolj strmih pobočjih (naklon > 50 %) obsega gozd 65 % površin.

Preglednica 26: Površine (ha) razredov rabe zemljišč (SWAT) glede na naklon v vodozbirnem območju Ledavskega jezera

Table 26: SWAT landuse area (ha) due to slope of the Ledavsko jezero watershed

Raba SWAT	Naklon (%)					Skupaj (ha)
	0-11	11-24	24-35	35-50	>50	
AGRR	1644,12	1442,63	332,56	145,25	96,19	3660,76
AGRM	324,94	11,19	1,63	2,31	0,87	340,94
FESC	580,56	448,56	164,31	41,44	12,62	1247,50
FESM	31,69	0,06	0,00	0,00	0,00	31,75
FRST	631,87	1559,75	1088,81	612,12	241,56	4134,12
GRAP	12,12	44,12	22,00	5,94	1,87	86,06
ORCD	74,75	142,87	33,44	5,81	2,62	259,50
URMD	310,56	240,25	50,50	19,75	14,69	635,75
WATR	94,06	3,25	1,56	1,06	0,50	100,44
WETL	28,06	0,44	0,00	0,00	0,00	28,50
Skupaj (ha):	3732,75	3893,13	1694,81	833,69	370,94	10525,31

5.2.1.2 Tla

Na območju se nahaja 69 tipov tal, ki se razlikujejo predvsem po globini posameznih horizontov, vsebnosti organske snovi in teksturi (priloga C). Zaradi lažjega opisa in preglednosti smo tla opisali in razvrstili po generaliziranih talnih enotah (priloga F). Iz preglednice 27 je razvidno, da se največ glejev in psevdoglejev nahaja v podporečjih 1, 2,

4 in 7, kjer prevladujejo nakloni med 11 in 24 %. Rjava tla, ki so se razvila na ledonodobnih naplavinah rek, prekrivajo 56,1 % površin. Največ distričnih in evtričnih rjavih tal se nahaja v podpovodjih 3, 7, 10 in 15. Pri tem v podpovodju 3, ki ga pokriva 48,7% gozdnih in 38,4 % njiv, prevladujejo nakloni med 11 – 24 %. V podpovodju 7, kjer 68 % površin pokriva gozd, se kar tretjina površin nahaja na naklonu med 11 – 24 % in nekaj manj na naklonih med 24 – 35 %. Oglejena in psevdoglejena tla so najpogostejša v podpovodjih 1 in 2, kjer na naklonih do 24 % prevladujejo njive; v podpovodju 14 z največjim deležem njiv na naklonih do 11 % in gozda na naklonih od 11 – 24 %. Iz preglednice 27 je razvidno, da se največ oglejenih in psevdoglejenih tal nahaja na naklonih med 11 - 24 %, saj ta tip tal nastaja pri zastajanju padavinske vode na površini ali na neprepustni podlagi ob blagem vznožju pobočij ali teras z meljasto glinasto teksturo pliocenskih ali pleistocenskih nanosov.

Preglednica 27: Površina (ha) in odstotek površin generaliziranih talnih enot po podpovodjih vodozbirnega območja Ledavskega jezera

Table 27: Area (ha) and percent (%) of generalized soil units in the subbasin of the Ledavsko jezero watershed

Podpovodje	Gleji, psevdogleji		Distrična in evtrična rjava tla		Oglejena in psevdoglejena tla	
	površina (ha)	površina (%)	površina (ha)	površina (%)	površina (ha)	površina (%)
1	201,06	16,81	282,31	4,78	433,87	12,68
2	169,63	14,18	304,81	5,16	353,00	10,31
3	81,75	6,84	388,37	6,57	500,05	14,61
4	107,81	9,01	181,25	3,07	361,75	10,57
5	57,50	4,81	152,75	2,59	158,06	4,62
6	113,00	9,45	211,06	3,57	156,19	4,56
7	213,37	17,84	1201,38	20,34	0,00	0,00
8	6,00	0,50	58,69	0,99	0,00	0,00
9	55,31	4,63	296,12	5,01	0,00	0,00
10	43,06	3,60	425,00	7,19	184,19	5,38
11	61,94	5,18	215,56	3,65	230,13	6,72
12	20,94	1,75	193,94	3,28	137,88	4,03
13	34,62	2,90	239,50	4,05	329,56	9,63
14	5,06	0,42	325,37	5,51	373,88	10,92
15	24,88	2,08	746,44	12,64	108,25	3,16
16	0,00	0,00	218,19	3,69	14,63	0,43
17	0,00	0,00	174,25	2,95	81,00	2,37
18	0,00	0,00	291,94	4,94	0,00	0,00
Skupaj:	1195,93	100,00	5909,25	100,00	3420,12	100,00

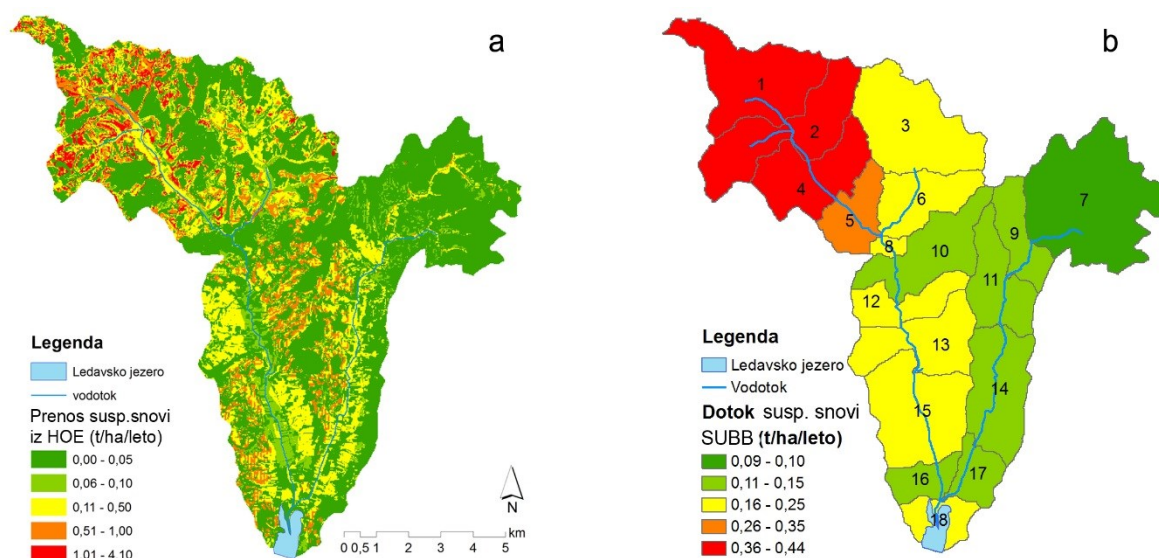
Preglednica 28: Površine generaliziranih talnih enot glede na naklon
Table 28: Soil type area regarding to the slope

Tip tal	0-11	11-24	24-35	35-50	>50	Površina (ha):
Gleji, psevdogleji	727,50	314,06	73,69	47,13	33,56	1195,93
Distrična in evtrična rjava tla	2206,94	2131,00	1023,75	425,06	122,50	5909,25
Oglejena, psevdoglejena tla	798,31	1448,07	597,37	361,50	214,88	3420,12
Površina skupaj (ha):	3732,75	3893,13	1694,81	833,69	370,94	10525,31

5.3 KRITIČNA OBMOČJA VIROV OBREMENITEV

5.3.1 Premeščanje suspendiranih snovi s površinskim odtokom

Simuliranje erozijskih procesov in dotok suspendiranih snovi v vodno v modelu SWAT temelji na enačbi MUSLE (enačba 4), ki za simulacijo uporablja količino vode površinskega odtoka na nivoju HOE. Količino suspendiranih snovi na nivoju podpovodja izračuna kot povprečje vrednosti podanih za HOE. Na iztoku iz podpovodja prišteje še suspendirane snovi v odseku vodotoka, ki se nato prišteje k odseku dolvodno. Na sliki (35) je prostorski prikaz povprečnih letnih vrednosti suspendiranih snovi (t/ha/leto), ki se površinskim odtokom premešča iz HOE in podpovodij. Opaziti je (slika 35b), da se letno v povprečju največja količina suspendiranih snovi (0,36 - 0,44 t/ha/leto) na nivoju podpovodja prenaša v podpovodjih 1, 2 in 4, sledi podpovodje 5.



Slika 35: Povprečna letna vrednost suspendiranih snovi (t/ha/leto), ki se prenese v vodotok iz HOE (a) in podpovodja (b)

Figure 35: Average annual suspended solids yield values (t/ha/yr) in the HRU (a) in the subbasin (b)

Standardni odkloni kažejo, da lahko vrednosti v podpovodjih 1 in 2 nihajo za $\pm 0,30$ t/ha/leto in v podpovodju 4 za $\pm 0,26$. Takšna nihanja so posledica prostorske in časovne razporeditve padavin ter heterogenosti prostora, različnih vrst rabe tal, tehnologij pridelovanja in lastnosti tal v teh podpovodjih. Kot je razvidno preglednice v prilogi D se na teh treh podpovodjih nahaja 28 % njiv z osuševalnimi sistemi, 30 % vseh tal z visokim deležem melja in gline (gleji, psevdogleji), 53 % vseh tal z najbolj strmimi površinami (>50 %) in 23 % tal na naklonu med 11 in 24 %. Med nižinskimi podpovodji z relativno visokim povprečjem prenosa suspendiranih snovi s površinskim odtokom izstopa podpovodje 15 (preglednica 29), na katerem se nahaja 68,7 % vseh njiv z osuševalnimi sistemi (AGRM) in kar 91 % travnikov z osuševalnimi sistemi (FESM). Kar 64 % površin se v tem podpovodju nahaja na naklonu med 0 in 11 %, kjer prevladujejo rjava tla (85 %). Preostalo tvorijo gleji in psevdogleji.

Preglednica 29: Povprečne letne vrednosti in odstopanja povprečnih letnih količin suspendiranih snovi (t/ha/leto), ki se iz podpovodij premeščajo s površinskim odtokom v vodozbirnem območju Ledavskega jezera (2006-2013). Odebeljeno so označene najvišje vrednosti

Table 29: Average values and deviations of the average annual quantities of suspended solids (t/ha/year), transported from subbasin in the watershed of the lake Ledavsko (2006-2013). In bold the highest values.

Podpovodje	Prenos suspendiranih snovi (t/ha/leto)				
	Povprečje	Mediana	Maks.	Min.	Standardni odklon
1	0,42	0,31	1,15	0,23	0,30
2	0,44	0,34	1,15	0,25	0,30
3	0,18	0,18	0,29	0,08	0,08
4	0,37	0,29	1,00	0,18	0,26
5	0,28	0,22	0,78	0,13	0,21
6	0,20	0,19	0,35	0,07	0,10
7	0,09	0,07	0,19	0,02	0,06
8	0,16	0,15	0,27	0,05	0,08
9	0,10	0,09	0,21	0,03	0,06
10	0,14	0,13	0,27	0,06	0,08
11	0,12	0,11	0,28	0,04	0,08
12	0,15	0,14	0,31	0,06	0,09
13	0,16	0,14	0,32	0,06	0,09
14	0,13	0,13	0,19	0,06	0,05
15	0,22	0,17	0,55	0,08	0,15
16	0,14	0,11	0,36	0,06	0,10
17	0,11	0,09	0,31	0,04	0,09
18	0,15	0,13	0,41	0,06	0,11
Skupaj (t/ha):	0,28	0,22	0,68	0,14	0,17

S pomočjo modela SWAT smo na vodozbirnem območju lahko določili hidrološke odzivne enote, iz katerih se v določenem časovnem obdobju prenese največja količina suspendiranih snovi (ton/ha) v strugo reke Ledave. Povprečna letna količina suspendiranih snovi (obdobje

2006 - 2013), ki se na nivoju HOE prenese v strugo reke Ledave znaša 0,28 t/ha, medtem ko lahko na določenih HOE doseže 4,10 t/ha (slika 35). V obdobjih obilnih padavin, kot naprimer v letu 2009, so najvišje vrednosti dosegle 18,17 t/ha (preglednica 30). Če primerjamo povprečno letno količino erodiranih delcev tal na območju HOE, je ta nekoliko višja (0,35 t/ha). Razlike med vrednostmi se pojavijo, saj se prenos suspendiranih snovi iz HOE v SWAT modelu izračuna po enačbi MUSLE, kjer je energija padavin zamenjana z dejavnikom površinskega odtoka, medtem ko izračun erodiranega delcev tal po enačbi USLE predvideva skupno letno erozijo, kot funkcijo energije padavin.

Preglednica 30: Vrednosti in odstopanja od povprečnih letnih količin suspendiranih snovi (t/ha/leto), ki se iz HOE premeščajo s površinskim odtokom v vodozbirnem območju Ledavskega jezera

Table 30: The values and the deviations from the average annual quantities of suspended solids (t/ha/year), which transported from the HOE in the watershed of the reservoir Ledavsko jezero

Prenos sedimenta iz HOE SYLD (t/ha/leto)									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2006-2013
Povprečje	0,35	0,17	0,25	0,68	0,21	0,20	0,14	0,22	0,28
Mediana	0,12	0,07	0,11	0,25	0,08	0,06	0,06	0,08	0,13
Maks.	7,61	3,95	6,78	18,17	5,53	8,19	2,86	6,76	18,17
St.Odklon	0,66	0,29	0,46	1,30	0,38	0,47	0,25	0,43	0,64
Erodiran sediment iz HOE USLE (t/ha/leto)									
Povprečje od USLEt_ha	0,39	0,25	0,38	0,66	0,25	0,39	0,19	0,28	0,35
Mediana	0,11	0,14	0,22	0,32	0,11	0,13	0,09	0,11	0,21
Maks.	7,66	3,96	5,79	12,86	5,11	7,59	2,22	4,63	12,86
St.Odklon	0,67	0,35	0,55	1,07	0,41	0,70	0,27	0,45	0,62

5.3.2 Kritična območja

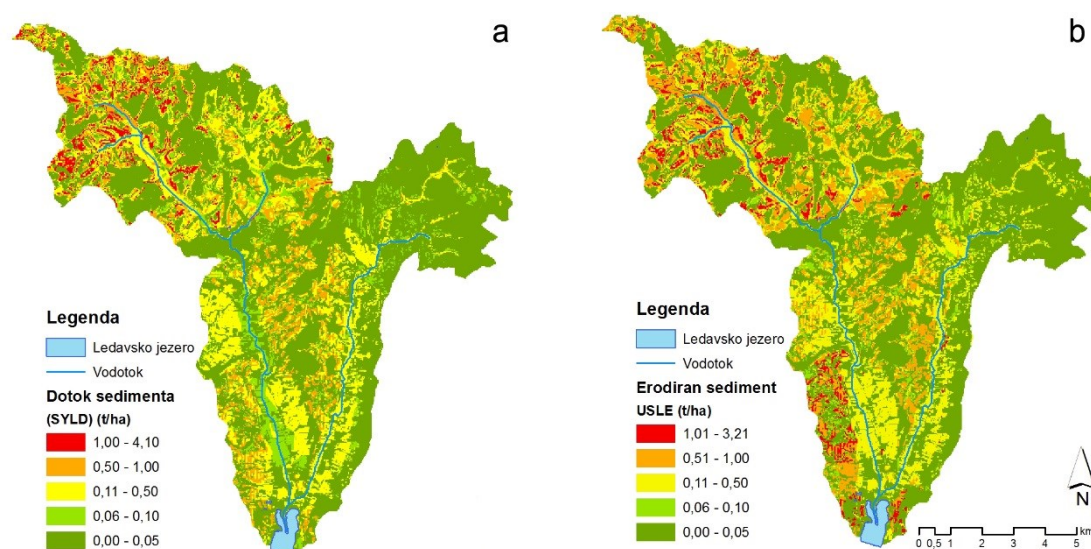
Površine HOE iz katerih se prenese največja količina suspendiranih snovi v reko Ledavo predstavljajo kritična območja. Povprečno letno vrednost prenesenih suspendiranih snovi iz HOE smo razdelili v 5 kategorij (slika 36) in kot najbolj kritična določili tista, kjer letna izguba tal presega 0,5 t/ha. Čeprav je trenutno splošno veljavna mejna vrednost geološka erozija tal (1 t/ha/leto), smo to zgornjo mejo izbrali, ker je to območje še vedno močno podvrženo delovanju zunanjih sil (Komac in Zorn, 2009). Največji odstotek površin, iz katerih se v povprečju prenese več kot 1 t/ha/leto se nahaja v podpovodjih 1, 2 in 4. Iz preglednice 31 je razvidno, da odstotek površin HOE iz katerih se premešča več kot 0,5 t/ha/leto, v podpovodjih 5, 6, 10, 12, 15 in 16 presega 10 %. Kot je razvidno iz primerjave s preglednico 26, KOVO predstavljajo 12,2 % prispevne površine oziroma 22,8 % kmetijskih površin. Med kritičnimi območji je največ njiv (AGRR, AGRM), ki obsegajo 11,8 % prispevne površine oziroma 31,1 % vseh njiv (AGRR, AGRM).

Preglednica 31: Povprečne vrednosti prenosa suspendiranih snovi iz HOE, ki presegajo 0,5 t/ha/leto, površina (ha) njiv (AGRR, AGRM) in kmetijskih površin (AGRR, AGRM, FESC, FESM, ORCH, GRAP) po podpovodjih z odstotki (%) površin njiv v podpovodju (2006-2013)

Table 31: Average suspended solids yield values from HRU, with over 0,5 t/ha/year, area (ha) of fields (AGRR, AGRM) and all agricultural land use (AGRR, AGRM, FESC, FESM, ORCH, GRAP) and percentage (%) of this area in the subbasin (2006-2013)

Podpovodje	Prenos suspendiranih snovi (>0,5 t/ha/leto)	Površina njiv (ha), kjer prenos >0,5 t/ha/leto	Površina vseh rab zemljišč (ha), kjer je prenos >0,5 t/ha/leto	Odstotek (%) njiv (> 0,5ha/t/leto) od površine podpovodja	Površina podpovodja (ha)
1	1,16	270,75	295,75	29,5	917,25
2	1,12	206,19	212,06	24,9	827,44
3	0,90	70,75	72,50	7,3	970,18
4	1,15	89,87	94,56	13,8	650,81
5	0,89	50,19	51,31	13,6	368,31
6	0,78	97,06	97,06	20,2	480,25
7	0,86	10,44	10,94	0,7	1414,75
8	0,65	0,00	0,25	0,0	64,69
9	0,69	1,13	1,13	0,3	351,44
10	0,66	89,06	91,25	13,7	652,25
11	0,69	43,88	43,88	8,6	507,63
12	0,65	41,63	41,63	11,8	352,75
13	0,66	60,00	60,00	9,9	603,69
14	0,88	45,63	45,63	6,5	704,31
15	0,82	107,31	107,31	12,2	879,56
16	0,61	29,62	29,62	12,7	232,81
17	0,60	3,00	3,00	1,2	255,25
18	0,67	26,94	26,94	9,2	291,94
Skupaj:	0,80	1243,45	1284,82	11,8	10525,31

Na sliki 36a so prikazane vrednosti povprečnega letnega prenosa suspendiranih snovi (t/ha) s površinskim odtokom na nivoju HOE in količina erodiranih suspendiranih snovi iz HOE (slika 36b). Razvidna je velika prostorska spremenljivost, saj ob vremenskih vplivih na procese premeščanja vplivajo še številni drugi dejavniki, kot so raba zemljišč, naklon in lastnosti tal.



Slika 36: Primerjava med povprečno letno količino suspendiranih snovi, ki se iz HOE prenese v reko Ledavo (a) in povprečno letno količino erodiranega suspendiranih snovi (b)
Figure 36: The comparison between the average annual quantity of sediment from the HOE is transferred into the river Ledava (a) and the average annual amount of eroded sediment (b)

Najbolj kritična območja, iz katerih se v povprečju letno prenese med 1,01 in 4,10 t/ha suspendiranih snovi, obsegajo površino 355,06 ha, kar predstavlja le 3,4 % celotnega vodozbirnega območja (preglednica 32). Območja iz katerih se v povprečju letno prenese med 0,51 in 1,0 t/ha, obsegajo 905,3 ha oziroma 8,6 % površin celotnega območja. Največji odstotek (58,6 %) vodozbirnega območja sicer obsegajo HOE, iz katerih se letno v povprečju prenese najmanj suspendiranih snovi (0,00 - 0,05 t/ha).

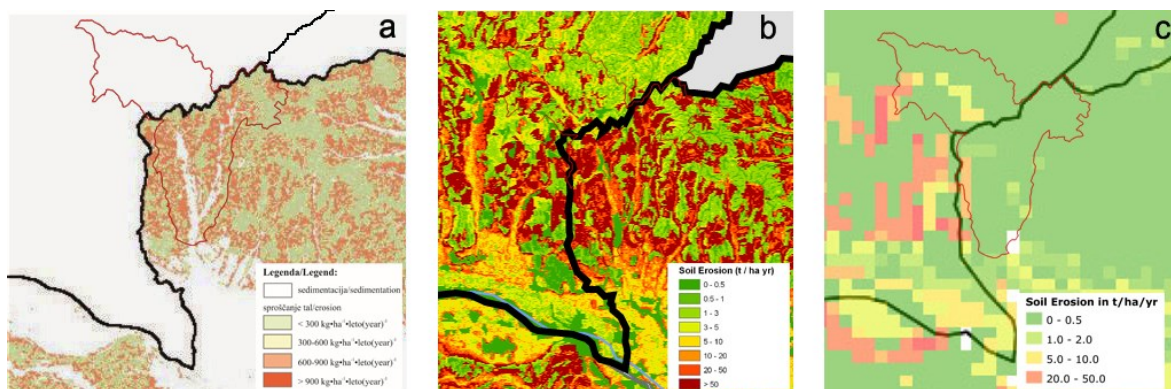
Preglednica 32: Pregled povprečnih letnih vrednosti suspendiranih snovi (t/ha), ki se iz HOE premešča s površinskih odtokom, razdeljen po razredih prenosa (2006 - 2013)

Table 32: Average annual values of sediment yield (t/ha) from HRU in five classes (2006-2013)

Razred prenosa (t/ha)	Število enotnih kombinacij	Površina (ha)	Odstotek skupne površine (%)	Prenos suspendiranih snovi (t/ha)
1,01 – 4,10	97	355,06	3,37	1,72
0,51 – 1,00	196	905,32	8,60	0,69
0,11 – 0,50	780	2245,50	21,33	0,23
0,06 – 0,10	383	855,62	8,13	0,08
0,00 – 0,05	1740	6163,80	58,56	0,01
Skupaj:	3196	10525,31	100,00	0,28

Povprečna letna količina suspendiranih snovi (0,28 t/ha), ki se premešča s prispevnih površin Ledavskega jezera, sovpada z izračunom na podlagi rabe tal in naklona (Komac in Zorn, 2005), ki sta ga za to območje prikazala Zorn in Mikoš (2010). Prostorsko heterogeno se v povprečju prenese med 0,3 t/ha/leto in 0,6 - 0,9 t/ha tal na leto (priloga K). Kako pomembno

na rezultate vpliva merilo grafičnih podlog in natančnost uporabljenih podatkov pri modeliranju, kažejo razlike v kartah na sliki 37 in prilogah od K do M. Raziskovalni center Evropske komisije (EC JRC) prikazuje dve karti. Na karti Stopnje erozije tal v Alpah (priloga L) so prikazane vrednosti izračunane s pomočjo modela RUSLE, ki so znatno višje od vrednosti, ki temeljijo na podlagi izračunov z modelom PESERA (priloga M). Povprečne letne izgube tal na vodozbirnem območju Ledavskega jezera, prikazane na karti modela PESERA, nihajo med 0,0 in 5,0 t/ha/leto. Ob tem je višja stopnja erozije tal opazna na SZ delu (Avstrija) vodozbirnega območja. Karta z vrednostmi modela RUSLE za to območje prikazuje stopnjo erozije med 1 in 50 t/ha/leto. Izseki iz omenjenih kart so prikazani na sliki 37. Bistvene razlike so v resoluciji (tj. velikost kvadratne celice) podlog, na katerih so bile izdelane: PESERA GTOPO30 (slika 37c) z resolucijo 1 km, erozija tal v Alpah (slika 37b) DEM z resolucijo 20 m in 40 m. Razlike so tudi v podatkih o rabi zemljišč. Medtem, ko so pri PESERA uporabljali CORINE 1990, so pri eroziji tal v Alpah uporabljali CORINE 2000/2006 (Panagos in sod., 2014). Komac in Zorn (2005) sta kot podlogo uporabljala karto dejanske rabe zemljišč in na podlagi vrednosti iz literature prikazala kombinacijo specifičnega sproščanja gradiva (t/ha/leto) pri naklonu nad 2 % oziroma nad 0 % in kategorije rabe tal (slika 37a).



Slika 37: Karte z vrisanim prispevnim območjem Ledavskega jezera s prikazom (a) specifičnega premeščanja tal (t/ha/leto) v Sloveniji z uporabo metode Komac in Zorn (2005), (b) stopnjo erozije tal (t/ha/leto) v Alpah z uporabo modela RUSLE in (c) erozije tal (t/ha/leto) v Evropi z uporabo modela PESERA.

Figure 37: Maps with area of the Ledavsko jezero watershed for (a) specific soil loss (t/ha/yr) in Slovenia after the model of Komac and Zorn (2005); (b) erosion rate (t/ha/yr) in the Alps using RUSLE (2008) and (c) soil erosion risk (t/ha/yr) using PESERA model (2003).

V povprečju se na nivoju HOE največ suspendiranih snovi (0,497 t/ha/leto) prenese na naklonih med 11 in 24 %. Na teh pobočjih se nahaja tudi največji odstotek površine (36,9 %) celotnega vodozbirnega območja. Iz preglednice 33 je razvidno, da so zemljišča na naklonu nad 50 % prav tako močno podvržena erozijskim procesom, vendar je skupni povprečni dotok suspendiranih snovi iz teh površin majhen, saj površine obsegajo le 3,52 % celotnega vodozbirnega območja. Iz HOE na naklonu med 0 in 11 % se premešča podobna

povprečna letna količina suspendiranih snovi kot na površinah HOE na naklonih med 24 in 35 %.

Preglednica 33: Povprečni letni prenos suspendiranih snovi (t/ha) in površine (ha), ki se s površinskim odtokom premešča iz HOE, glede na naklon

Table 33: Average annual sediment yield (t/ha) and area (ha) from HRU due to slope

NAKLON	Površina (ha)	Odstotek površin (%)	Prenos suspendiranih snovi (t/ha/leto)
11-24	3893,13	36,99	0,50
>50	370,94	3,52	0,38
35-50	833,69	7,92	0,24
0-11	3732,75	35,46	0,15
24-35	1694,81	16,10	0,14
Skupaj:	10525,31	100,00	0,28

Glede na rabo zemljišč se v povprečju letno največ suspendiranih snovi (0,598 t/ha) na nivoju HOE prenese iz njiv z drenažnimi in osuševalnimi sistemi (AGRM), sledijo njive s 0,396 t/ha letno, območja vodnih teles in vinogradi. Kot je razvidno iz preglednice 34 se v povprečju letno najmanj suspendiranih snovi prenese iz HOE z vinogradi, gozdom in travniki z osuševalnimi sistemi (FESM). Urbana območja in travniki z relativno majhnim povprečnim letnim prenosom suspendiranih snovi iz HOE (0,088 t/ha in 0,045 t/ha) prispevajo 3,8 % skupne količine suspendiranih snovi.

Preglednica 34: Povprečni letni prenos suspendiranih snovi (t/ha), ki se s površinskim odtokom premešča iz HOE, glede na rabo tal vodozbirnega območja Ledavskega jezera

Table 34: Average annual sediment yield (t/ha) from HRU due to landuse of the reservoir Ledavsko jezero watershed

RABA ZEMLJIŠČ	Površina (ha)	Odstotek površin (%)	Prenos suspendiranih snovi (t/ha/leto)
AGRR	3660,76	34,78	0,396
AGRM	340,94	3,24	0,598
URMD	635,75	6,04	0,088
FESC	1247,50	11,85	0,045
WATR	100,44	0,95	0,418
GRAP	86,06	0,82	0,367
FRST	4134,12	39,28	0,004
WETL	28,50	0,27	0,465
FESM	31,75	0,30	0,014
ORCD	259,50	2,47	0,002
Skupaj:	10525,31	100,00	0,278

Največ suspendiranih snovi se prenaša iz meljasto glinenih in glineno meljastih tal (gleji, psevdogleji). Ta tip tal se nahaja na 11,4 % površin vodozbirnega območja (preglednica 35), medtem ko največji delež (53,2 %) tal pokrivajo distrična in evtrična rjava tla različnih globin. Največji odstotek (39,5 %) glejev in psevdoglejev se nahaja na površinah z nakloni

med 11 in 24 %, sledijo površine z nakloni do 11 %, kjer se nahaja 30 % tega tipa tal in površine na naklonih med 24 in 35 %, kjer se nahaja 15 % glejev, psevdoglejev in oglejenih tal (priloga G). Ob tem se največji delež glejev in psevdoglejev nahaja v podpovodjih 1 (16,8 %), 2 (14,2 %) in 7 (17,8 %). V podpovodju 7 se hkrati nahaja največji delež rjavih tal (20,3 %), sledi podpovodje 15 z 12,6 %.

Preglednica 35: Povprečni letni prenos suspendiranih snovi (t/ha), ki se s površinskim odtokom premešča iz hidrološke odzivne enote (HOE), glede na tip tal v vodozbirnem območju Ledavskega jezera. V tej preglednici so tla, zaradi preglednosti, združena glede na opisne lastnosti zgornjega horizonta. Podroben pregled prenosa suspendiranih snovi glede na tip tal je v Prilogi G

Table 35: Average annual sediment yield (t /ha), which is a run-off moved from the hydrologic response unit (HRU), according to the soil type in the watershed of Ledavsko jezero. In this table the soils are characterized according to the descriptive characteristics of the upper horizon. Detailed overview of sediment yield due to the soil type can be found in Annex G

Opis tal	Površina (ha)	Delež površine prisp.obm. (%)	Prenos suspendiranih snovi (t/ha/leto)
Distrična, evtrična rjava tla	5909,25	56,1	0,18
Oglejena in psevdoglejena rjava tla	3420,12	32,5	0,22
Gleji in psevdogleji	1195,94	11,4	0,39
Skupaj:	10525,31	100,0	0,28

Če strnemo zgoraj opisano, ugotovimo, da kritična območja, iz katerih se v povprečju letno prenese več kot 0,5 t/ha suspendiranih snovi, predstavljajo 11,97 % vodozbirnega območja Ledavskega jezera. Pri tem se največ suspendiranih snovi prenese s površin z naklonom od 11 – 24 % in nad 50%. Čeprav njive z osuševalnimi sistemi predstavljajo le 3,24 % vodozbirnega območja, se s teh površin premešča največja povprečna letna količina suspendiranih snovi (0,598 t/ha), sledijo njive (0,396 t/ha) in vinogradi (0,396 t/ha). Pri tem njive obsegajo 34,78 % površin in vinogradi 0,82 % vodozbirnega območja. Med najbolj erodibilnimi tipi tal so se izkazali gleji in psevdogleji, ki predstavljajo le 11,4 % površin z največjim deležem na naklonih do 11 % in oglejena ter psevdoglejena tla (32,5 %) na naklonih od 11 – 24 %, kar pomeni, da se iz slednjih letno prenese 286 t več suspendiranih snovi. Opisani tip tal, naklona in rabe zemljišč tvorijo merila za optimalno umeščanje ERM ukrepov v vodozbirno območje Ledavskega jezera.

5.4 IZBOR ERM UKREPOV ZA VODOZBIRNO OBMOČJE LEDAVSKEGA JEZERA

Po rezultatih meritev, ki smo jih opravili v sklopu te raziskave (poglavje 5.1) se je izkazalo, da sta Ledavsko jezero in reka Ledava obremenjena s suspendiranimi snovmi, ki so posledica erozije v vodozbirnem območju. Glede na to, da zahodni del Goriškega spada med plazovita in usadna območja (Komac in Zorn, 2009) in da erozija predstavlja velik gospodarski problem (Gams, 1959), smo izbrali ukrepe, ki omilijo erozijske pcese in premeščanje suspendiranih snovi v vodno telo.

Na podlagi pregledane literature v poglavju 2.6 smo lahko oblikovali nabor 13 učinkovitih ukrepov (ozelenitev kmetijskih površin, kolobarjenje, ohranitvena obdelava tal, obdelava tal vzporedno s plastnicami, pokritost tal z ostanki rastlin, sprememba njiv v travnike, vegetacijski varovalni pasovi, travnati odvodni jarki, obrežni blažilni pasovi, terase, sedimentacijski bazen, zaščita brežin in pragovi v kanalih) s katerimi lahko zmanjšamo erozijske procese in premeščanje suspendiranih snovi. Zaradi različnih lastnosti obravnavanih vodozbirnih območij, podnebnih razmer, načinov izvedbe ukrepov, različnih metod meritev oziroma modeliranja, navedenih v literaturi, je potrebno takšen nabor ukrepov obravnavati le kot usmeritev pri nadaljnji izbiri ukrepov za oblikovanje scenarijev. Zato smo pri nadaljnji izbiri ukrepov upoštevali:

- dejansko rabo zemljišč, tehnologijo pridelave in mehanizacije na obravnavanem območju;
- lastnosti območja (tip tal, naklon, velikost zemljišč);
- ukrepe KOPOP, ki se hkrati navajajo tudi kot podukrep v Programu ukrepov Načrta upavljanja voda (2015 - 2021), s katerimi se varuje tla pred erozijo in
- zahteve modela in razpoložljivost podatkov. Model SWAT še vedno ne upošteva erozije brežin in usadov, hkrati bi za modeliranje premeščanja suspendiranih snovi morali opravljati meritve na več mestih vzdolž struge reke Ledave.

Izmed 13 ukrepov smo izključili ukrepe, katerih učinkovitost se povečuje z njihovim obsegom, tj. zatravljeni jarki in sedimentacijski bazeni. Takšni ukrepi so za območja z drobno strukturiranimi zemljišči, kot je v obravnavanem vodozbirnem območju Ledavskega jezera, neprimerni. Zaradi velikega obsega kmetijskih zemljišč na naklonih večjih od 11% smo izbrali terase, čeprav za to krajino niso značilne in se le redko uporabljajo. Na vodozbirnem območju podatkov o izvajanju ukrepov KOPOP še ni, ker je bil PRP 2014 – 2020 potrjen februarja 2015. Po podatkih o izvajanju ukrepov KOP za leto 2014, Agencije RS za kmetijske trge in razvoj podeželja, so se na tem območju, ob drugih podukrepih, izvajali tudi 3 podukrepi za izboljšanje rodovitnosti in zmanjšanje erozije tal: ozelenitev kmetijskih površin (214-I/2), ohranjanje kolobarja (214-I/1) in neprezimni posevki (214-I/8). Hkrati smo v izbor želeli vključiti vegetacijske varovalne pasove, ki po pregledu literature sodijo med najpogostejše uporabljene ukrepe za zmanjšanje vplivov razpršenega onesnaževanja. Izmed nabora ukrepov smo tako izbrali 5 ukrepov za oblikovanje scenarijev:

- Vegetacijske varovalne pasove
- Ohranitvena obdelava tal
- Obdelava tal vzporedno s plastnicami
- Terasiranje
- Ozelenitev kmetijskih zemljišč

5.5 OBLIKOVANJE SCENARIJEV

Na podlagi izbora petih ukrepov za omilitev erozije in premeščanja suspendiranih snovi in upoštevanja lastnosti KOVO smo oblikovali osem scenarijev, ki so podrobneje opisani v nadaljevanju. Simulirali smo ukrepe na tistih površinah, ki so najbolj podvržene eroziji: njive in njive z osuševalnimi sistemi na naklonih od 0 do 11 % oziroma od 11 do 24 %. V preglednici 37 so prikazane površine, ki jih zavzemajo posamezni scenariji po podpovodjih vodozbirnega območja Ledavskega jezera.

Preglednica 36: Obseg (ha) scenarijev, njiv (AGRR, AGRM), vseh kmetijskih zemljišč (AGRR, AGRM, FESC, FESM, GRAP, ORCH) in površin podpovodij vodozbirnega območja Ledavskega jezera

Table 36: Area (ha) of scenarios, fields (AGRR, AGRM), all agricultural landuse (AGRR, AGRM, FESC, FESM, GRAP, ORCH) and subbasins of the Ledavsko jezero watershed

Podpovodje	Obseg (ha) scenarijev po podpovodjih								AGRR, AGRM (ha)	Vsa kmet. zemljišča (ha)	Površina podpor. (ha)
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8			
1	2,46	3,83	6,29	301,06	153,25	153,25	301,06	301,06	434,44	542,31	917,25
2	1,79	4,27	6,06	278,25	170,75	170,75	278,25	278,25	389,75	478,56	827,44
3	1,59	3,40	4,99	231,56	136,00	136,00	231,56	231,56	372,37	429,31	970,18
4	1,25	1,99	3,24	154,37	79,56	79,56	154,37	154,37	218,25	261,25	650,81
5	1,08	1,56	2,64	127,19	62,31	62,31	127,19	127,19	159,31	193,94	368,31
6	1,65	3,20	4,85	227,00	127,88	127,88	227,00	227,00	263,50	286,00	480,25
7	1,48	1,89	3,37	164,25	75,50	75,50	164,25	164,25	181,56	396,12	1414,75
8	0,01	0,04	0,05	2,31	1,69	1,69	2,31	2,31	2,87	10,56	64,69
9	1,53	1,21	2,74	140,19	48,25	48,25	140,19	140,19	144,37	218,06	351,44
10	1,45	2,59	4,05	190,88	103,69	103,69	190,88	190,88	205,50	355,13	652,25
11	1,99	2,02	4,01	200,19	80,63	80,63	200,19	200,19	205,00	309,82	507,63
12	2,20	1,78	3,98	203,38	71,19	71,19	203,38	203,38	206,06	272,63	352,75
13	2,18	2,15	4,33	216,69	85,94	85,94	216,69	216,69	220,50	349,38	603,69
14	3,31	1,84	5,14	271,81	73,50	73,50	271,81	271,81	275,75	419,31	704,31
15	6,14	2,75	8,88	478,00	109,81	109,81	478,00	478,00	483,50	667,88	879,56
16	1,04	0,75	1,79	92,38	29,94	29,94	92,38	92,38	94,06	174,25	232,81
17	1,23	0,35	1,58	87,69	14,06	14,06	87,69	87,69	88,00	152,00	255,25
18	0,43	0,75	1,18	55,69	29,88	29,88	55,69	55,69	56,87	110,00	291,94
Skupaj:	32,82	36,35	69,16	3422,88	1453,82	1453,82	3422,88	3422,88	4001,70	5626,51	10525,31

S scenariji, ki temeljijo na osnovnem (base) scenariju, smo preverili, v kolikšni meri izbrani ukrepi vplivajo na zmanjšanje suspendiranih snovi v reki Ledavi ter posledično v Ledavskem jezeru. Cilj scenarijev je bil poiskati najučinkovitejši ukrep ali kombinacijo ukrepov, s katerimi bomo zmanjšali dotok suspendiranih snovi v akumulacijo. Glede na to, da na vodozbirnem območju sadovnjaki predstavljajo le 2,46 % in vinogradi 0,82 % površin, smo se odločili za simulacijo ukrepov na njivah, ki predstavljajo najbolj kritična območja iz vidika erozije tal in obsegajo 38,02 % površine območja in 96,7 % vseh KOVO. Hkrati smo

vse njive (AGRR, AGRM) na naklonu, večjem od 24% spremenili v trajni travnik, saj je v skladu s Svetovalnim kodeksom dobre kmetijske prakse (Verbič in sod., 2006) obdelava njiv na pobočjih, z naklonom večjim od 20 %, zaradi delovanja vodne erozije in posledično višjih stroškov obdelave ter neakovostne pridelave, neprimerna. Njive na naklonu nad 24 % predstavljajo le 5,5 % površin vodozbirnega območja in 14,5 % vseh njiv (preglednica 26).

5.5.1 Vegetacijski varovalni pasovi med 0 in 11 % naklona - S1

Z vegetacijskimi varovalnimi pasovi lahko zmanjšamo premeščanje suspendiranih snovi in nanje vezanih onesnažil s površinskim odtokom. Pomembnejše od širine in dolžine pasu je razmerje med prispevnim območjem in površino pasu (White in Arnold, 2009; Dosskey in sod., 2002). V skladu s priporočenimi vrednostmi smo zato za VFSRATIO (razmerje med obsegom prispevne površine in obsegom površine pasu) izbrali vrednost 60 (Waidler in sod., 2009), kar pomeni, da pasovi pokrivajo 1,67 % kmetijskih zemljišč v HOE. To je manj, kot je predvideno v okviru ukrepov KOPOP (5 – 10 % travnika). Na površinah trajnih travnikov v obsegu 5 do 10 % površine GERK-a s površino, ki je večja od 1 ha, je predviden nepokošeni pas travnika v katerem paša ni dovoljena. V kolikor je površina zemljišča 10 ha ali več, je strnjen nepokošen pas lahko v dveh ali več delih. Pas ne sme biti manjši od 0,05 ha in večji od 1 ha. Pasove sicer umeščamo ob vznožju kmetijskih zemljišč in bi morali biti sestavljeni iz avtohtonih sort trav, ki so v skladu z literaturo bolj učinkovite pri zadrževanju suspendiranih snovi kot drevesne in grmovne vrste (Erkatan in sod., 2013). Prav tako morajo biti predvidene vrste rastlin odporne na sušo, saj so le tako učinkovite v prestrezanju suspendiranih snovi in ne predstavljajo dodatnega stroška zaradi namakanja. White in Arnold (2009) predlagata, da se pri umeščanju izogibamo glinenih in ilovnatih tal, ker so tam pasovi manj učinkoviti.

5.5.2 Vegetacijski varovalni pasovi med 11 in 24 % naklona - S2

S povečevanjem naklona zemljišč se učinkovitost pasov zmanjšuje (Gumiere in sod., 2011; NRCS, 2010; Helmers in sod., 2005; Patty in sod., 1997; Daniels and Gilliam, 1996), zato je potrebno širino pasu oz. območje, ki ga pokriva pas, glede na prispevne površine, povečati. S težnjo po čim manjši izgubi uporabne površine smo predvideli, da pasovi pokrivajo 2,5 % zemljišč v HOE in z izbrano vrednostjo 40 ostali v priporočenem razponu za VFSRATIO (preglednica 38).

5.5.3 Vegetacijski varovalni pasovi med 0 in 24 % naklona - S3

V tem scenariju smo želeli preveriti učinkovitost kombinacijo pasov na naklonu do 11 % in pasov na naklonu od 11 do 24 %, kar naj bi po ugotovitvah številnih avtorjev povečalo učinkovitost na nivoju povodja oziroma vodozbirnega območja (Strauch in sod., 2013; Kaini in sod., 2012; Rocha in sod., 2012; Lam in sod., 2011; Narasimhan in sod., 2007; Dabney in sod., 2006). Razmerje med vodozbirno površino in površino pasu smo pri obeh naklonih

pustili enako (naklon 0 – 11 %, VFSRATIO: 60, naklon 11-24 %, VFSRATIO: 40), kar pomeni, da pasovi pokrivajo 2,02 % kmetijskih zemljišč v HOE.

5.5.4 Ohranitvena obdelava tal - S4

Za ohranitveni način obdelave tal je značilno, da obdelavo omejimo na nujno potrebno za sejanje ali saditev, vnos hranil in uravnavanje ostankov rastlin, pri čemer se zemlja le delno in plitvo premeša. Tak način obdelave tal zmanjša žlebično in ploskovno erozijo s tem, ko izboljša organsko snov in ohranja vodo v tleh. V Sloveniji je ohranitvena obdelava tal kot izbirna zahteva navedena pod operacijo 2.1 Poljedelstvo in zelenjadarstvo v okviru ukrepov KOPOP. Zahteva pomeni minimalno obdelavo tal za glavni posevek z rahljajnikom in vrtavkasto brano, pri čemer oranje ni dovoljeno. Obdelavo je potrebno izvesti najkasneje do 25.10. tekočega leta, saj časovna umestitev oranja vpliva na pokritost tal (razkroj rastlinskih ostankov). Modeliranje ohranitvene obdelave tal se računa s parametri globine tal (DEPTIL), z učinkovitostjo mehanskega (EFFMIX) in biološkega mešanja tal (BIOMIX). Globina tal in učinkovitost mehanskega mešanja tal določata delež ostankov rastlin, hranil, pesticidov in mikroorganizmov za vsak horizont, medtem ko BIOMIX določa aktivnost organizmov v tleh (Neitsch in sod., 2011), ki se z oranjem zmanjšuje (Ulrich in Volk, 2009). S krivuljo odtoka (CN) določamo procese infiltracije in oblikovanja površinskega odtoka, z Manningovim koeficientom (OV_N) pa ocenimo hitrost površinskega odtoka, ki je odvisna od lastnosti površine tal. Oba določimo na nivoju HOE. Prav tako pomemben parameter pri modeliranju ohranitvene obdelave tal je dejavnik kmetijskih podpornih ukrepov (USLE_P), ki definira razmerje med izgubo tal z uporabo ukrepov in obdelavo tal pravokotno na plastnice. Nastavitve za posamezne parametre so podane v preglednici 38.

5.5.5 Obdelva tal vzporedno s plastnicami med 11 in 24 % naklona - S5

S to metodo se obdelujemo in sadimo poljščine vzporedno s plastnicami. Ozke brazde, ki nastanejo povečajo hrapavost in zadrževanje vode v tleh ter zmanjšajo površinski odtok, oblikovanje žlebične in ploskovne erozije in izgubo tal. V Sloveniji nov PRP (2015-2020) med ukrepi ne navaja zahteve, ki bi se nanašala na obdelavo tal vzporedno s plastnicami, kar je bil v PRP 2007-2013 eden izmed ukrepov na naklonu zemljišč z 20 % ali več. SWAT simulira to metodo s spreminjanjem odtočne krivulje (CN) in z dejavnikom kmetijskih podpornih ukrepov (USLE_P). Vrednosti za USLE_P parameter smo določili na podlagi preglednice v navodilih (Neitsch in sod., 2011), kjer so vrednosti določene glede na naklon. Vrednost za odtočno krivuljo smo zmanjšali za 3 enote, kot so to predlagali Arabi in sod. (2007).

5.5.6 Terasa na zemljiščih z nakloni med 11 in 24 % - S6

Terasa so brežine med obdelovalnimi površinami, ki so načrtovane za prestrezanje površinskega odtoka in preprečevanje erozije tako, da skrajšajo dolžino pobočja in s tem vplivajo na zmanjšanje površinskega odtoka, zmanjšajo ploskovno in žlebično erozijo s

povečanim odlaganjem suspendiranih snovi. Največja učinkovitost je dosežena, kadar se postavljajo vzporedno s plastnicami. Njihova oblika je odvisna od naklona pobočja in kmetijske operacije. Za simulacijo se prilagaja parametre: USLE_P, CN in povprečno dolžino pobočja (TERR_SL). Vrednosti za odtočno krivuljo (CN) smo zmanjšali za 6 enot od kalibrirane na podlagi predloga Arabi in sod. (2007). USLE_P parameter smo povzeli iz navodil za vzpostavitev SWAT (Neitsch in sod., 2011), glede na naklon pobočja. Povprečno dolžino pobočja (TERR_SL) smo določili kot interval med terasnimi ploskvami (preglednica 38). Za izračun širine terase glede na naklon in razmerje brežin je bila uporabljena enačba po Colnariču (1971), kjer smo upoštevali dejstvo, da potrebuje traktor z eno prikolico obračalni prostor s premerom 13 m. Glede na to, da se izguba uporabne površine zmanjšuje s strmino zemljišča, je potrebno zajeti čim večje razmerje med višino in širino brežine. Bolj kot je brežina položna, večja je namreč izguba (Colnarič, 1971). Pri širini terasne ploskve 13 m in razmerju brežine 1 : 0,5 ostane uporabne površine na naklonih od 11 do 24 % med 95 in 87,5 %. V kolikor je razmerje brežine 1 : 1, ostane uporabne površine na teh naklonih med 90 in 75 %. Brežine je za lažje vzdrževanje oblike potrebno zasaditi s travo ali nizkorastočimi grmovnicami.

5.5.7 Kolobar brez prezimne ozelenitve - S7

Vrstenje poljščin v času in prostoru (kolobar) prispeva k ohranjanju rodovitnosti tal, saj zmanjša spiranje hranil in erozijske procese. V kolobarju se med dva glavna posevka uvrsti dopolnilni posevek oz. strniščni, krmni ali prezimni krmni dosevek. V skladu s KOPOP morajo biti v kolobar, ki obsega vse kmetijske površine, vključene najmanj tri različne kmetijske rastline kot glavni posevek, pri čemer so lahko žita v kolobarju največ trikrat. Ob tem dosevki ne predstavljajo ene od treh različnih kmetijskih rastlin, ki morajo biti vključene v petletni kolobar. V tem scenariju smo prezimni dosevek izključili. S scenarijem smo želeli preveriti, v kolikšni meri na erozijo tal vplivajo že izvajani kmetijsko-okoljski ukrepi prezimnega dosevka na območju, kjer so izredni padavinski dogodki v jesenskem in zimskem času vedno pogostejši.

5.5.8 Ozelenitev njivskih površin - S8

S sezonsko ozelenitvijo površin zavarujemo gola kmetijska zemljišča pred sproščanjem in premeščanjem tal, povečamo količino organske snovi v tleh, zadržimo vodo v tleh in hkrati preprečimo spiranje hranil. S tem ukrepom se poveča tudi biodiverzitet, zatire razraščanje plevela in zmanjša zbitost tal. Vegetacijski pokrov znatno vpliva na infiltracijo. Rastline preprečujejo padavine in zmanjšajo erozivno moč kapljic. Vpliv vegetacijskega pokrova je v bistvu funkcija gostote rastlin in morfologije rastlinskih vrst. Ta spremenljivka vključuje tudi površinsko zadrževanje in infiltracijo glede na odtok, ter je ocenjena kot 20 % od vrednosti zadrževalnega parametra za določen dan. V Sloveniji se v okviru KOPOP ukrepov ozelenitev izvaja kot izbirna zahteva (2.1.9) v okviru operacij Poljedelstvo in zelenjadarstvo ali kot pokritost tal v medvrstnem prostoru z negovano ledino (2.3.5, 2.4.5 in 2.4.6) v okviru

operacij Vinogradništvo in Sadjarstvo. V modelu smo v kolobarju dodali prezimne dosevke s črno deteljo, ki se spomladi pred setvijo naslednje kulture podorje.

Preglednica 37: Podatki o vrednostih parametrov uporabljenih pri simulaciji scenarijev za vodozbirno območje Ledavskega jezera

Table 37: Parameter and values used in the scenario simulation of the reservoir Ledavsko jezero watershed

SCENARIJ	OPIS PARAMETRA	Uporabljena vrednost	Predlagana vrednost	razpon
S1 - Vegetacijski varovalni pasovi 0-11 %				
VFSRATIO	Razmerje med vodozbirno površino in površino pasu	60	10	0-300
VFSCON	Najbolj koncentrirani del 10 % prejme 25 - 75 % površinskega odtoka	0,5	0,5	0.25-0.75
VFSSCH	Delež v najbolj koncentriranem delu pasu; vrednost je 0, če želimo prikazati da tega ni.	0	90	0-100
S2 - Vegetacijski varovalni pasovi 11-24 %				
VFSRATIO	Razmerje med vodozbirno površino in površino pasu	40	10	0-300
VFSCON	Najbolj koncentrirani del 10 % prejme 25-75 % površinskega odtoka	0,5	0,5	0.25-0.75
VFSSCH	Delež v najbolj koncentriranem delu pasu; vrednost je 0, če želimo prikazati da tega ni.	0	90	0-100
S3 - Vegetacijski varovalni pasovi 0-24 %				
VFSRATIO	Razmerje med vodozbirno površino in površino pasu	60, 40	10	0-300
VFSCON	Najbolj koncentrirani del 10 % prejme 25-75 % površinskega odtoka	0,5	0,5	0.25-0.75
VFSSCH	Delež v najbolj koncentriranem delu pasu; vrednost je 0, če želimo prikazati da tega ni.	0	90	0-100
S4 - Ohranitvena obdelava tal				
EFTMIX	učinkovitost mehanskega mešanja tal	108		0,3
DEPTIL 150	Globina mešanja z oranjem	150		0,3
DEPTIL 220	Globina mešanja z oranjem	220		0,3
BIOMIX	Učinkovitost biološkega mešanja tal	0,4	0,2	0,2
OV_N	Manningov koeficient 'n' hrapavosti površine	0,21	0.14	0,17-0,47
S5 - Obdelava tal po plastnicah 11-24 %				
CN2	Krivulja odtoka	- 3 enote	HRU based	0-100
USLE_P	dejavnik kmetijskih podpornih ukrepov (USLE_P), ki definira razmerje med izgubo tal z uporabo ukrepov in obdelavo tal pravokotno na plastnice	0,80	1	-1 do 1
S6 - Terase 11-24 %				
CN2	Krivulja odtoka	-6 enot	HRU based	0 do 100
USLE_P	dejavnik kmetijskih podpornih ukrepov (USLE_P), ki definira razmerje med izgubo tal z uporabo ukrepov in obdelavo tal pravokotno na plastnice	0,16	1	0 do 1
TERR_SL	Povprečna dolžina pobočja	15		
S7 - Kolobar brez prezimnega dosevka				
Prezimni odsevek v kolobarju odstranjen.				
S8 - Ozelenitev njivskih površin (Cover crops full)				
Po žetvi glavnega posevka v jesni smo predvideli prezimni posevek. Ostanke prezimnega posevka so spomladi podorani.				

5.6 REZULTATI SCENARIJEV

5.6.1 Osnovni scenarij

5.6.1.1 Pretok

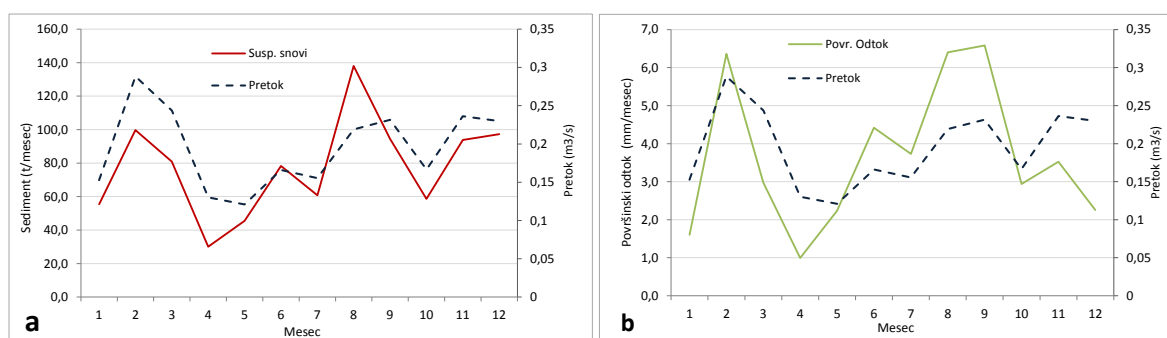
Povprečje povprečnega letnega pretoka (m^3/s) se, v kontrolnih prerezih reke na iztoku iz podpovodja, dolvodno povečuje. Najvišjo vrednost doseže na dotoku v podpovodje 18, kjer se Lukaj potok izlije v reko Ledavo (preglednica 39). Najmanjši letni povprečni pretok je v iztoku iz podpovodij 1, 3 in 7, kjer gozd pokriva 34, 6 % oziroma 68 % površin. Kljub temu, da so to po obsegu večja podpovodja (priloga D), s strmejšimi pobočji, so to hkrati podpovodja v izvirnih delih pritokov. Standardni odklon za podpovodja 1, 3 in 7, z najmanjšim povprečnim letnim pretokom, se giblje v intervalu $0,06 \pm 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$ in $0,07 \pm 0,02 \text{ m}^3/\text{s}$. Za najvišje letne povprečne pretoke (m^3/s) v kontrolnih prerezih iztokov podpovodij 15 in 16 se vrednosti gibljejo v intervalu $0,41 \pm 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ in $0,43 \pm 0,19 \text{ m}^3/\text{s}$. V teh podpovodjih izstopajo tudi maksimalne vrednosti, ki so skoraj enkrat višje od povprečnih.

Preglednica 38: Povprečje povprečnih letnih vrednosti pretoka (m^3/s) po podpovodjih vodozbirnega območja Ledavskega jezera za obdobje simulacije 2006-2013

Table 38: Average of annual average flow (m^3/s) in the subbasins in the Ledavsko jezero watershed for period of simulation 2006-2013

Pretok (m^3/s)					
Podpovodje	Povprečje	Mediana	Maks.	Min.	Standardni odklon
1	0,07	0,05	0,12	0,05	0,02
2	0,11	0,09	0,22	0,08	0,05
3	0,06	0,06	0,09	0,04	0,02
4	0,15	0,12	0,29	0,10	0,06
5	0,17	0,14	0,34	0,12	0,08
6	0,09	0,08	0,13	0,05	0,03
7	0,06	0,06	0,11	0,03	0,02
8	0,26	0,22	0,47	0,17	0,10
9	0,08	0,07	0,14	0,05	0,03
10	0,30	0,25	0,53	0,19	0,12
11	0,10	0,09	0,17	0,06	0,04
12	0,32	0,26	0,56	0,20	0,13
13	0,35	0,29	0,62	0,21	0,14
14	0,15	0,11	0,26	0,09	0,07
15	0,41	0,32	0,73	0,24	0,18
16	0,43	0,33	0,76	0,25	0,19
17	0,17	0,12	0,29	0,09	0,08
Pretok na dotoku v podporečje 18 (m^3/s)					
18	0,61	0,46	1,05	0,35	0,27

Spremenljivost pretoka na časovni ravni lahko opazujemo na sliki 38, kjer je razvidno, da povprečni mesečni pretok (m^3/s) doseže konico pozno pozimi in v začetku jeseni. Glede na to, da se sediment s prispevnih površin premešča s površinskim odtokom, sezonskim nihanjem pretoka sledi tudi nihanja suspendiranih snovi v vodotoku. Višje vrednosti suspendiranih snovi v jesenskih in spomladanskih mesecih kažejo na večjo erodibilnost tal. Erodibilnost v jeseni, se zaradi pomanjkljivo razvitega rastlinskega pokrova ob koncu žetve oziroma v fazi rasti prezimnega posevka, poveča. Za to obdobje so značilne tudi obilnejše padavine. V decembru in januarju se parametri zmanjšajo. Spomladi k erodibilnosti tal dodatno prispeva taljenje snega in ledu.



Slika 38: Povprečne mesečne vrednosti (a) pretoka (m^3/s) in suspend. snovi (t/mesec) v reki Ledavi ter (b) pretoka (m^3/s) in površinskega odtoka z vodozbirnega območja (mm/mesec) Ledavskega jezera (2006 - 2013)

Figure 38: Average monthly values (a) for flow (m^3/s) in river Ledava and (b) surface runoff (mm/month) for the Ledavsko jezero watershed and flow (m^3/s) and susp. solids (t/month) (2006 - 2013)

5.6.1.2 Količina suspendiranih snovi v reki Ledavi

Povprečna letna količina suspendiranih snovi (t) v reki Ledavi, ki se premešča iz kontrolnih prereзов na iztokih iz podpovodij, je odvisna od količine suspendiranih snovi v rečnem toku in razmerja med volumnom vode, ki odteče, in volumnom vode v rečnem odseku (Neitsch in sod., 2011). Na količino suspendiranih snovi v vodi vpliva še vrsta dejavnikov, kot so bočna erozija struge, poraščenost struge, premeščanje plavin znotraj struge z vodnim tokom. Iz preglednice (40) je razvidno, da se količina suspendiranih snovi v strugi dolvodno v smeri iztoka v akumulacijo postopoma povečuje. Izjema je iztok iz podpovodij 11, 14 in 17, kjer so majhne tudi letne količine prenesenih suspendiranih snovi s prispevnih površin (preglednica 29). Na teh podpovodjih gozd pokriva 33,4 % oziroma 37 % površin podpovodja, največ na površinah z nakloni, večjimi od 11 % (priloga D in E). Opaziti je, da so lahko največje vrednosti suspendiranih snovi v reki med leti 2006 in 2013 tudi do trikrat večje od povprečja. Standardni odklon v iztoku iz podpovodja 16 z najvišjim letnim povprečjem se lahko giblje v intervalu $2160,74 \pm 1691,48$ t/leto, medtem ko se na iztoku iz podpovodja 7, kjer je v kontrolnem prerezu v povprečju najmanjša količina suspendiranih snovi, vrednosti gibljejo v intervalu $29,42 \pm 21,07$ t/leto. Glede na dotok v podpovodje 18, tik za pritokom Lukaj potoka v reko Ledavo oziroma iztokom iz podpovodij 16 in 17, lahko

sklepamo, da se letno v akumulacijo v povprečju prenese 2457,30 t suspendiranih snovi. Dotok suspendiranih snovi v podpovodje 18 na letni ravni niha v odvisnosti od pretoka, kar je razvidno iz slike 38a.

Preglednica 39: Povprečna letna simulirana količina suspendiranih snovi (t/leto) na iztokih iz podpovodij ter na vtoku v podpovodje 18 vodozbirnega območja Ledavskega jezera v osnovnem scenariju (2006-2013)
Table 39: Average annual simulated sediment outflow (t/year) from subbasins and at the inflow to subbasin 18 in the reservoir Ledavsko jezero watershed of base scenario (2006-2013)

Suspendirane snovi v reki (t/leto)					
Podpovodje	Povprečje	Mediana	Maks.	Min.	Standardni odklon
1	569,16	538,55	1243,00	226,80	322,54
2	1013,30	726,20	2874,00	535,80	781,70
3	191,80	182,95	315,50	98,27	76,78
4	1452,34	945,80	3955,00	663,80	1145,73
5	1259,76	891,55	2736,00	641,90	818,75
6	386,23	305,25	841,70	147,30	239,77
7	29,42	19,23	70,93	8,90	21,07
8	1270,28	805,55	3024,00	569,90	940,62
9	60,61	46,67	132,80	25,18	35,75
10	1481,55	871,70	4095,00	651,80	1221,64
11	127,04	98,57	301,10	42,91	85,03
12	1628,80	984,40	4748,00	713,60	1404,04
13	1771,26	1133,50	5119,00	788,30	1498,61
14	222,31	194,90	462,20	100,60	117,48
15	1969,03	1293,50	5727,00	911,20	1653,46
16	2160,74	1516,00	5900,00	791,90	1691,48
17	269,69	250,85	476,00	117,70	117,17
Sediment v reki pred dotokom v akumulacijo (t/leto)					
18	2457,30	1811,00	6365,00	921,40	1784,44

Premeščanje suspendiranih snovi po pobočju, se pojavi z nastopom površinskega odtoka. Količina suspendiranih snovi, ki v določenem času s prispevnih površin prispe v odsek struge vodotoka, je v odvisna od količine padavin, lastnosti tal, morfologije pobočja in poraščenosti tal. Ta dinamika je razvidna tudi na vodozbirnem območju Ledavskega jezera. Na konotrolnih prerezi iztokov iz podpovodij 7 in 9 je naprimer v povprečju najmanjša povprečna letna količina suspendiranih snovi (t/leto) in najnižji povprečni letni pretok (m^3/s). Čeprav je podpovodje 7 največje med vsemi v vodozbirnem območju, obsega površni del Lukaj potoka, kjer je 68 % zemljišč poraslih z gozdom. Podpovodje 9 je med manjšimi, kjer gozd porašča večino zemljišč na pobočjih z naklonom večjim od 11 %, na ravnini prevladujejo njive. Za obe podpovodji je značilno, da prevladujejo tla z nizkim deležem gline. Največja povprečna letna količina suspendiranih snovi se nahaja na dotoku v podporečje 18 (2457,3 t/leto), kjer je tudi največji povprečni letni pretok ($0,61 \text{ m}^3/\text{s}$), kar je razumljivo, saj se pretok in suspendirane snovi dolvodno, zaradi velikosti prispevne površine povečujejo.

5.6.2 Učinkovitost predlaganih scenarijev

Učinkovitost scenarijev je bila ocenjena s primerjavo rezultatov simulacije osnovnega (base) scenarija z ostalimi scenariji. Učinkovitost scenarija (r) je bila izračunana po Arabi in sod. (2007) kot:

$$r = \left(\frac{y_1 - y_2}{y_1} \right) \times 100 \quad \dots (14)$$

kjer y_1 predstavlja dotok suspendiranih snovi (SYLD v t/ha) v base scenariju in y_2 dotok suspendiranih snovi (SEDY v t/ha) po simulaciji predlaganega scenarija, prikazano v odstotkih (%). Vrednotenje scenarijev je potekalo na nivoju posameznega podpovodja.

5.6.2.1 Vpliv scenarije na pretok

Vpliv testnih scenarijev na pretok je zelo majhen. Vegetacijski varovalni pasovi ne kažejo nobenih sprememb, saj v modelu SWAT privzeto, da ti ukrepi ne vplivajo na površinski odtok (Neitsch in sod., 2011). S scenarijema S4 in S6 se pretok najbolj zmanjša v podpovodju 7, kjer prevladujejo površine na naklonih od 11 do 24 % in obsegajo 36,7 % podpovodja. V podpovodju 7 prevladuje gozd (68 %), vendar se večina njiv nahaja na naklonih do 24 % (priloga D). Omenjena scenarija in scenarij S5 zmanjšajo pretok tudi na iztoku iz podpovodij 1, 2 in 4, kjer je prenos suspendiranih snovi s površinskim odtokom največji (priloga F). Medtem ko s scenarijem S5 bolj vplivamo na spremembe v pretoku na iztoku iz podpovodja 5, S4 in S6 večje spremembe povzročita na iztoku iz podpovodja 9, kjer je prenos suspendiranih snovi s površinskim odtokom majhen, gozd na naklonih do 24% obsega 23,8 % in njive 47 %. Na bolj strmih pobočjih je v podpovodju 9 z gozdom pokritih 73 % površin in v podpovodju 5 kar 83%. V podpovodju 5 predstavljajo površine z nakloni od 11 do 24 % dobro tretjino podpovodja (35,7 %), ob tem njive na površinah do 24 % naklona obsegajo 54,5 % in gozd 23,1 %.

Največje spremembe v pretoku so zaznane pri scenariju S8 in sicer na iztokih iz podpovodij 12, 13, 15 in 16, kjer je model izračunal največji pretok v osnovnem scenariju (preglednica 41). To so podpovodja, kjer nakloni do 24 % obsegajo več kot 90 % površine podpovodij in na katerih prevladujejo njive (priloga D) ter težka tla, kot so pobočni psevdogleji in oglejena rjava tla (priloga E). Nasprotno s scenarijem S7 povečamo pretok na iztoku iz vseh podpovodij, najbolj izrazito v podpovodjih 6, 13, 15 in 16 ter na dotoku v podpovodje 18.

Preglednica 40: Odstotek spremembe (%) modeliranih povprečnih letnih pretokov (m^3/s) na iztoku iz podpovodij vodozbirnega območja Ledavskega jezera. Z odebeljeno označenih pet najvišjih pozitivnih ali negativnih vrednosti (2006 - 2013)

Table 40: Percentage change (%) of modeled annual average flow (m^3/s) at the outlet of subbasins of the Ledavsko jezero watershed. With bold the top five positive or negative values (2006 - 2013)

Podpovodje	Vpliv scenarijev na pretok (%)							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1	0,00	0,00	0,00	0,13	0,29	0,42	-1,21	0,96
2	0,00	0,00	0,00	0,09	0,25	0,38	-1,35	1,09
3	0,00	0,00	0,00	-0,31	-0,18	-0,34	-1,20	1,03
4	0,00	0,00	0,00	0,02	0,18	0,25	-1,29	1,02
5	0,00	0,00	0,00	0,01	0,16	0,21	-1,35	1,09
6	0,00	0,00	0,00	-0,38	-0,22	-0,40	-1,69	1,44
7	0,00	0,00	0,00	0,24	0,28	0,47	-0,50	0,33
8	0,00	0,00	0,00	-0,11	0,05	0,01	-1,43	1,20
9	0,00	0,00	0,00	0,05	0,14	0,26	-0,88	0,66
10	0,00	0,00	0,00	-0,15	0,02	-0,04	-1,44	1,21
11	0,00	0,00	0,00	-0,13	0,04	0,06	-1,16	0,95
12	0,00	0,00	0,00	-0,19	-0,02	-0,08	-1,56	1,30
13	0,00	0,00	0,00	-0,22	-0,05	-0,12	-1,60	1,34
14	0,00	0,00	0,00	-0,24	-0,04	-0,05	-1,28	1,01
15	0,00	0,00	0,00	-0,26	-0,05	-0,14	-1,77	1,42
16	0,00	0,00	0,00	-0,26	-0,05	-0,14	-1,77	1,41
17	0,00	0,00	0,00	-0,25	-0,03	-0,07	-1,35	1,03
18 IN	0,00	0,00	0,00	-0,24	-0,04	-0,10	-1,63	1,29
Povprečje:	0,00	0,00	0,00	-0,12	0,04	0,03	-1,36	1,10

Spremembe pretoka v povprečnih mesečnih vrednostih smo preverili v podpovodjih 6, 9, 12, 13 in 15, ker je v teh podpovodjih prenos suspendiranih snovi v vodotok kritičen ($> 0,5 \text{ t/ha/leto}$) ter na dotoku v podpovodje 18, ki predstavlja točko pred izlivom v Ledavsko jezero. Tako kot prostorska, je razvidna tudi časovna spremenljivost (slika 39). Večina scenarijev med majem in oktobrom zmanjša pretok v reki Ledavi, le scenarij S8 poveča pretok, kar se kaže v negativni spremembi glede na osnovni scenarij. Pri vtoku v podpovodje 18 je razvidno, da na zmanjšanje pretoka v omenjenem obdobju vplivata tudi S7 in S1. Vpliv scenarijev na povečanje pretoka je opaziti med novembrom in januarjem. Pod vplivom scenarijev se pretok v februarju nekoliko zmanjša ter nato v aprilu ponovno naraste. Najmanjša nihanja glede na osnovni scenarij je opaziti pri scenariju S3. Spremembe v pretoku so opazne v podpovodjih 6 in 9, kjer scenarij S3 kaže, da se med majem in julijem za 0,9 % oziroma za 0,6 % poveča pretok.



Slika 39: Spremembe v povprečni mesečni vrednosti pretoka po izbranih podpovodjih (2, 4, 6, 12, 15 in dotok v podpovodje 18) med osnovnim in testnimi scenariji vodozbirnega območja Ledavskega jezera
Figure 39: Changes in average monthly flow values at selected subbasins (2, 4, 6, 12, 15 and inflow to subbasin 18) between the base and test scenarios of the Ledavsko jezero watershed

5.6.2.2 Vpliv scenarijev na količino suspendiranih snovi v reki Ledavi

Največjo spremembo na količino suspendiranih snovi v reki Ledavi ima scenarij S6 (terase na zemljiščih z nakloni med 11 in 24 %), zlasti na iztokih iz podpovodij 1, 2, 4 in 6 (preglednica 42, slika 40), kjer učinkovitost presega 50 %. Za ta podpovodja sta značilna tudi visok prenos suspendiranih snovi iz HOE (slika 35, poglavje 5.3.1) in velik obseg kmetijskih zemljišč na naklonih od 11 do 24 %. V povprečju se s scenarijem S6 suspendirane snovi v reki Ledavi, do pritoka v podpovodje 18 zmanjšajo za 37,09 %. Na dotoku v podpovodje 18 bi se povprečna letna količina suspendiranih snovi (t/leto) z uporabo teras zmanjšala za 30,5 %, v podpovodju 17 kar za 44,17 %. V podpovodju 17 njive na naklonih od 11 – 24 % prekrivajo le 17,2 % površin in povprečen prenos suspendiranih snovi iz HOE znaša 0,11 t/ha/leto (priloga D in F).

Vpliv vegetacijskih varovalnih pasov (S2, S3) na zmanjšanje suspendiranih snovi v reki Ledavi je prav tako večji na območju podpovodij s povečano erozijo (1, 2, 3, 4 in 6) in z nakloni med 11 in 24 %. V povprečju se je letna količina s scenarijem S2 zmanjšala za 14,5% in s scenarijem S3 za 19,6 %. Največjo učinkovitost sta oba scenarija dosegla v podpovodju 6, kjer prevladujejo njive in nakloni od 11 - 24 %. V podpovodjih 8, 10, 12, 13 in 15 se je s scenarijem S2 količina suspendiranih snovi v kontrolnem prerezu reke na iztoku iz podpovodja povečala med 0,7 - 8,2 %, s scenarijem S3 med 3,9 - 11,8 %.

Vegetacijski pasovi na zemljiščih z naklonom od 0 – 11 % (S1) so največjo učinkovitost dosegli v podpovodjih 7, 9, 11, 14 in 17. Razen podpovodja 7, kjer 37 % površine prekrivajo zemljišča z nakloni od 11 – 24 % in gozd obsega 68 % celotne površine, so ostala podpovodja nižinska z nakloni do 11 % in njivami. Količina suspendiranih snovi se z umestitvijo tega scenarija poveča (5 %) le v podpovodju 5.

Scenarij S4 (ohranitvena obdelava tal) s povprečno spremembo 14,9 % vpliva podobno kot S2, vendar z različnim učinkom glede na podpovodja. Največja sprememba je sicer opazna v podpovodju 6 (39,4 %), medtem ko učinkovitost v podpovodjih od 1 do 4 ni tako izrazita. Vpliv scenarija je večji v podpovodjih 7, 11, 14 in 17. Scenarij S4 je v podpovodjih 8, 10, 12, 13 in 15 v povprečju (1,9 - 16,8 %) prispeval k povečani količini suspendiranih snovi v reki.

Z obdelavo tal po plastnicah (S5) se je količina suspendiranih snovi v reki v povprečju zmanjšala za 12,1%. Največje spremembe so opazne v podpovodjih 1, 2, 4, 6 in 17, tako kot pri scenariju S6 in pri ozelenitvi njivskih površin (S8). Prav tako se je pri obeh scenarijih povečala povprečna letna količina suspendiranih snovi v reki Ledavi v 8, 10, 12, 13 in 15.

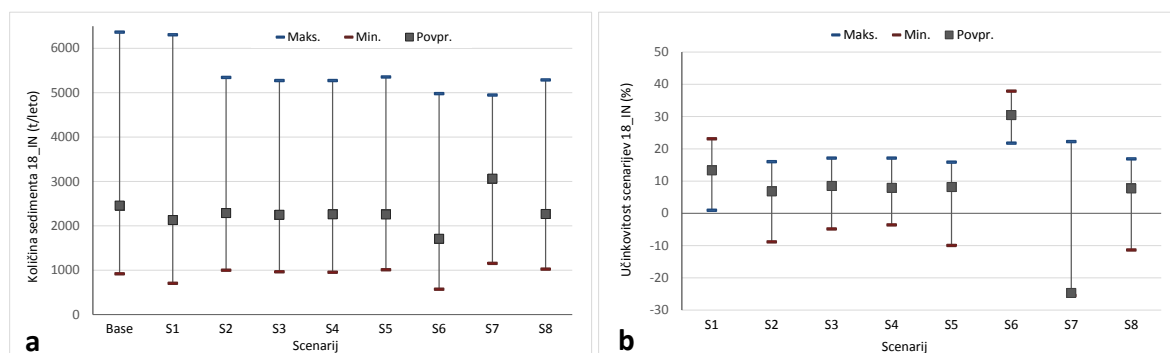
Z odstranitvijo prezimnega posevka (S7), se je količina suspendiranih snovi glede na osnovni scenarij v reki povečala za 20,1 %. Pri vseh podpovodjih najbolj izstopa vpliv scenarija na količino v podpovodju 17, kjer se je količina suspendiranih snovi povečala za 86,4%, sledijo podpovodja 7, 6, 2 in 1. V podpovodjih 4, 5 in 8 se je povprečna količina suspendiranih snovi zmanjšala med 0,1 in 1,1 %.

Preglednica 41: Vpliv scenarijev na povprečno letno količino suspendiranih snovi (t/leto) na iztokih iz podpovodij reke Ledave ter vtoku v podpovodje 18, izražen kot odstotek (%) spremembe glede na osnovni scenarij (2006-2013). Z odebeljeno označenih pet največjih sprememb v scenariju.

Table 41: The impact of the scenarios on the annual average amount of suspended solids (t/year) at the outlets from subwatersheds and at the inflow into subwatershed 18, expressed as a percentage (%) change from the baseline scenario (2006-2013). With bold the five largest changes in the scenario.

Podpovodje	Vpliv scenarijev na količino suspendiranih snovi v reki Ledavi (%)							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1	13,06	30,36	39,92	27,07	23,69	51,40	-35,18	28,28
2	10,88	30,00	36,45	25,63	23,32	50,97	-26,86	21,39
3	7,51	36,73	40,13	21,74	20,64	43,28	-17,48	10,55
4	9,68	28,44	33,82	24,01	22,29	54,14	1,10	19,91
5	-5,00	10,73	13,09	7,17	5,30	34,56	0,19	1,03
6	11,43	43,39	47,39	39,40	36,79	59,75	-41,70	30,03
7	25,77	15,54	30,29	32,15	21,09	43,06	-32,27	15,92
8	10,30	-8,19	-11,79	-16,76	-13,90	16,07	0,13	-8,03
9	15,39	11,40	20,75	25,19	16,47	33,04	-23,26	14,43
10	9,60	-6,31	-8,13	-11,47	-8,91	19,19	-0,83	-5,26
11	24,66	21,52	34,91	29,34	19,99	41,40	-25,39	15,86
12	9,40	-5,46	-6,69	-8,79	-6,77	20,26	-2,53	-4,49
13	9,14	-3,35	-3,93	-4,62	-3,26	22,28	-2,55	-2,45
14	22,58	20,04	33,23	29,94	21,06	43,80	-26,77	17,37
15	9,53	-0,71	0,00	-1,87	-0,53	24,72	-5,41	-0,49
16	12,36	4,70	5,03	4,87	6,13	28,41	-17,14	6,09
17	20,33	18,10	29,06	30,25	22,48	44,17	-86,39	20,23
18_IN	13,30	6,79	8,47	7,93	8,17	30,47	-24,68	7,73

Količina suspendiranih snovi v reki Ledavi do iztoka v podpovodje 18 se je v povprečju najbolj zmanjšala s scenarijem S6 (30,5 %), S3 (8,5 %), S5 (8,2 %) in S4 (7,9 %). Najmanjše spremembe glede na osnovni scenarij je pri dotoku v podpovodje 18 opaziti pri scenarijih S1 (0,13 %), S2 (6,8 %) in S8 (7,7 %). Ob tem je scenarij S7 vplival na povečanje suspendiranih snovi pri dotoku za 24,7 %. Povprečne, maksimalne in minimalne količine suspendiranih snovi pri posameznih scenarijih in odstotek sprememb na dotoku v podpovodje 18 so prikazane na sliki 40.

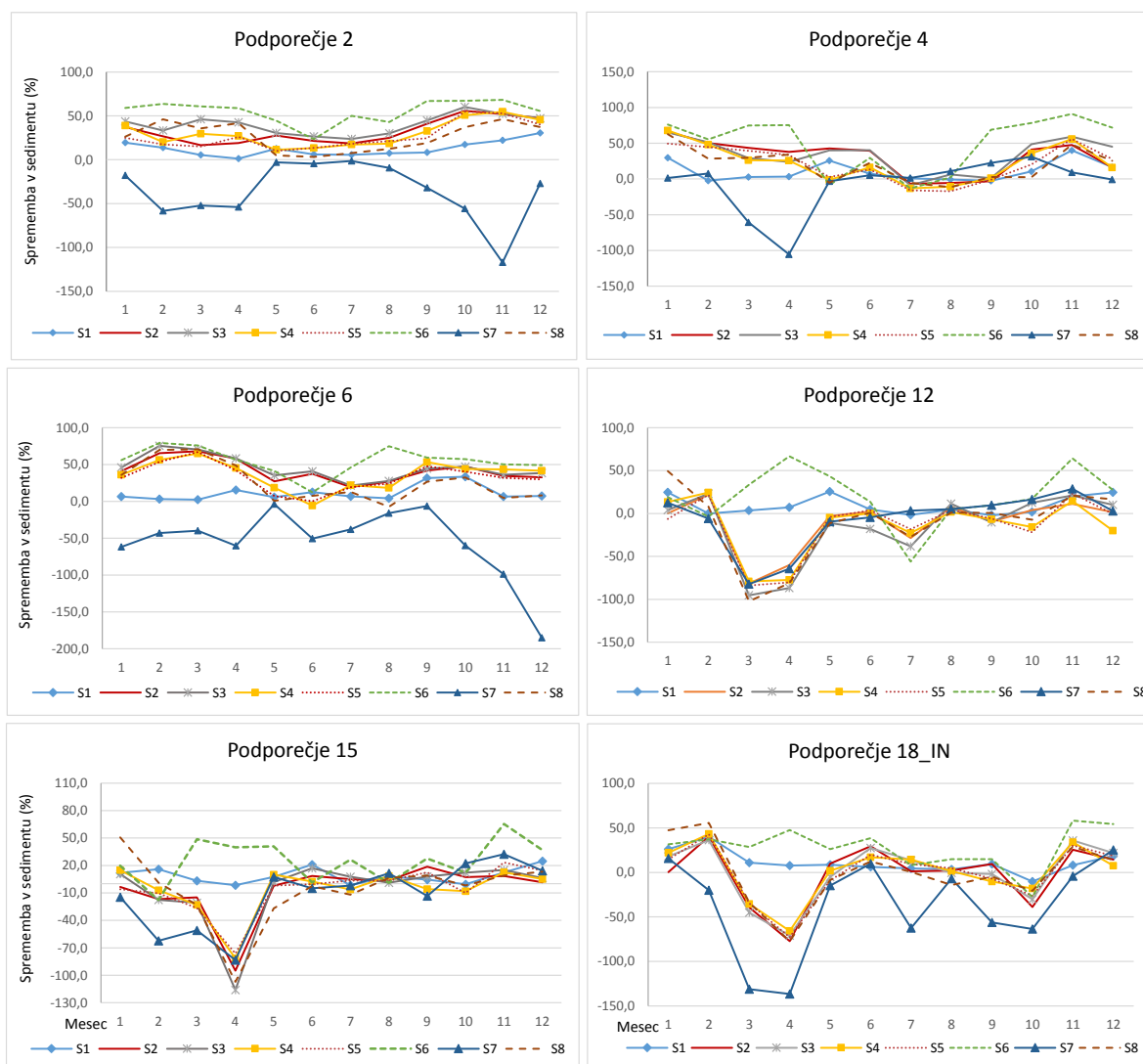


Slika 40: Povprečne, minimalne in maksimalne količine suspendiranih snovi (t/leto) (a) ter povprečne, minimalne in maksimalne spremembe (%) glede na osnovni scenarij (b) na dotoku v podpovodje 18 vodozbirnega območja Ledavskega jezera

Figure 40: Average, minimum and maximum amounts of suspended solids (t/year) (a), and the average, minimum and maximum percentage of change (%) in the baseline scenario (b) at the inflow to subbasin 18 of the reservoir Ledavsko jezero watershed

Kot je razvidno iz slike 41, učinkovitost scenarijev niha tako prostorsko kot časovno. V podpovodjih 2 in 4, z najvišjim prenosom suspendiranih snovi iz HOE, je opaziti najmanjša nihanja skozi leto. Pri večini scenarijev se učinkovitost poveča med majem in septembrom, upade do novembra in se nato postopoma povečuje. Scenarij S7 skozi vse leto najbolj odstopa v podpovodjih 2 in 6, medtem ko v podpovodju sledi nihanju ostalih scenarijev. Medtem ko se učinkovitost ostalih scenarijev v podpovodju 2 med avgustom in oktobrom ter med februarjem in aprilom poveča, učinkovitost S7 močno pade. Večjo spremembo pri scenariju S7 je opaziti tudi v podpovodju 4, kjer se vpliv scenarija močno zmanjša v mesecu aprilu.

Vpliv scenarijev S1 in S6 med februarjem in majem odstopa v podpovodjih 12 in 15. Medtem ko se vpliv ostalih scenarijev zmanjša, vpliv S1 in S6 narašča. Pri dotoku v podpovodje 18 so spremembe v scenarijih podobne kot na iztokih iz podpovodij 12 in 15, razen izrazitejših sprememb v scenariju 7.



Slika 41: Vpliv izbranih scenarijev (osnovni, 1, 3, 6, 8) na suspendirane snovi v reki Ledavi prikazan kot odstotek (%) mesečnih povprečij vseh podpovodij v vodozbirnem območju Ledavskega jezera
Figure 41: The impact of selected scenarios (base, 1, 3, 6, 8) on suspended solids in the river Ledava is shown as a percentage (%) of the monthly averages in the subbasin in the Ledavsko jezero watershed

5.6.2.3 Vpliv scenarijev na prenos suspendiranih snovi s površinskim odtokom

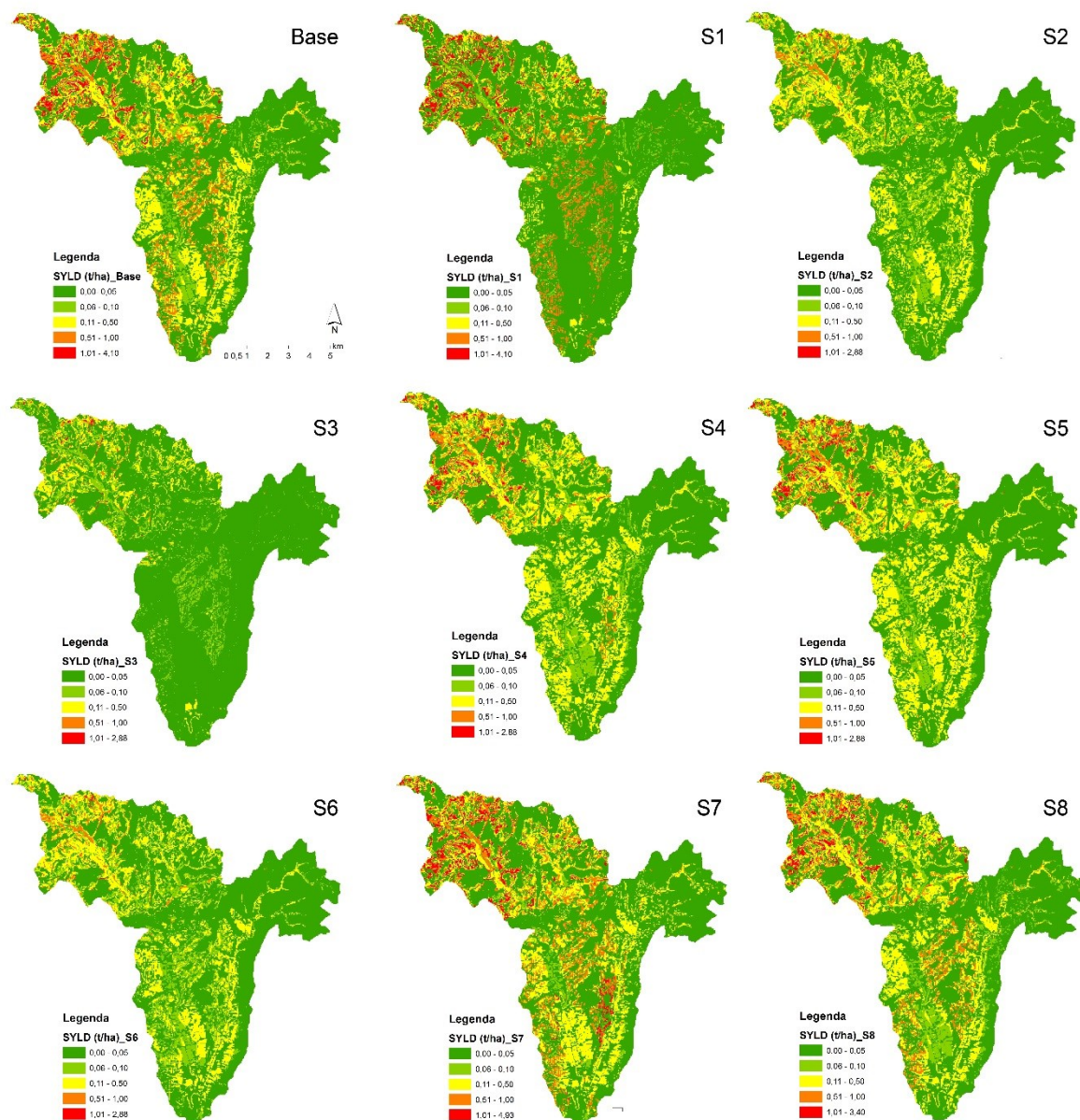
Pri vseh, razen pri scenariju S7, se premeščanje suspendiranih snovi iz HOE zmanjša (preglednica 43, slika 42). Na zmanjšan prenos suspendiranih snovi s površinskim tokom iz HOE najbolj vplivata scenarija S3 (56,1 %) in S2 (43,4 %). Pri tem se učinkovitost S3 poveča za vrednost S1, saj se za S1 poveča odstotek površin, na katere umeščamo vegetacijski varovalni pas. Na prenos suspendiranih snovi močno vpliva tudi scenarij S6 (42,4 %), sledita scenarija S4 (20,3 %) in S5 (18,9 %). Najmanj sprememb v prenosu suspendiranih snovi glede na osnovni scenarij je opaziti pri scenarijih S1 (12,8 %) in S8 (11,9 %).

Nihanja med podpovodji znotraj posameznega scenarija so veliko manjša. Med podpovodji, kjer je vpliv scenarijev S1, S3 in S8 največji, izstopajo podpovodja 9, 11, 14 15 in 17, kjer je delež površin z njivami na naklonu do 11 % največji. Največja sprememba je opazna pri scenariju S3, ki prenos suspendiranih snovi v podpovodju 17 zmanjša za 85,4 %, v podpovodju 15 za 89,5 % in v podpovodju 9 za 92,1 %. Scenarij S7 poveča prenos suspendiranih snovi na podpovodjih 7, 9, 11, 12 in 14, ki so si sicer med seboj po lastnostih zelo različna. Medtem ko v podpovodjih 9, 11 in 12 prevladujejo nakloni do 11 % in njive, v podpovodjih 7 in 17 prevladuje gozd. Ob tem je podpovodje 7 z največjim deležem (37%) površin na naklonu od 11 – 24 % in 30 % površin z nakloni med 24 in 35 %.

Preglednica 42: Vpliv scenarijev na povprečno letno količino suspendiranih snovi prenesenih na nivoju podpovodja vodozbirnega območja Ledavskega jezera izražen kot odstotek (%) spremembe glede na osnovni scenarij (2006-2013).

Table 42: The impact of the scenarios on the annual average annual sediment yield at the subwatershed level of the reservoir Ledavsko jezero watershed expressed as a percentage (%) change to the baseline scenario (2006-2013).

Podpovodje	Sprememba na prenos suspendiranih snovi iz HOE (%)							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1	8,64	32,35	40,90	14,65	14,07	32,15	-8,59	8,98
2	12,84	41,75	54,59	19,56	18,09	41,34	-11,15	11,62
3	9,25	32,35	41,60	16,42	15,09	31,66	-8,23	8,16
4	9,86	43,79	53,65	19,37	18,72	43,01	-10,49	11,67
5	15,24	48,29	63,52	21,31	20,44	46,67	-12,58	13,69
6	16,40	50,93	67,34	24,81	22,77	49,24	-14,11	13,75
7	10,55	41,09	51,64	22,97	19,26	39,44	-22,26	10,15
8	14,92	40,27	55,18	19,41	16,75	37,85	-18,13	13,13
9	28,65	53,43	82,09	29,67	23,74	50,34	-19,47	18,61
10	17,14	54,47	71,61	27,64	24,57	52,44	-17,07	14,15
11	23,37	55,92	79,30	30,80	25,33	53,81	-21,20	16,69
12	21,60	54,82	76,42	30,22	24,92	53,07	-19,11	15,10
13	20,16	54,16	74,32	30,10	24,51	52,28	-16,83	16,87
14	20,11	57,10	77,21	28,83	25,78	54,65	-24,15	15,37
15	20,06	64,42	84,48	31,55	28,62	61,95	-13,09	16,46
16	21,42	52,92	74,34	26,95	24,64	51,72	-9,42	16,08
17	25,49	59,91	85,40	31,44	27,98	57,17	-12,89	18,75
18	20,80	57,13	77,93	28,44	26,55	54,99	-11,18	14,80
Povprečje:	12,78	43,36	56,13	20,33	18,94	42,41	-11,53	11,91



Slika 42: Spremembe v povprečni letni količini suspendiranih snovi prenesenega s površinskim odtokom iz HOE za posamezne scenarije v vodozbirnem območju Ledavskega jezera

Figure 42: Changes in the average annual amount of sediment retained by surface runoff from HRU-specific scenarios for the watershed of reservoir Ledavsko jezero

5.6.3 Vrednotenje in izbira ukrepov

Glede na povprečne izmerjene vrednosti suspendiranih snovi v reki Ledavi (53,5 mg TSS/l) in Ledavskem jezeru (98,32 mg TSS/l) (preglednica 25) in glede na priporočeno vrednost v skladu z Uredbo o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (25 mg TSS/l), bi morali v reki Ledavi zmanjšati koncentracijo za 46,7 % in v Ledavskem jezeru za 73,32 %. V podpovodjih, kjer je bila koncentracija v odsekih struge reke Ledave največja (1, 2, 3, 4, in 6), smo k zmanjšanju najbolj vplivali s scenariji S4, S5 in S6. V povprečju so

se za bolj učinkovite izkazali scenariji S2, S3 in S6 in sicer za 11,7 %, 13,1 % oziroma 5,8%. S scenarijem S7 se je koncentracija v vseh odsekih iz podpovodij zvišala za povprečno 1,1%. Na kontrolnem prerezu iz podpovodja 15, kjer se nahaja merilno mesto Pertoča, sta k znižanju koncentracije suspendiranih snovi največ prispevala scenarija S2 in S3 in sicer za 18,5 % (preglednica 44).

Preglednica 43: Vpliv scenarijev na povprečno letno koncentracijo skupnih suspendiranih snovi (TSS) v odsekih reke Ledave (2006-2013). Z odstotki so prikazane spremembe scenarijev glede na osnovni scenarij.
Table 43: The impact of the scenarios on the annual average concentration of total suspended solids (TSS) in sections of the river Ledava (2006-2013). The percentages shown are change scenarios in the base scenario.

Vpliv scenarijev na zmanjšanje TSS (%)								
Podpovodje	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
1	2,51	6,24	7,69	3,36	2,85	6,04	-1,71	1,28
2	2,68	10,03	11,98	7,11	5,54	11,60	-2,91	2,85
3	0,01	4,10	4,90	2,86	2,41	4,63	-0,22	0,49
4	2,40	12,45	14,12	4,24	3,99	8,42	-2,02	2,05
5	2,87	16,34	18,81	7,44	5,63	10,74	-2,19	3,70
6	0,65	6,65	7,49	1,73	1,33	4,35	-0,16	0,32
7	10,21	10,67	12,61	6,55	3,38	6,59	-5,15	3,91
8	2,79	15,01	15,85	3,31	2,54	5,29	0,08	0,23
9	2,91	2,43	3,43	-0,75	0,28	-0,89	-0,54	0,43
10	4,24	16,89	17,16	2,43	1,66	4,47	-0,41	-0,47
11	6,04	5,81	7,38	1,67	1,55	1,81	-1,91	1,63
12	6,17	18,19	18,21	2,40	1,73	4,95	-1,16	0,07
13	8,59	19,09	19,50	1,57	1,61	4,87	-1,97	-0,75
14	9,99	9,57	12,25	4,12	3,49	5,22	-3,41	2,73
15	9,05	18,45	18,50	2,15	1,72	5,54	-1,78	-1,13
16	8,64	19,55	22,60	2,32	2,76	4,20	0,01	0,21
17	11,91	11,01	13,39	0,88	1,44	2,71	-3,68	3,04
18	9,37	19,29	22,68	1,99	2,86	4,54	-0,85	0,43
Skupaj:	4,15	11,74	13,08	3,26	2,77	5,84	-1,32	0,98

V preglednici 45 so povzete povprečne vrednosti sprememb scenarijev glede na osnovni scenarij za posamezne parametre v vodozbirnem območju akumulacije Ledavsko jezero in reki Ledavi. V povprečju je simulacija vseh scenarijev vplivala na rahlo povečanje pretoka v reki Ledavi, razen scenarija S8, s katerim se je pretok zmanjšal za 1,1 %. Količina suspendiranih snovi v reki Ledavi se je v povprečju najbolj zmanjšala s scenariji S3 (19,0 %), S4 (14,5 %) in S6 (36,7 %), medtem ko so na prenos suspendiranih snovi iz HOE, najbolj vplivali scenariji S3 (56,1 %), S2 (43,4 %) in S6 (42,4 %).

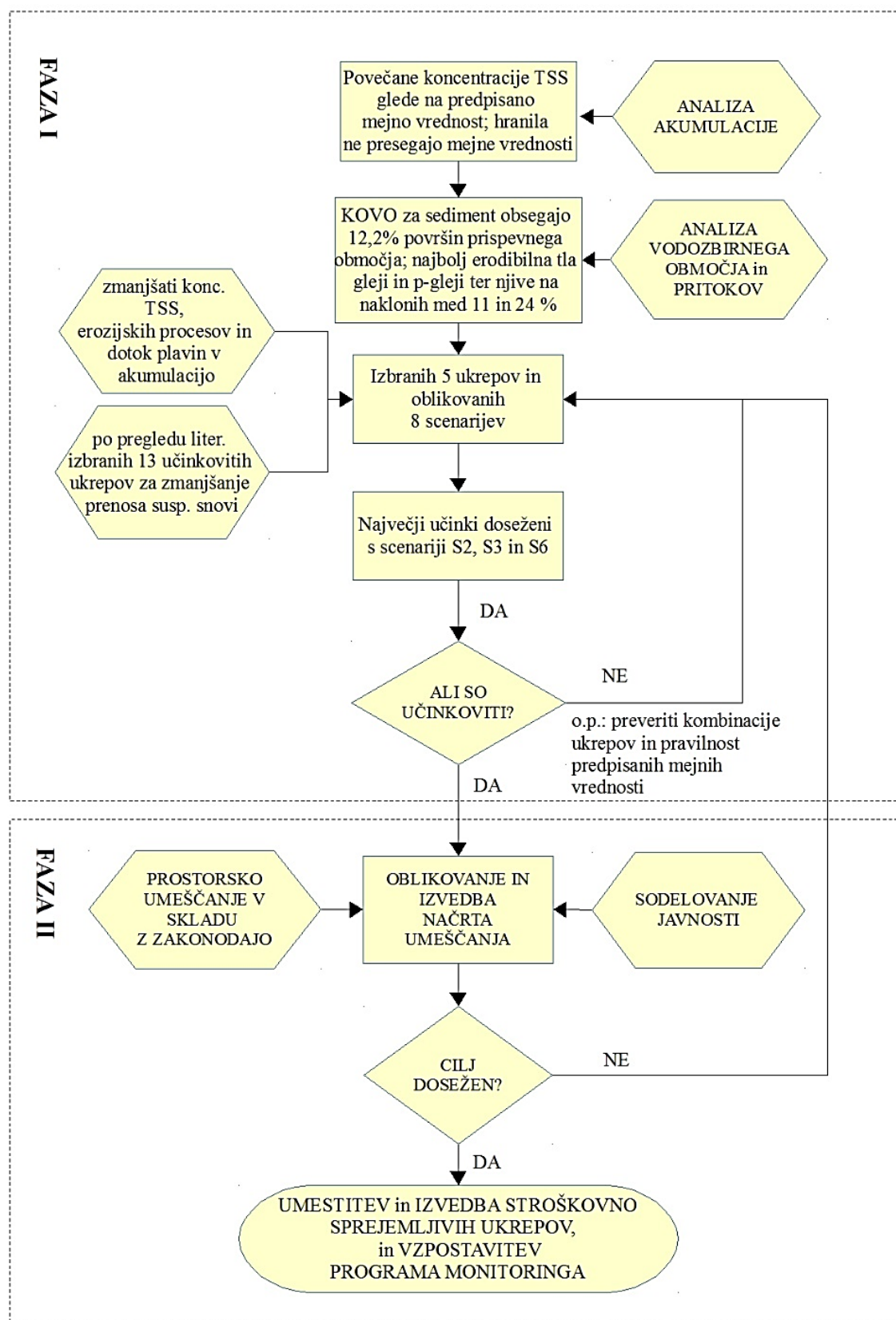
Preglednica 44: Pregled povprečnih sprememb scenarijev glede na osnovni scenarij za pretok (m^3/s), količino suspendiranih snovi v reki Ledavi na dotoku v podpovodje 18 (t/leto), prenos suspendiranih snovi iz HOE (t/ha/leto) ter koncentracijo suspendiranih snovi v reki Ledavi (mg TSS/l) za obdobje 2006 - 2013

Table 44: Review of the average scenarios changes relative to the base scenario for flow (m^3/s), the amount of sediment in the river Ledava at the inflow to subbasin 18 (t/yr), the sediment yield from HRU (t/ha/year) and the concentration of suspended solids in the river Ledava (mg TSS/l) for the period 2006 - 2013

Scenariji	Učinkovitost (%)			
	Susp. snovi na dotoku v akumulacijo	Prenos susp. snovi iz HOE	Koncentracija TSS	Razpolovna doba
S1	13,3	12,78	4,15	-15,05
S2	6,79	43,36	11,74	-7,53
S3	8,64	56,13	13,08	-9,68
S4	7,93	20,33	3,26	-8,60
S5	8,17	18,94	2,77	-8,60
S6	30,47	42,41	5,84	-44,09
S7	-24,68	-11,53	-1,32	19,35
S8	7,73	11,91	0,98	-8,60

Na podlagi povprečnega letnega dotoka suspendiranih snovi, enačb 1 - 2 in zmogljivosti prestrežanja (TE) smo lahko izračunali 'razpolovno dobo' za akumulacijo Ledavsko jezero. Zmogljivost prestrežanja suspendiranih snovi (TE) v Ledavskem jezeru pri koristni prostornini $2,42 \times 10^6 \text{ m}^3$ in srednjem pretoku iz zadrževalnika ($1,26 \text{ m}^3/\text{s}$), znaša 79,5 %. S povprečnim letnim dotokom 2457,3 t suspendiranih snovi je 'razpolovna doba' za Ledavsko jezero 93 let, kar sovpada s podatki, ki jih je navedel Dendy (1973). V raziskavi, ki jo je izvedel za 1105 akumulacij v Združenih državah Amerike, je ugotovil, da je za akumulacije z volumnom med $1,23 - 12,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ predvidena 'razpolovna doba' 91 let. Glede na to, da je preteklo že 38 let od izgradnje akumulacije Ledavsko jezero in da sediment še ni bil odstranjen, lahko predvidevamo, da bo 'razpolovna doba' dosežena čez 55 let. Kot je razvidno iz preglednice 45, bi lahko z izvedbo teras (S6) povprečni letni dotok suspendiranih snovi zmanjšali za 44 % in z umestitvijo vegetacijskih varovalnih pasov na naklone do 11 % (S1) za dobrih 15 %. Na podlagi navedenega lahko povzamemo, da smo največjo učinkovitost pri vseh parametrih dosegli s scenariji S1, S3 in S6.

Shematski prikaz ključnih rezultatov in odločitev s pomočjo OriU na primeru akumulacije Ledavsko jezero je razviden na sliki 43. S pomočjo pravilnega zaporedja smo zaključili prvo fazo, ki je strokovna podlaga za načrt umeščanja učinkovitih ukrepov za reševanje na začetku prepoznanega problema akumulacije Ledavsko jezero. Druge faze OriU v to nalogo nismo vključili, saj smo v fazi oblikovanja orodja ugotovili, da predstavlja postopek, ki ga lahko izvajajo le primerno usposobljeni strokovnjaki za urejanje prostora.



Slika 43: Orodje za izbiro in umeščanje ukrepov (OrIU) v vodozbirno območje akumulacije Ledavsko jezero
Figure 43: Tool for selection and allocation of measures (TSA) of the reservoir Ledavsko jezero watershed

6 RAZPRAVA

V okviru zastavljenih hipotez smo razvili orodje za izbiro in umestitev ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacijskih jezer (OrIU). Z orodjem smo uspeli zagotoviti, da bodo ERM ukrepi za varstvo in obnovo akumulacij, v vodozbirnem območju načrtovani tam, kjer je njihov učinek največji. Na ta način smo zmanjšali obseg kmetijskih zemljišč za umestitev in izvedbo ukrepov in zmanjšali stroške, ki bi nastali zaradi spremenjenega načina obdelave tal ali manjše obdelovalne površine in s tem povezanega izpada pridelka. Zaradi pregledne in enostavne strukture, je možno OrIU uporabiti za katerokoli površinsko vodno telo.

Delovanje orodja smo preverili na primeru akumulacije Ledavsko jezero, katerega vodozbirno območje obsega območje na SV delu Slovenije in JV del Avstrije. Z rezultati meritev kakovosti vode v reki Ledavi in Ledavskem jezeru, ki smo jih v letih 2013 in 2014 opravljali dvakrat tedensko, smo ugotovili, da so koncentracije suspendiranih snovi močno povečane, medtem ko koncentracije hranil in kisika le redko presegajo zakonsko predpisane vrednosti. Z rezultati meritev kakovosti vode smo v nadaljevanju lahko umerili model Soil and water assessment tool (SWAT), s katerim smo si pomagali pri analizi vodozbirnega območja, razumevanju erozijskih procesov in preverjanju vpliva izbranih ukrepov na zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi v akumulacije. Izkazalo se je, da je model SWAT učinkovito orodje pri modeliranju učinkovitosti ukrepov za izboljšanje kakovosti voda in analizi vodozbirnih območij, kar so potrdili že številni drugi avtorji (Lam in sod., 2011; Rocha in sod. 2012; Strauch in sod., 2013; Krysanova in White, 2015).

Potrdili smo hipotezo, da lahko na podlagi rezultatov dosedanjih raziskav zberemo podatke o učinkovitosti ekoremediacijskih (ERM) ukrepov glede na določen problem in lastnosti območja. S pregledom 43 virov literature in 91 rezultatov o učinkovitosti opisanih ukrepov smo sestavili nabor 13 učinkovitih ukrepov za zmanjševanje erozijskih procesov in dotoka suspendiranih snovi v vodno telo, ki smo jih v nadaljevanju lahko upoštevali pri oblikovanju testnih scenarijev za obravnavano območje.

S pomočjo modela SWAT smo določili kritična območja virov obremenitev (KOVO), tj. območja s katerih se premešča največ suspendiranih snovi, hranil ali drugih onesnaževal, in jih določamo glede na definiran problem. KOVO so tudi drugi avtorji kot npr. Niraula in sod. (2013) prepoznali kot pomembna pri načrtovanju stroškovno-učinkovitih ukrepov. Na podlagi lastnosti KOVO smo lahko za izbrane tipe ERM ukrepov določili merila za njihovo umestitev v prostor. Z umeščanjem ali izvedbo ukrepov na KOVO lahko dosežemo njihovo največjo učinkovitost, saj jih umeščamo na območja, kjer so najbolj potrebni. S tem smo potrdili hipotezo, da lahko za izbrane ERM ukrepe določimo merila za njihovo umestitev v prostor tako, da bosta doseženi njihova optimalna učinkovitost in razporeditev.

Na primeru izbrane akumulacije Ledavsko jezero, smo s pomočjo modela SWAT, ovrednotili vpliv izbranih ukrepov na zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi s prispevnih površin v akumulacijo in dokazali, da lahko vplivamo na izboljšanje kakovosti in podaljšamo

'razpolovno dobo' akumulacije. Hkrati smo z izbranimi ukrepi pokazali, da lahko zmanjšamo erozijske procese v vodozbornem območju in tako varujemo rodovitna tla.

6.1 ORODJE ZA IZBIRO IN UMEŠČANJE UKREPOV (ORIUI)

Orodje, ki smo ga razvili nam zagotavlja lažje odločanje pri izbiri in umeščanju ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacijskih jezer in vodi k učinkovitim rešitvam za zmanjšanje obremenitev vodnih teles. Pregledna struktura orodja za izbiro in umeščanje ukrepov (OriUI) v shematski obliki (slika 5) omogoča uporabo pri vseh površinskih vodnih telesih in njihovih vodozbornih območjih. Ob zahtevah politike, poplavi gradbenih in negradbenih, preventivnih in korektivnih ukrepov, namenjenih varstvu in obnovi akumulacij ter upoštevanju lastnosti vodozbornega območja akumulacij, je sistematično zaporedje korakov v procesu odločanja nujno za ohranjanja in izboljšanje kakovosti voda, vodnih ekosistemov in koristne prostornine. Smiselno zaporedje in sprotno preverjanje predhodnih korakov nas pripelje do izbora optimalne rešitve za obravnavano vodno telo.

OriUI je podpora pri odločanju upravljavcem in načrtovalcem vodozbornih območij, kjer se prepletajo različni interesi in je zato potrebno posegati po integriranem upravljanju in načrtovanju. Vključuje rezultate do sedaj razvitih odločitvenih sistemov, s katerimi so avtorji iskali: (i) optimalno kombinacijo ukrepov pri doseganju največje možne učinkovitosti z najnižnjimi stroški (Panagopoulos in sod., 2012; Zhan in sod., 2011; Maringnati in sod., 2009; Arabi in sod., 2006) ali (ii) optimalno kombinacijo med kritičnimi območji virov obremenitev (KOVO) in ukrepi, s katerimi bi zagotovili visok učinek z nizkimi stroški (Niraula in sod., 2013; Ghebremichael in sod., 2013; Kaini in sod., 2012; Shang in sod., 2012). V posameznih korakih predvideva vključevanje procesno utemeljenih numeričnih modelov, kot so SWAT, AnnAGNPS, HSPF idr., s katerimi premosti razlike v merilu ali manjkajočih podatkih. Orodje OriUI je zato možno uporabljati kot podporo pri Programu stroškovno-učinkovitih ukrepov v okviru Načrtov upravljanja voda in usklajevanju zahtev kmetijsko-okoljske in vodne politike.

Orodje ima dve fazi. Prva faza predstavlja strokovno-znanstveno podlago, ki izboljša razumevanje razmer v vodnem telesu in na vodozbornem območju. Z analizo vodnega telesa, definiranjem kritičnih območij virov obremenitev in nabora ukrepov, lahko izberemo primerne ukrepe in oblikujemo scenarije, katerih vpliv na zmanjšanje obremenitve preverimo s pomočjo priznanih procesno utemeljenih modelov kot je npr. SWAT. Z vnaprej določenimi merili in cilji ovrednotimo ukrepe. Stroškovno sprejemljivi in učinkoviti ukrepi ter predlagana prostorska umestitev na kritična območja so ob koncu prve faze utemeljeni in omogočajo konstruktivno razpravo s ključnimi deležniki, podkrepljeno z ustreznimi informacijami. Vsakršna odstopanja v učinkovitosti ukrepov, ki bi lahko nastala zaradi vključevanja družbenih in političnih interesov, so do zaključene prve faze zmanjšana v največji možni meri.

V drugi fazi je predvidena umestitev oziroma izvedba izbranih ukrepov. Rezultate in ugotovitve prve faze lahko predstavimo javnosti in v skladu z zakonodajo, ki se nanaša na urejanje prostora, oblikujemo načrt umestitve in vzpostavitve ukrepov. Do končne, optimalne rešitve so potrebni številni kompromisi, zlasti iz vidika sprejemljivosti ukrepov v prostoru, konkurenčnosti kmetijstva, pripravljenosti nosilcev kmetijskih gospodarstev pri izvajanju ukrepov in države pri finančnih spodbudah za izvajanje ukrepov. V kolikor se glede na odziv javnosti in zakonske omejitve, ki se nanašajo na posege v prostor, pojavi zahteva po spremembi ali dodajanju ukrepov, lahko brez težav oblikujemo nov scenarij in preverimo njegovo učinkovitost. Vračanje v prvo fazo, kjer v prihodnosti oblikujemo nove scenarije in preverjamo njihovo učinkovitost, je lahko tudi neizogibna posledica sprememb v naravi in družbenem okolju. Prav zaradi tega je potrebno oblikovati in vzpostaviti program monitoringa, s katerim spremljamo elemente kakovosti v vodnem telesu, spremembe v dejanski rabi zemljišč v vodozbirnem območju in podnebne spremembe.

6.1.1 Nadgradnja OriU

OriU je zaradi preproste shematske strukture prenosljivo za vsa površinska vodna telesa, vendar bi ga v prihodnje morali podpreti s programskimi orodji za večparametersko odločanje, zlasti kadar je v vodnem telesu ali porečju prisotnih več problemov ali zahtev v zvezi z načrtovanjem. Med najbolj pomembnimi merili optimizacije sta zmanjšanje obremenitev oziroma doseganje največje možne učinkovitosti ukrepa ob čim manjših stroških vzpostavitve. Takšno optimizacijo, ki temelji na uporabi genetskih algoritmov (GA) so uporabili že Arabi in sod., 2006; Maringanti in sod., 2009) v kombinaciji s SWAT modelom. Z vse večjimi zahtevami upravljalcev in načrtovalcev povodij, je potrebno upoštevati več različnih virov obremenitev, kritična območja virov obremenitev in čim manjšo porabo zemljišč ob največji možni učinkovitosti kombinacij več ukrepov in čim manjših stroških. Zato se uporabljajo večparameterski odločitveni modeli (multicriteria decision analysis, MCDA), ki so jih Ahmadi in sod. (2014) že združili z modelom SWAT. Vendar je za uporabo takšnih algoritmov potrebno določiti:

- merila za vse korake v orodju, zlasti mejne vrednosti parametrov kakovosti, ki jih želimo doseči;
- sprejemljivi razpon stroškov za posamezen ukrep in
- izpopolniti nabor ukrepov glede na vrsto obremenitve (sediment, dušik, fosfor, sredstva za varstvo rastlin, težke kovine, patogeni organizmi idr.), območje umeščanja (urbano, kmetijsko). Nabor bi predstavljal bazo podatkov z razponi učinkovitosti ukrepov in stroškom vzpostavitve ukrepa glede na izbrano prostorsko enoto (ha ali HOE). Podobno bazo podatkov z manjšim številom ukrepov za zmanjšanje dotoka hranil so uporabili že Panagopoulos in sod. (2012).

S tem bi lahko orodje OriU oblikovali v programsko orodje, ki bi bilo širše uporabno in v veliko podporo ključnim deležnikom.

6.2 UPORABA ORODJA (ORIU) PRI AKUMULACIJI LEDAVSKO JEZERO

6.2.1 Analiza akumulacije in definiranje problema

Uporabnost orodja (OriU) smo preverili na akumulaciji Ledavsko jezero in njegovem vodozbirnem območju. Ugotovili smo, da so za definiranje problema nujno potrebne dalj časa trajajoče zvezne meritve kemijskih in fizikalno-kemijskih parametrov v pritoku akumulacije in akumulaciji. Akumulacija se na podlagi podlagi meritev in izračunane povprečne letne vrednosti celotnega fosforja (0,17 mg TP/l) po OECD kriterijih uvršča (preglednica 6) med hiper-evtrofna jezera. Predpisana priporočena vrednost celotnega fosforja za ciprinidne vode ($\leq 0,4$ mg TP /l) je bila v akumulaciji presežena le v mesecu februarju. Sicer povprečne letne in mesečne vrednosti nitrata v vodi akumulacije ne presegajo predpisane mejne vrednosti za pitno vodo (50 mg NO_3^- /l), kot tudi ne presegajo mejnih vrednosti za koncentracijo kisika (0,4 mg O_2 /l) za ciprinidne vode in globoka jezera. Bolj izrazito obremenitev kažejo povprečne mesečne koncentracije suspendiranih snovi v akumulaciji, ki so v vseh mesecih presegale predpisano priporočeno vrednost (25 mg TSS/l). Visoke vrednosti suspendiranih snovi smo v reki Ledavi in Ledavskem jezeru izmerili v času povečanih pretokov (januar, februar, maj, junij, oktober, november) in v času baznega odtoka. Sicer so višje vrednosti suspendiranih snovi v času baznega odtoka značilne v toplejših vodah, zato imajo nekatere države Združenih držav Amerike največjo dovoljeno dnevno obremenitev (TMDL) znatno višjo (Vondracek in sod., 2003; EPA, 1999). Ker so za vodozbirno območje Ledavskega jezera značilne višje temperature zraka in erodibilna tla, lahko sklepamo, da so višje vrednosti suspendiranih snovi značilne za to območje.

Po primerjavi z izmerjenimi vrednostmi TSS (ARSO) med leti 2003 in 2006 (preglednica 7) je razvidno, da so povprečne letne vrednosti nizke medtem, ko so maksimalne v letih 2003 in 2006 večkrat presegle vrednosti izmerjene v sklopu te raziskave. Majhno število vzorčenj, ki jih opravlja ARSO, je bolj odraz trenutnega stanja kot trenda, zato jih težko primerjamo z meritvami opravljenimi med let 2013 in 2014. Čeprav pomen suspendiranih snovi kot onesnaževala v vodnih telesih po Evropi in svetu narašča (Walling in sod., 2006), se v Sloveniji v okviru državnega monitoringa od leta 2006 v akumulaciji Ledavsko jezero opravljajo le meritve prosojnosti s Secchijevo ploščo, ki je nadomestno merilo za suspendirane snovi v vodi. Na prosojnost namreč lahko vpliva še koncentracija raztopljenih snovi in alge (Billota in Brazier, 2008). V tem primeru se ponovno pokaže pomen zveznih meritev skozi daljše obdobje, kajti le tako lahko razumemo in preučujemo stanje in procese vodnem telesu.

Posledica dotoka in odlaganja suspendiranih snovi na katere je adsorbiran fosfor (Cooke in sod., 2005; Straškraba, 2004; Billota in Brazier, 2008), zlasti v izlivnem delu reke Ledave, kjer se ustvarjajo ugodni pogoji za sukcesivno kolonizacijo (Ignjatović in sod., 2013) se kaže v zaraščanju akumulacije z makrofiti. Glede na dobro korelacijo med suspendiranimi snovmi in fosforjem (slika 33), bomo z ukrepi za zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi zmanjšali

tudi dotok fosforja, kar so pokazale že številne druge študije (Kirsch in sod., 2002; Lee in sod., 2003; Alexander in sod., 2011; Glavan, 2011 idr.).

6.2.2 Kritična območja vira obremenitev (KOVO)

Ob definiranju problema se je v prvi fazi kot ključno izkazalo določanje kritičnih območij vira obremenitev (KOVO). Na teh hidrološko aktivnih območjih, ki so povezana z vodnimi telesi in na katerih sovpadata vir obremenitev ter potencial prenosa, je vzpostavitev ukrepov najbolj potrebna, saj ta območja prispevajo največji delež obremenitev. Z določitvijo KOVO se zmanjša obseg zemljišč, na katerih je potrebno vzpostaviti in umestiti omilitvene ukrepe s čimer se zmanjšajo tudi stroški. V kolikor bi predvideli vzpostavitev ukrepov na vseh kmetijskih zemljiščih, bi to lahko predstavljalo precej večje stroške pri načrtu umeščanja, vzpostavitvi in vzdrževanju. Da se na ta način zmanjšajo stroški ukrepov in poveča njihova učinkovitost, so potrdile tudi številne druge študije (Pionke in sod., 2000; White in sod., 2009; Ghebremichael in sod., 2010; Panagopoulos in sod., 2011).

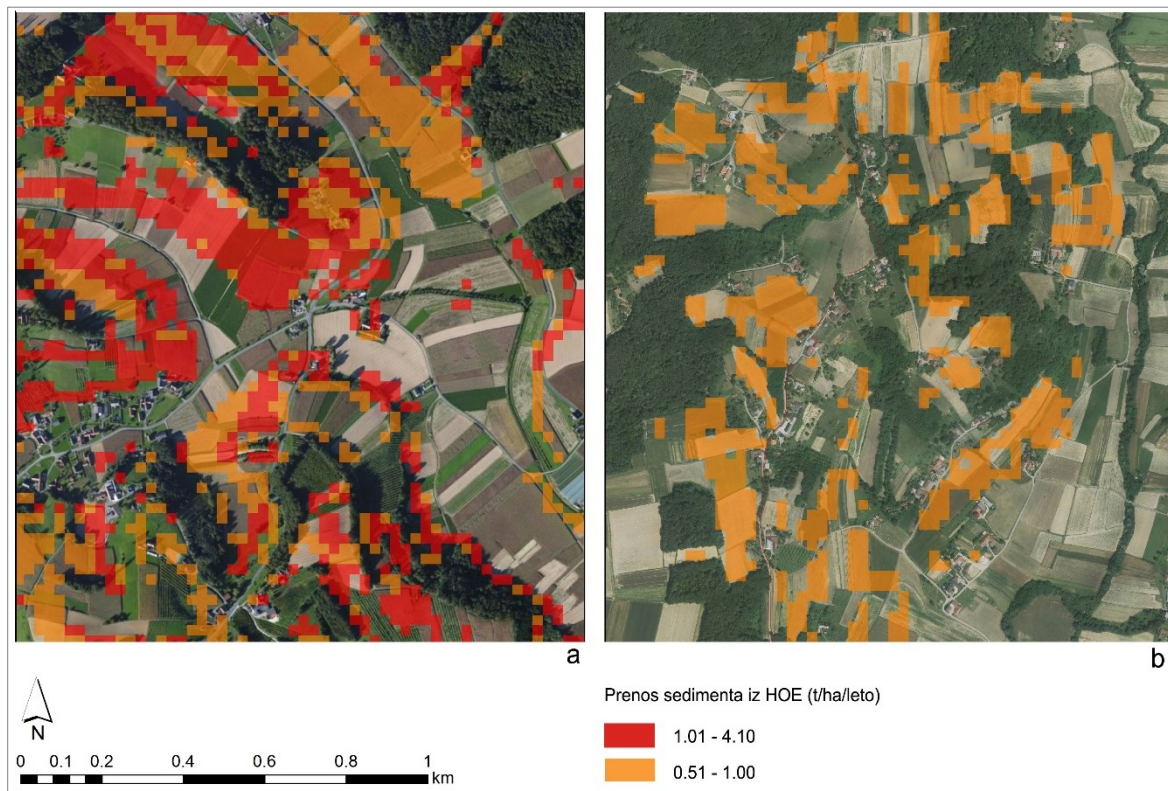
Za določitev KOVO smo uporabili delno porazdeljen, časovno sklenjen konceptualni model SWAT, ki se je po primerjavi z ostalimi modeli izkazal za zelo učinkovitega pri modeliranju scenarijev vodozbirnih območij s pretežno kmetijsko rabo, pri analizi vodozbirnih območij (Singh in sod., 2005; Krysanova in White, 2015) in določanju KOVO (White in sod., 2009). Model nam je omogočil analizo KOVO, na podlagi katere smo lahko določili, kateri tip tal, naklon in vrsta rabe so najbolj podvrženi erozijskim procesom ter te podatke uporabili pri izbiri ukrepov, oblikovanju scenarijev in modeliranju njihove učinkovitosti.

Kot pričakovano, največji delež kritičnih območij na vodozbirnem območju Ledavskega jezera predstavljajo njive (AGRR, AGRM) ki obsegajo 11,8 % vodozbirnega območja (Priloga H in I), površine vseh KOVO obsegajo 12,2 % celotnega vodozbirnega območja, oziroma 22,1 % vseh kmetijskih zemljišč. Ta območja prispevajo kar 60,9 % vseh suspendiranih snovi, ki se premešča iz HOE. Hkrati se največ suspendiranih snovi s površinskim odtokom prenaša z njiv in njiv z osuševalnimi sistemi ter vinogradov, ki se nahajajo na naklonih od 11-24 %. Med najbolj erodibilno vrsto tal sodijo gleji in psevdogleji. Podpovodja (1, 2, 4 in 5) z najvišjo stopnjo prenosa tal na nivoju HOE se nahajajo v Avstriji, saj so za to območje značilna kmetijska zemljišča, ki so na težkih tleh in strmih površinah. Da so tla na večjih naklonih, z visoki deležem gline, brez vegetacijskega pokrova bolj erodibilna, navajajo tudi drugi avtorji (Morgan, 2005; Walling in sod., 2006; Komac in Zorn, 2007, 2009; Glavan in sod., 2012a).

6.2.2.1 Dopolnitve določanja KOVO v prihodnosti

KOVO predstavljajo le del strnjene površine kmetijskega zemljišča z enako dejansko rabo (slika 44), saj so hidrološke odzivne enote (HOE) v SWAT definirane kot kombinacija rabe in lastnosti tal ter naklona. Da bi lahko ukrepe, vezane na kmetijsko prakso (oranje vzporedno s plastnicami, ozelenitev njivskih površin ipd.), ciljano umeščali na strnjene površine kmetijskega zemljišča z enako dejansko rabo, bi morale biti te površine

predstavljene kot HOE, kar so prepoznali tudi Pai in sod. (2012). Razvili so algoritem kot podporo SWAT (Field_SWAT). Ta algoritem omogoča novo definiranje meje HOE, vezane na strnjeno površino kmetijskega zemljišča, kot je npr. njiva, vendar je za to potrebna dodatna programska oprema (Matlab compiler runtime – MCR), ki je nismo imeli na razpolago.



Slika 44: Kritična območja virov obremenitev (KOVO) na delu vodozbirnega območja Ledavskega jezera v Avstriji (a) in Sloveniji (b) določena s SWAT in prikazana na ortofotu.

Figure 44: Critical source areas (CSA) of the reservoir Ledavsko jezero watershed in Austria (a) and in Slovenia (b) generated by SWAT and presented on orthophoto.

V prihodnje bi bilo pri definiranju KOVO potrebno vključiti meje strnjenih površin kmetijskega zemljišča z enako dejansko rabo (npr. GERK). S tem bi se obseg KOVO za umeščanje ukrepov nekoliko povečal, vendar bi bila obdelava zemljišč veliko bolj sprejemljiva, kar navajata tudi Srinivasan in McDowell (2007). Hkrati bi bilo omogočeno ciljano umeščanje ukrepov na nivoju strnjenih površin kmetijskega zemljišča, s čimer se izboljša komunikacija med načrtovalci, upravljavci in lastniki zemljišč (Pai in sod., 2012). Prav tako bi bilo smiselno raziskati, koliko suspendiranih snovi s KOVO dejansko prispe v vodno telo in kakšna količina se zaradi morfologije površja začasno ali trajno odloži. SWAT trenutno še ne zmore napovedovati količine suspendiranih snovi v strugi vodotoka, ki se sprošča iz KOVO, zlasti zaradi nepovezanosti med HOE in neupoštevanja morfologije površja v HOE (Krysanova in Arnold, 2008), s katerimi bi lahko izračunali pot suspendiranih snovi od vrha pobočja do dna doline.

KOVO lahko določamo glede na različne obremenitve (sediment, fosfor, dušik ali druga onesnaževala), katerih dejavniki premeščanja so lahko različni vendar ne tudi izključujoči. Medtem ko se KOVO za fosfor in sediment pogosto prekrivata so lahko KOVO za dušik določena drugače, kar so pokazali že Niraula in sod. (2013). V kolikor je torej vzrokov za slabšo kakovost v vodnem telesu več, se lahko poveča tudi obseg KOVO.

Natančnost določanja KOVO je lahko odvisna od modela, ki ga uporabljamo in od natančnosti ter obsega podatkov. Na sliki 44 lahko tako opazimo razlike v razdrobljenosti in velikosti KOVO na avstrijskem in slovenskem delu vodozbirnega območja. Na območju avstrijskega dela vodozbirnega območja smo uporabili DMV in karto rabe tal, izdelane v velikosti celice 1x1. Raba zemljišč je manj natančna kot na slovenskem delu vodozbirnega območja, kjer je sta obratno karta tal in DMV manj natančna, zaradi česar so območja KOVO na avstrijski strani bolj natančno določena. Danes je za Slovenijo že na razpolago natančnejši DMV, pridobljenem z LIDAR tehnologijo, kjer je velikost celic v mreži 1x1m. Model SWAT je lahko zaradi delitve povodja na HOE, veliko bolj natančen pri določanju KOVO kot drugi modeli, čeprav uporabljajo enake algoritme in podatke, kar so nazorno prikazali Niraula in sod. (2013).

Podatki o legi in lastnostih KOVO, ki smo jih pridobili s pomočjo modeliranja, so bistvenega pomena pri izbiri ukrepov in oblikovanju scenarijev. Pokazali smo, da so lastnosti tal, raba zemljišč in naklon zemljišča, kjer je premeščanje suspendiranih snovi največje, merila na podlagi katerih lahko izberemo primerne ukrepe in oblikujemo scenarij.

6.2.3 Nabor ERM ukrepov

Preden izberemo ukrepe, na podlagi katerih bomo oblikovali scenarije za modeliranje, je potrebno narediti nabor dokazano učinkovitih ukrepov iz literature, ki je odvisen od definirane problema akumulacije in pogosto vezan na njeno namensko rabo. Učinkovitost ukrepov v literaturi navajajo zelo različno. Najpogosteje gre za rezultate pred in po vzpostavitvi ukrepov, zapisane v odstotkih ali absolutnih količinah. Hkrati se raziskave med seboj razlikujejo glede na geografsko lego, velikost in lastnosti obravnavanega območja, spremljajočih hidroloških dejavnikov (povprečje padavin ali padavinski dogodki), vrsto modela kot tudi uporabljenih parametrov pri simulaciji in kakovosti vhodnih podatkov. Bistvena razlika se pojavlja tudi med rezultati študij, kjer se je učinkovitost ukrepov preverjala z meritvami na testnih poljih ali s pomočjo modelov na testnih poljih oziroma različno velikih prispevnih površinah. Učinkovitost ukrepa je namreč precej večja na nivoju testnega polja kot na nivoju porečja ali vodozbirnega območja vodnega telesa, saj se z velikostjo prispevne površine povečuje število poti prenosa in dejavnikov, ki vplivajo na erozijske procese (Verstraeten in sod., 2006). Zato rezultatov raziskav ne moremo uporabiti za obravnavano območje, vendar so lahko referenca pri izbiri ukrepov in nadaljnjem načrtovanju.

Na podlagi 43 virov literature in 92 objavljenih rezultatov (poglavje 5.4) smo lahko povzeli kateri ukrepi v povprečju dosegajo večjo in kateri manjšo učinkovitost pri zmanjšanju

prenosa suspendiranih snovi s prispevnih površin oziroma dotoka suspendiranih snovi v akumulacijo. Prav tako smo na podlagi zaključkov in ugotovitev avtorjev povzeli, kateri mehanizmi in parametri so vplivali na učinkovitost ukrepov, kar smo lahko vključili pri oblikovanju scenarijev za vodozbirno območje Ledavskega jezera. Pri naboru smo upoštevali tudi Program ukrepov Načrta upravljanja voda (NUV) in ukrepe Kmetijsko-okoljskih-podnebnih plačil (KOPOP) ter poskušali izbrati tiste, ki se navezujejo na lastnosti KOVO. Pri tem smo ugotovili, da preventivni ukrepi v Programu ukrepov NUV, s katerimi se preprečuje dotok suspendiranih snovi v vodno telo, niso določeni. V programu ukrepov se erozija obravnava le iz vidika škode, ki jo povzroči na objekte v prostoru in ne iz vidika preprečevanja dotoka suspendiranih snovi iz prispevnih površin. Vendar se program ukrepov NUV sklicuje ne ukrepe KOPOP, ki so vezani na zmanjšanje erozije iz vidika ohranjanja rodovitnih tal na obdelovalnih površinah. Trenutno še vedno primanjkuje število empiričnih podatkov o učinkovitosti vzpostavljenih ukrepov KOP na vodno telo, s katerimi bi lahko validirali rezultate modeliranja in upravičili finančno podporo izvajanja teh ukrepov za zaščito tal in vodnih virov, kar navaja tudi Rickson (2014).

6.2.3.1 Izbira ukrepa in oblikovanje scenarijev

Izbira učinkovitih ukrepov za modeliranje učinkovitosti predstavlja velik izziv. Najbolj pogosti merili pri izbiri ukrepa sta učinkovitost in cena. Nekateri avtorji se osredotočajo na ukrepe, ki jih spodbuja evropska kmetijska politika (Glavan in sod., 2012a; Posthumus in sod., 2010; Volk in sod., 2009), izbirajo simulacijo obstoječih elementov v krajini, kot so terase ali sedimentacijski bazeni (Strauch in sod., 2013) ali preverjajo učinke sprememb rabe prostora (Glavan, 2011).

Nedvomno je pri izbiri bistven cilj, ki ga želimo doseči, t.j. zmanjšanje obremenitve v vodnem telesu, doseganje dobrega ekološkega stanja ali potenciala in, kar je zlasti pomembno pri akumulacijah, osnovnega namena delovanja. Hkrati je izbira odvisna od lastnosti vodozbirnega območja oziroma vira obremenitev, kar smo dosegli s pomočjo analize KOVO. Z dobrim poznavanjem procesov v vodozbirnem območju je mogoče izločiti bistvene dejavnike, ki vplivajo na te procese, in lažje izbrati ukrepe. Vsaka posledica ima vzrok, vsako dejanje ima posledice. Če poznamo mehanizme vzroka, vemo kateri ukrep izbrati, da lahko nanje vplivamo in omilimo vzrok problema. Ker se vodna telesa s prispevnim območjem razlikujejo, je izbira ukrepa ali ukrepov za reševanje problema v vodnem telesu edinstvena. Pri izbiri ukrepov je v prvi vrsti potrebno izbrati ukrepe s katerimi preprečujemo ali omilimo vzrok (sproščanje in prenos suspendiranih snovi, vnos hranil in sredstev za varstvo rastlin ipd.), šele nato ukrepe s katerimi izboljšujemo posledice (prestrezanje suspendiranih snovi pred dotokom v vodno telo, izkop sedimenta in mulja ipd.). Podobno zaključujejo tudi Rickson, 2014, Cooke in sod., 2005; Jørgesen in sod., 2005; Wetzel, 2001.

Cilj v primeru Ledavskega jezera je bil dolgoročno zmanjšati dotok sedimenta s prispevnih površin, s čimer bi podaljšali 'razpolovno dobo' akumulacij. Iz nabora ukrepov smo za

oblikovanje scenarijev izbrali take, ki so stroškovno sprejemljivi, ne omejujejo donosa in ne zahtevajo večjih prilagoditev pri obstoječem načinu kmetovanja, kot so predlagali Posthumus in sod. (2013). Hkrati smo se že v tem koraku osredotočili na ekoremediacijske (ERM) ukrepe, s katerimi se prilagajamo obstoječim elementom v krajini, prispevamo k biotski pestrosti in dolgoročni učinkovitosti. Na ta način smo se omejili na izbiro dolgoročno učinkovitih in stroškovno-sprejemljivih ukrepov. Čeprav terase (S6) ne sodijo med stroškovno sprejemljive ukrepe (Morgan, 2005; Posthumus in sod., 2013), smo jih izbrali, saj so na kmetijskih zemljiščih z večjimi nakloni in izrazito erozijo pogosto edina učinkovita rešitev. Kljub temu, da Volk in sod. (2009) ugotavljajo, da so ukrepi kmetijsko-okoljske politike za doseganje ciljev Vodne direktive iz socio-ekonomskega vidika nesprejemljivi, smo smatrali, da je zaradi ohranjanja rodovitnih tal in pridelave na takšnih območjih, za ta scenarij smiselno narediti analizo stroškov in koristi. Prav tako smo želeli preveriti, kakšen vpliv ima kombinacija dveh ali več ukrepov, zato smo v scenariju S3 simulirali učinkovitost vegetacijskih varovalnih pasov na zemljiščih do 11 % (S1) in od 11 do 24 % (S2). Ugotovili smo, da se učinkovitost s kombinacijo dveh ukrepov poveča, iz česar lahko sklepamo, da bi se s kombinacijo večjih, povečala še za nekaj odstotkov, kar so potrdili že številni drugi avtorji (Strauch in sod., 2013; Kaini in sod., 2012; Rocha in sod., 2012; Lam in sod., 2011; Narasimhan in sod., 2007; Dabney in sod., 2006).

Ukrepov za simulacijo učinkovitosti pri zmanjšanju erozije in usadov brežin ali premeščanja suspendiranih snovi v vodotoku nismo izbrali, čeprav lahko erozija brežin prispeva 35% vsega suspendiranih snovi (Narasimhan in sod., 2010). Modeliranje vpliva utrditve brežin v SWAT poteka s simulacijo parametrov hrapavosti struge vodotoka (Manningov koeficient in poraščenost struge), zaradi česar bi morali imeti večje število meritev vzdolž struge vodotoka. Vendar nam ta podatek še vedno ne bi podal zadovoljivih rezultatov, ker SWAT še vedno ne upošteva erozije brežin in usadov (Bouraoui in Grizzetti, 2014). Pri tem so Tuppad in sod. (2010) s simulacijo hrapavosti struge pokazali, da se povprečni letni dotok suspendiranih snovi zmanjša za 34,6 %. Waidler in sod. (2011) v navodilih za simulacijo ukrepov navajajo, da se pri utrditvi brežin vodotoka upošteva 75 % zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi in hranil. V primeru reke Ledave bi bila simulacija smiselna le v odseku med Sv. Jurijem in Pertočo, saj je ta odsek edini, ki je brez olesenele obrežne vegetacije.

6.2.4 Vrednotenje ukrepov

Vrednotenje ukrepov je odvisno od doseganja zastavljenih ciljev in meril. V okviru te raziskave je bil glavni cilj zmanjšati dotok suspendiranih snovi v akumulacijo, kar smo lahko dosegli z zmanjšanjem dotoka suspendiranih snovi v reko Ledavo, ki je ključna vez med prispevnim območjem in akumulacijo. Zaradi visokih koncentracij suspendiranih snovi v reki in akumulaciji, ki smo jih izmerili v sklopu te raziskave, smo preverili tudi vpliv scenarijev na doseganje priporočene vrednosti suspendiranih snovi (25 mg TSS/l), ki jo določa Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib (2002).

Scenariji večjega vpliva na povprečni letni pretok v reki Ledavi niso imeli. Razlog je v nastavitvah modela, saj je zaradi cilja modeliranja krivulja površinskega odtoka nastavljena enako za celotno vodozbirno območje. Med drugim vegetacijski varovalni pasovi v SWAT ne vplivajo na površinski odtok (Neitsch in sod., 2011). Majhne spremembe ukrepov na pretok so potrdile tudi druge študije (Bracmort in sod., 2006; Cho in sod. 2010). Medtem, ko se s scenarijem S2 v povprečju pretok poveča, scenarij S8, na podlagi povprečnih letnih vrednosti, edini vpliva na zmanjšanje pretoka v reki Ledavi. Po pregledu povprečnih mesečnih vrednostih je razvidno, da scenariji S1, S2, S4, S5 in S6 zmanjšajo pretok v reki med majem in oktobrom, na kar lahko vpliva povečana evapotranspiracija in prestrežanje padavin z rastlinskim pokrovom v vegetacijski dobi (Zhang in sod., 2001). Nizki pretoki med oktobrom in aprilom zaradi ozelenitve kmetijskih površin (S8), so najverjetneje posledica zadrževanja vode v tleh in v rastlinah prezimnega posevka (Norris in sod., 2008; Brilly in Šraj, 2000). Hkrati se z dosevki izboljšujejo lastnosti tal, poveča vsebnost organskega ogljika, stabilnost in zmožnost infiltracije (Dabney in sod., 2001).

V podpovodjih 1, 2 in 4, kjer so erozijski procesi najbolj izraziti, se je z izvedbo teras na naklonih od 11 do 24 % količina suspendiranih snovi v reki zmanjšala za 51 %, 51,4 % oziroma 54,1 % (preglednica 42). Nasprotno je učinek teras na zmanjšanje prenosa suspendiranih snovi na nivoju HOE (preglednica 43) največji v podpovodju 15 (62 %), kjer znaša povprečni letni prenos suspendiranih snovi iz HOE z njivami 0,76 t/ha. Sledijo podpovodja 11, 14 in 17 ob Lukaj potoku. Čeprav je povprečni letni prenos suspendiranih snovi iz HOE v teh podpovodjih relativno majhen (0,11 – 0,13 t/ha), se največ suspendiranih snovi premešča prav s površin na naklonih med 11 in 24 % (0,40 - 0,49 t/ha/leto). Prenos suspendiranih snovi iz HOE se je v teh podpovodjih z izvedbo teras zmanjšal med 54 in 55%, medtem ko se je količina suspendiranih snovi v reki, na iztoku omenjenih podpovodij, zmanjšala med 41,4 in 44,7 %. Sklepamo, da se je učinkovitost na teh podpovodjih povečala zaradi umeščanja ukrepov na območja, kjer je prenos največji in tudi zaradi gozda, ki lahko z zmanjšanjem površinskega odtoka (Norris in sod., 2008) poveča učinek, nižje po pobočju izvedenih teras. O razlikah med učinkom teras na prenos suspendiranih snovi na nivoju HOE in količino suspendiranih snovi v reki na iztoku iz podpovodja, poročajo tudi Tuppad in sod. (2010), kjer se je na nivoju HOE s terasami zmanjšal prenos suspendiranih snovi za 57 %, na iztoku iz podpovodja za 24,6 % in na iztoku iz povodja za 17,2 %. Da je ukrep na nivoju HOE učinkovitejši kot na iztoku iz podpovodja ali povodja zaradi morfologije površja in lastnosti tal, so ugotovili že Verstraeten in sod. (2006).

Učinek teras na zmanjšanje suspendiranih snovi v reki Ledavi je veliko manjši (5,4 %). Za suspendiran sediment je namreč značilno, da delci dlje časa lebdijo v vodnem toku (Rusjan in Mikoš, 2006) in se usedejo, ko se tok upočasni. Največji učinek na zmanjšanje suspendiranih snovi v reki Ledavi smo v povprečju dosegli z vegetacijskimi varovalnimi pasovi S2 (11,7%) in S3 (13,1 %), kar je v skladu z dosedanjimi raziskavami, ki navajajo, da so pasovi učinkoviti pri prestrežanju suspendiranih snovi zaradi fizikalni lastnosti travnatih pasov, zmanjšanja hitrosti vodnega toka in povečani infiltraciji (Gumiere in sod.,

2012; White in sod., 2007; Dabney in sod., 2006). Čeprav naj bi bili pasovi najučinkovitejši na naklonih do 10 %, saj se z naklonom poveča volumen in hitrost površinskega toka (Leeds in sod., 2013), smo pokazali, da lahko z umeščanjem pasov na kritična območja, dosežemo večje spremembe. Dodatno lahko učinkovitost pasov povečamo s kombinacijo pasov na različnih naklonih. Tako smo vpliv S2 na koncentracijo suspendiranih snovi v povprečju povečali za 1,3 % na količino suspendiranih snovi v reki Ledavi za 4,9 %. V povprečju se je količina suspendiranih snovi v reki Ledavi do pritoka v podpovodje 18 s scenarijem S3 zmanjšala za 19 %. Da se s kombinacijo več ukrepov povečuje učinkovitost na nivoju podpovodja ali porečja so potrdile tudi druge študije (Bosch in sod., 2013; Strauch in sod., 2013; Kaini in sod., 2012; Lam in sod., 2011). Podobno kot pri scenariju S6, je vpliv scenarijev S1 – S3 na zmanjšanje prenosa suspendiranih snovi na nivoju HOE večji kot vpliv na količino suspendiranih snovi na iztokih iz podpovodij oziroma dotoka v akumulacijo. Izkazalo se je, da je S1 bolj vpliva na zmanjšanje količine suspendiranih snovi v reki v podpovodjih, kjer prevladujejo njive na naklonih do 11 % in S2 ter S3 v podpovodjih, kjer prevladujejo njive na naklonih od 11 - 24 %.

V povprečju smo najmanjši vpliv na zmanjšanje količine suspendiranih snovi v reki Ledavi in posledično na dotoku v akumulacijo, dosegli s scenariji S5 in S8. Slabši učinek negradbenih ukrepov so navedli že Tuppad in sod. (2010), ki so z ohranitveno rabo in obdelavo tal po plastnicah dosegli slabši učinek na zmanjšanje na nivoju podpovodja kot s terasami in vegetacijskimi varovalnimi pasovi. Podobne rezultate so pokazali tudi Gassman in sod. (2006). Čeprav ozelenitev njivskih površin (S8) ne dosega takšne učinkovitosti kot S3 in S6, je na podlagi simulacije scenarija S7 razvidno, da se brez prezimne ozelenitve povečajo erozijski procesi na nivoju HOE, količina suspendiranih snovi in koncentracija suspendiranih snovi v reki Ledavi.

Glede na rezultate modeliranja s SWAT po pregledu literature, podane v preglednici 5 in rezultate učinkovitosti scenarijev v tej raziskavi (preglednica 47) opazimo, da s simulacijo scenarijev s SWAT dosegamo boljšo učinkovitost z gradbenimi ukrepi, medtem ko na podlagi rezultatov meritev na testnih poljih v povprečju ni zaznati večjih razlik. Izstopata le kolobarjenje in travnati odvodni jarki. Slednjih v našem primeru nismo vključili v scenarije zaradi majhnih kmetijskih zemljišč na tem območju. Učinkovitost jarkov in zatravljenih kanalov se namreč povečuje z dolžino in širino (Dermisis in sod., 2010). Hkrati smo se v tej raziskavi osredotočili na cenovno sprejemljive ukrepe, prilagojene kmetijski praksi na območju. Vegetacijske pasove smo vključili kot splošno najpogostejše uporabljene ukrepe po svetu (White in Arnold, 2009), terase kot ukrep, ki se je izkazal za zelo učinkovitega pri varovanju tal na strmih površinah (Morgan, 2005). Vsekakor neposredna primerjava zaradi razlik v lastnostih in obsegu obravnavanih območij ni mogoča.

Preglednica 45: Primerjava ukrepov za zmanjšanje prenosa suspendiranih snovi med rezultati po pregledu literature v poglavju 2.6.3 in rezultati modeliranja s SWAT na vodozbirnem območju Ledavskega jezera

Table 45: A comparison of the measures in reduction of sediment yield between the results of literature review in chapter 2.6.3 and the results of the modeling with a SWAT on the reservoir Ledavsko jezero watershed

UKREP - literatura	Učinkovitost ukrepov (%) na zmanjšanje prenosa suspendiranih snovi		UKREP – vodozbirno območje Ledavskega jezera	Učinkovitost ukrepov (%) na zmanjšanje prenosa suspendiranih snovi s SWAT
	MERITVE	SWAT		
Ozelenitev kmetijskih površin	59,8	15,5	S8	11,91
Kolobarjenje	77,5	20,7		
Ohranitvena obdelava tal	69,6	8,9	S4	20,33
Obdelava tal vzporedno s plastnicami	77,4	45,0	S5	18,94
Pokritost tal z ostanki rastlin		23,0		
Sprememba njiv v travnike		84,3		
Vegetacijski varovalni pasovi	65,4	39,2	S1 – S3	12,78 – 56,13
Travnati odvodni jarki	79,7			
Obrežni blažilni pasovi	70,1	53,8		
Terase	57,5	29,8	S6	42,41
Sedimentacijski bazen	67,3	21,7		
Zaščita brežin	14,0	34,6		
Pragovi v kanalih in pregrade v strugah		57,1		

Pokazali smo, da z zmanjšanjem erozijskih procesov v vodozbirnem območju zmanjšamo količino suspendiranih snovi v reki Ledavi in posledično v akumulaciji, vendar je učinek ukrepov na zmanjšanje erozije na nivoju HOE veliko večji, kot na nivoju podpovodja ali na dotoku v akumulacijo zaradi številnih dejavnikov, ki vplivajo na procese premeščanja snovi dolvodno po pobočju. Tudi nepovezanost med HOE, lahko pri simulaciji dotoka suspendiranih snovi predstavlja določeno negotovost, kar ugotavljajo tudi drugi avtorji (Gassman in sod., 2007; White in sod., 2009; Arnold in sod., 2012).

Zavedati se je potrebno, da smo s to raziskavo pokazali le učinkovitost posameznih ukrepov in majhno število kombinacij. S pomočjo optimizacijskega algoritma, kot je GA, bi lahko preverili veliko večje število kombinacij med KOVO in izbranimi ukrepi. Kot že omenjeno, se lahko učinkovitost z umeščanjem kombinacije večih ukrepov poveča. V kolikor bi modelirali še zaščito brežin vodotoka pred erozijo in usadi, bi dotok suspendiranih snovi v akumulacijo dodatno zmanjšali. Čeprav simulacija erozije brežin s SWAT še ni mogoča (Narasimhan in sod., 2007).

Čeprav sodi izvedba teras in vegetacijskih pasov med dražje ukrepe (Panagopoulos in sod., 2011; Tuppard in sod., 2010; Gassman in sod., 2006), je njihov učinek veliko večji od preostalih ukrepov, zato je v prihodnje potrebno izvesti podrobno analizo stroškov in koristi posameznih ukrepov. Kadar upoštevamo koristi učinkovitosti ukrepov, je potrebno upoštevati troje: (i) varovanje tal pred erozijo in s tem ohranjanje rodovitnih tal na obdelovalnih površinah, (ii) doseganje ter ohranjanje dobrega ekološkega stanja voda in (iii) prostorninske kapacitete akumulacije. Vsekakor je pri analizi stroškov in koristi oziroma modeliranju kombinacij, ki v največji možni meri hkrati zmanjšajo obremenitev in stroške, potrebno paziti, da znižanje stroškov ne prevlada nad učinkovitostjo. Simulirana kombinacija pri nizki ceni pogosto izključujoča, zato je kombinacije smiselno preveriti ali določiti dodatne pogoje za izbiro ukrepov (Ahmadi in sod., 2014).

V kolikšni meri bodo predlagani ukrepi vplivali na zmanjšanje dotoka, je odvisno od izvedbe. Kateri ukrepi in v kakšnem obsegu bodo izvedeni, je odvisno od druge faze OrIU. Šele s spremljanjem stanja na dotoku v akumulacijo po umestitvi oziroma izvedbi ukrepov, bi lahko z zagotovostjo trdili, da smo podaljšali življenjsko dobo. Hkrati je potrebno upoštevati dejstvo, da določeni ERM ukrepi, kot so npr. vegetacijski varovalni pasovi, potrebujejo čas od vzpostavitve do popolnega delovanja. Na učinkovitost ukrepov lahko vplivajo tudi podnebne spremembe. Mogoče bodo podnebne spremembe narekovale drugačno rabo zemljišč, opravil in tehnologijo pridelovanja, kar bo vplivalo na procese prenosa snovi s prispevnih površin v akumulacijo. To bi lahko ugotovili le z dodatnim modeliranjem podnebnih sprememb. Chiang in sod. (2012) naprimer ugotavljajo, da bi bili trenutno predvideni ERM ukrepi ob podnebnih spremembah manj učinkoviti, vendar zato ne nepotrebni.

Merila za posamezne parametre so nujna, saj lahko na podlagi njih vrednotimo, presoјamo in izbiramo alternative glede na cilje odločevalca (Bohanec, 2006), zato je v Sloveniji in Evropi potrebno dopolniti manjkajoče mejne vrednosti za parametre kakovosti voda. Zlasti na področju erozije tal, dotoku plavin v akumulacije in ohranjanju koristne prostornine.

6.2.5 Prihodnost akumulacij in vloga modelov

Z izgradnjo pregrad in jezov prekinemo naravni kontinuum reke, upočasnimo tok in selektivno zadržujemo vodo ter vse kar z vodo prispe v akumulacijo. Upoštevati je potrebno tudi odlaganje avtohtonih snovi in snovi, ki v akumulacija prispejo iz atmosfere. Tudi če zmanjšamo prekomerno erozijo na naravno stopnjo, ki je za določeno območje značilna, se bo določena količina suspendiranih snovi ob padavinskih dogodkih sproščala, premeščala in odlagala na poti do akumulacij. Zlasti v vodozbirnih območjih, ki so na splošno bolj podvržena erozijskim procesom, kot je v primeru Ledavskega jezera. Zato je za zagotavljanje koristne prostornine in kakovosti vode v prihodnosti treba vključiti korektivne ukrepe. Podobno ugotavljajo tudi Kondolf in sod. (2014), ki predlagajo, da se za dolgoročno zagotavljanje kakovosti in prostornine potrebno uporabljati tehnologije s katerimi zajamemo in preusmerimo tok s plavinami ob akumulacijah ali skozi akumulacije in tehnologije za

odstranjevanje sedimenta iz akumulacij. K omilitvi odlaganja suspendiranih snovi lahko v veliki meri prispevamo tudi s spremembo obratovalnega režima med in po obdobju visokih voda.

Z orodjem OriU smo postavili okvir, ki načrtovalcem in upravljavcem vodozbirnih območij pomaga pri odločitvah, povezanih z izbiro ukrepov in srednje- ter dolgoročnem načrtovanju njihovih umestitev v prostor vodozbirnega območja vodnega telesa, za izboljšanje in ohranjanje kakovosti voda skladno z vodno in kmetijsko-okoljsko politiko. V prihodnje bo OriU potrebno podpreti s programskimi orodji za večparametrsko odločanje, zlasti kadar je v vodnem telesu ali porečju prisotnih več problemov ali zahtev v zvezi z načrtovanjem. Kar pomeni, da je potrebno izpopolniti nabor ukrepov in ga ločiti glede na vrsto obremenitve. S KOVO zmanjšamo obseg površin, na katere je potrebno ukrepe umeščati in tako znatno zmanjšamo predvidene stroške vzpostavitve in porabo zemljišč.

Čeprav se je model SWAT izkazal za uporabno orodje pri analizi vodozbirnega območja, določanju KOVO in simuliranju vpliva ukrepov na zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi v akumulacije, se je potrebno zavedati, da model poenostavi kompleksne procese realnega sveta, ne glede na to kakšen obseg podatkov in procesov z njim zajamemo. Natančnost modela je odvisna od kakovosti in obsega podatkov, časa in denarja, ki ga ima modelar na razpolago. Od modelarja je odvisno tudi katere parametre in procese bo vključil v simulacijo, kar je odvisno od njegovega poznavanja procesov v naravi in okolju ter ciljev, ki jih želi doseči. Zato je potrebno upoštevati, da so rezultati modela le v pomoč pri odločitvenih procesih kot so Načrti upravljanja voda. Ne glede na to, kakšno je naše poznavanje modela in procesov, obstajajo številne negotovosti povezane z natančnostjo vhodnih podatkov, uporabe pravih parametrov in napakami v modelu. Natančnost rezultatov, ki smo jih pridobili s SWAT bi lahko preverili le z meritvami na terenu po vzpostavitvi predvidenih ukrepov, kar je časovno in finančno zahtevno, a ne neizvedljivo.

7 SKLEPI

Z nalogo smo razvili orodje za izbiro in umestitev ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacijskih jezer (OriU). Z orodjem smo uspeli zagotoviti, da bodo ERM ukrepi za varstvo in obnovo akumulacij, v vodozbornem območju načrtovani tam, kjer je njihov učinek največji. Prav zaradi kompleksnih procesov med prispevnim območjem in vodnim telesom, je potreben sistematičen in preprost pristop, kot je predlagano orodje OriU, ki omogoča oblikovanje programa ukrepov, kot ga predvideva Vodna direktiva. Zaradi pregledne in enostavne strukture, je možno OriU uporabiti za katerokoli površinsko vodno telo.

Kot bistveno se je pri OriU izkazalo dvojje: definiranje kritičnih območij virov obremenitev (KOVO) ter zvezne meritve v pritoku in akumulaciji. Na podlagi lastnosti KOVO (tip tal, naklon in raba zemljišč) smo namreč lahko določili merila za umeščanje izbranih ukrepov v vodozbirno območje. Z definiranjem KOVO ukrepe umeščamo tja, kjer so najbolj potrebni in učinkoviti. S tem lahko zmanjšamo obseg zemljišč, kamor je potrebno umestiti ukrepe in posledično stroške načrtovanja in izvedbe ukrepov. Na podlagi zveznih meritev v pritoku in akumulaciji lahko podrobneje določimo obremenitev in izboljšamo razumevanje procesov v vodozbornem območju in med pritokom ter akumulacijo. Definiranje problema v vodnem telesu je namreč bistveno pri iskanju in oblikovanju nabora primernih ukrepov. Integracija numeričnih modelov v OriU, omogoča analizo vodozbornega območja, določanje KOVO in oceno učinkovitosti izbranih ukrepov. V tej nalogi se je model Soil and water assessment tool (SWAT) izkazal kot zelo učinkovito in uporabno orodje. Vendar se je v prihodnje pri določanju (KOVO) potrebno osredotočiti na uporabo algoritmov, kot so Field_SWAT, ki zajamejo strnjeno površino kmetijskega zemljišča (npr. GERK). Hkrati je, glede na velik dotok suspendiranih snovi v akumulacije zaradi erozije brežin vodotokov, potrebno numerične modele, kot je SWAT, izpopolniti za simulacijo erozije brežin. Zlasti po odsekih, ki bi bili prepoznani kot kritični in potrebni zaščite.

Z nalogo smo potrdili hipotezo, da lahko na podlagi rezultatov dosedanjih raziskav zberemo podatke o učinkovitosti ekoremediacijskih (ERM) ukrepov glede na določen problem in lastnosti območja. Vendar neposreden prenos podatkov o učinkovitosti ukrepov v druga vodozbirna območja ni možen, zaradi razlik v naravno-geografskih lastnostih in velikosti prispevnih površin ter spremljajočih hidroloških in meteoroloških dejavnikov območij raziskav. Zato je nabor ukrepov potrebno obravnavati le kot izhodišče za nadaljnjo izbiro ukrepov in oblikovanje scenarijev. V prihodnje bo nabor ukrepov potrebno dopolniti in oblikovati bazo podatkov učinkovitih ukrepov glede na vrsto obremenitve.

Na obravnavanem primeru vodozbornega območja akumulacije Ledavsko jezero smo, s pomočjo modela SWAT, ocenili učinkovitost izbranih ukrepov na zmanjšanje dotoka suspendiranih snovi v akumulacijo. Pokazali smo, da lahko z zmanjšanjem erozijskih procesov v vodozbornem območju zmanjšamo količino suspendiranih snovi v reki Ledavi in posledično v akumulaciji. Z zmanjšanjem erozijskih procesov hkrati ohranjamo rodovitna tla, kar je pomemben podatek pri vrednotenju ukrepov. Čeprav fosforja v tej nalogi nismo

modelirali, lahko glede na zelo dobro korelacijo med koncentracijo suspendiranih snovi in fosforjem v reki Ledavi sklepamo, da bi s temi ukrepi zmanjšali tudi obremenitve s fosforjem.

Izkazalo se je, da je učinek ukrepov na nivoju hidrološke odzivne enote (HOE) veliko večji, kot na nivoju podpovodja ali na dotoku v akumulacijo. To je posledica številnih dejavnikov, ki vplivajo na procese premeščanja snovi s prispevnih površin. Sicer je bila največja učinkovitost na zmanjšanje suspendiranih snovi v reki in na premeščanje suspendiranih snovi iz HOE, dosežena z vegetacijskimi varovalnimi pasovi in terasiranjem. Tudi v tej raziskavi se je izkazalo, da se s kombinacijo več ukrepov učinek poveča. Učinkovitost vegetacijskih varovalnih pasov ob vznožju zemljišč, na naklonih do od 11 do 24 %, se je namreč z dodatnimi pasovi na naklonih do 11 % povečala.. Najmanjši vpliv smo dosegli z negradbenimi ukrepi, ki se izvajajo v okviru kmetijsko okoljskih podnebnih plačil (KOPOP), kot so ohranitvena obdelava tal in ozelenitev njivskih površin. Vendar smo lahko pokazali, da so ti ukrepi kljub temu potrebni saj so se, z odstranitvijo prezimne ozelenitve iz kolobarja, količine suspendiranih snovi v vodi reke Ledave in prenos suspendiranih snovi s prispevnih površin, povečali. Upoštevati je potrebno tudi, da smo v okviru te raziskave modelirali učinkovitost posameznih ukrepov in eno kombinacijo dveh ukrepov. Nadvomno bi lahko s pomočjo evolucijskih algoritmov preverili večje število kombinacij med KOVO in izbranimi ukrepi.

V prihodnje bi bilo potrebno OriU podpreti s programskimi orodji za večparametrsko odločanje, zlasti kadar je v vodnem telesu ali porečju prisotnih več problemov ali zahtev v zvezi z načrtovanjem. S tem bi lahko orodje OriU oblikovali v programsko orodje, ki bi bilo širše uporabno in v veliko podporo ključnim deležnikom. Vendar je za uporabo večkriterijskih algoritmov potrebno potrebno natančneje definirati mejne vrednosti parametrov kakovosti v akumulacijah, sprejemljivi razpon stroškov za posamezne ukrepe in nadgraditi nabor ukrepov glede na vrsto obremenitve in območje umeščanja.

8 POVZETEK (SUMMARY)

8.1 POVZETEK

Akumulacije so, preko reke na kateri so bili zgrajene, tesno povezane z vodozbirnim območjem. Erozijski procesi v vodozbirnem območju in prenos suspendiranih snovi ter nanj vezanih onesnaževal s prispevnih površin, povzročajo izgubo koristne prostornine, hidromorfološke spremembe in z njimi povezane obremenitve v akumulacijah.

Doktorska disertacija obravnava orodje za izbiro in umeščanje ekoremediacijskih (ERM) ukrepov v vodozbirno območje akumulacij (OriU). Namen tega orodja je podpirati odločitve povezane z izbiro in umeščanjem teh ukrepov v vodozbirno območje, na mesta kjer so najbolj potrebni in učinkoviti. Smiselno zaporedje in sprotno preverjanje predhodnih korakov vodi do oblikovanja optimalne rešitve za obravnavano vodno telo.

Z namenom, da bi preverili delovanje orodja, smo izbrali vodozbirno območje akumulacije Ledavsko jezero, ki se nahaja na SV delu Slovenije. Vodozbirno območje akumulacije obsega 105,25 km², od tega se 33,7 km² nahaja na območju Avstrije. Dobro tretjino vodozbirnega območja (37,8 %) prekrivajo kmetijska zemljišča, sledijo gozdovi (36,7%) in travniki (12,1 %). Preostalo pokrivajo trajni nasadi, pozidana zemljišča ter vode. Sicer homogena gričevnata pokrajina je na povirju reke Ledave v Avstriji, zaradi trše geološke sestave vulkanskega porekla, bolj strma. Slabo sprijeti terciarni in kvartarni sedimenti, topografske lastnosti in izmenjavanje lahkih do težje prepustnih tal povečajo možnost plazenja in erozijskih procesov. Zaradi velike hidrološke odzivnosti vodozbirnega območja je reka Ledava v preteklosti pogosto poplavljala, zato je bil 1977 leta za zaščito mesta Murska Sobota in obdelovalnih površin ob reki Ledavi pred poplavami, zgrajena akumulacija Ledavsko jezero.

Kot je predvideno v prvi fazi orodja, smo v skladu z zakonsko opredeljenimi mejnimi ali priporočenimi vrednostmi fizikalno-kemijskih, kemijskih in hidromorfoloških parametrov določili stanje akumulacije. Z rezultati zveznih meritev na reki Ledavi in Ledavskem jezeru, ki so potekale dvakrat tedensko, med junijem 2013 in majem 2014, smo ugotovili, da povprečna letna koncentracija suspendiranih snovi v obeh vodnih telesih presega priporočeno vrednost (25 mg TSS /l) in sicer za 46,7 % v reki Ledavi oziroma za 73,3 % v akumulaciji. Pri tem so koncentracije skupnega dušika, nitrata, skupnega fosforja in ortofosfata presegale mejne vrednosti le v zimskih in spomladanskih konicah pretokov.

Po določitvi problema v reki in akumulaciji, smo analizirali vodozbirno območje in določili kritična območja virov obremenitev (KOVO), tj. hidrološko aktivna območja prenosa snovi v krajini, ki sovpadajo z virom obremenitve. V obravnavanem primeru so to območja, s katerih se v povprečju premešča več kot 0,5 t/ha suspendiranih snovi letno. Pri analizi vodozbirnega območja in definiranju KOVO smo si pomagali z modelom Soil and Water Assessment Tool (SWAT), ki se je po primerjavi z ostalimi modeli izkazal za zelo

učinkovitega pri modeliranju scenarijev vodozbirnih območij, s pretežno kmetijsko rabo in tudi pri analizi vodozbirnih območij. Izkazalo se je, da KOVO predstavljajo le 12,2 % vodozbirnega območja Ledavskega jezera, pri čemer je erozija najintenzivnejša na njivah in obsega 88,2 % vseh KOVO. Nadaljnja analiza KOVO je pokazala, da se največ suspendiranih snovi s površinskim odtokom premešča s površin na naklonu med 11 in 24% in da so gleji in psevdogleji najbolj erodibilni.

Za doseganje dobrega ekološkega potenciala v skladu z Direktivo o vodah (2000/60/ES) in predvidene prostorninske kapacitete so preventivni ukrepi nujni. Pri tem izbira ukrepov pogosto predstavlja težavo, saj je učinkovitost ukrepa odvisna od vrste in vira obremenitve, obsega in lastnosti območja, kamor ukrep umeščamo. Hkrati morajo biti ukrepi stroškovno sprejemljivi, z minimalnimi stroški vzpostavitve in vzdrževanja, dolgoročno učinkoviti ter brez večjih posegov v prostor. Za zmanjšanje netočkovnih obremenitev, erozije in dotoka suspendiranih snovi s prispevnih površin so se v preteklih desetletjih uspešno uveljavili ekoremediacijski (ERM) ukrepi, ki združujejo remediacijo stanja ekosistema z uporabo ekološkega inženiringa. Da bi oblikovali nabor ukrepov za omilitev erozije oziroma dotoka suspendiranih snovi v vodno telo, smo pregledali 43 raziskav. Pri pregledu smo upoštevali tudi ukrepe Programa ukrepov Načrta upravljanja voda (NUV) in kmetijsko-okoljskih-podnebih plačil (KOPOP). Ugotovili smo, da so velika odstopanja pri vplivih ukrepov na zmanjšanje izgube tal in dotoka sedimenta v vodno telo, posledica različnih velikosti in lastnosti prispevnih površin, kakovosti in obsega vhodnih podatkov, izbire modela in modelarjeve interpretacije rezultatov. Kljub vsemu smo lahko, na podlagi literature in objavljenih rezultatov povzeli, kateri ukrepi v povprečju dosegajo višjo in kateri nižjo učinkovitost pri zmanjšanju prenosa suspendiranih snovi s prispevnih površin oziroma dotoka suspendiranih snovi v akumulacijo. Prav tako smo na podlagi zaključkov in ugotovitev avtorjev, povzeli kateri mehanizmi in parametri so vplivali na učinkovitost ukrepov in jih vključili v oblikovanje osmih scenarijev za vodozbirno območje Ledavskega jezera.

Za določanje vpliva scenarijev na zmanjšanje prenosa suspendiranih snovi iz prispevnih površin in dotoka v akumulacijo, smo uporabili model SWAT. Izkazalo se je, da na prenos suspendiranih snovi s prispevnih površin na nivoju hidroloških odzivnih enot (HOE) najbolj vplivajo vegetacijski varovalni pasovi (S3 in S2) in terase (S6), sledijo ohranitvena obdelava tal (S4), obdelava tal po plastnicah (S5) in kolobar (S8). Pri tem je bila kombinacija vegetacijskih varovalnih pasov (S3) veliko bolj učinkovita kot S1 ali S2. Zelo podoben vpliv na zmanjšanje prenosa suspendiranih snovi iz HOE smo lahko opazili pri S2 in S6. Prav tako smo lahko opazili, da smo s scenariji na prenos suspendiranih snovi iz HOE bolj vplivali v podpovodjih, kjer prevladujejo nakloni do 24 %.

Nasprotno smo s scenariji količino v reki Ledavi najbolj zmanjšali na iztokih iz podpovodij, kjer prevladujejo večje strmine in je prenos suspendiranih snovi na nivoju HOE večji. Vpliv scenarijev na povprečno količino suspendiranih snovi v reki je bil manjši kot na nivoju HOE. Tudi v tem primeru smo s scenariji S3 in S6 dosegli večji učinek kot pri scenarijih z

negradbenimi ukrepi. Podobno smo pokazali pri vplivu scenarijev na koncentracijo suspendiranih snovi v reki Ledavi, vendar z manjšimi spremembami glede na osnovni scenarij. Kot najbolj učinkovit se je izkazal scenarij S3, nato S2 in S6. Za razliko od S6 smo z vegetacijskimi varovalnimi pasovi največji učinek dosegli v nižinskih podpovodjih z manjšim prenosom suspendiranih snovi na nivoju HOE. Kako pomembna je ozelenitev njivskih površin, smo pokazali s scenarijem S7, kjer smo iz kolobarja izključili prezimni dosevek. Negativne spremembe glede na osnovni scenarij so se pokazale na pretok v reki Ledavi in tudi na prenos suspendiranih snovi s prispevnih površin in na sediment v reki na iztoku iz podpovodij.

Rezultati prve faze OrIU so obvezna strokovna podlaga za drugo fazo OrIU, potrebna za argumentirano razpravo z zainteresirano javnostjo, načrtovalci in upravljavci vodozbirnega območja. V tej nalogi druge faze nismo obravnavali, saj je oblikovanje in izvedba načrta umeščanja predlaganih ukrepov dolgotrajen, zakosno določen postopek, v katerem je potrebno uskladiti gospodarske, družbene in okoljske dejavnike ter upoštevati zakonske predpise, ki urejajo načrtovanje posegov v prostor. V kolikor so predlagani ukrepi v celoti upoštevani, ponovna simulacija učinkovitosti ukrepov ni potrebna. Takrat je cilj, optimalna umestitev izbranih ukrepov, dosežen.

V sklopu naloge smo uspeli razviti orodje, ki bo v pomoč načrtovalcem in upravljavcem vodozbirnih območij za doseganje in ohranjanje kakovosti voda, kar je skladno z vodno in kmetijsko-okoljsko politiko. V prihodnje bo OrIU orodje potrebno podpreti s programskimi orodji za večparametrsko odločanje, zlasti kadar je v vodnem telesu ali porečju prisotnih več problemov ali zahtev v zvezi z načrtovanjem. Kar pomeni, da je potrebno izpopolniti nabor ukrepov in ga ločiti glede na vrsto obremenitve (sediment, dušik, fosfor, sredstva za varstvo rastlin, težke kovine, patogeni organizmi idr.), saj se vzorci in poti prenosa iz prispevnih površin v vodno telo in s tem izbira ukrepov zelo razlikujejo. Nedvomno je v prihodnje potrebno vključiti algoritme, kot so Field_SWAT, s katerimi bi lahko ukrepe, vezane na kmetijsko prakso, ciljano umeščali na strnjene površine kmetijskega zemljišča z enako dejansko rabo, predstavljene kot HOE.

8.2 SUMMARY

Erosion processes within the watershed and the transport of sediment with associated sediment-bound pollutants from the watershed result in a loss of volume capacity, hydromorphological changes with a resultant burden on the reservoir.

This doctoral thesis deals with the tool for selection and allocation of ecoremediation (ERM) measures in the reservoir watershed (TSA). The purpose of this tool is to contribute to the effective management of watersheds and with this to ensure a balance between the use of valuable arable land and the water quality and volume capacity of the reservoir. The TSA tool enables the introduction of measures in those areas where they are the most effective

and necessary. A sensible sequence and up-to-date checking of preceding steps leads to the design of an optimal solution for treatment of the water body.

In order to verify the operation of the tool, we selected the watershed of the Ledavsko jezero reservoir, which is located in the NE part of Slovenia. The watershed comprises an area of 105,25 km², 33,7 km² of which is located in the territory of Austria. Over a third of the watershed is covered with agricultural land (37,8 %), followed by forests (36,7 %) and meadow (12,1 %). The remaining area is covered by permanent crops, urban areas and water. The otherwise homogenous hilly landscape is steeper in the upper part of the Ledava water basin due to the harder geological composition of volcanic origin. The poorly adhesive tertiary and quaternary sediments, topographical properties and exchange of light to heavy permeable soil increase the possibility of sliding and erosion processes. Due to the rapid hydrological response in the watershed, the Ledava river flooded regularly. In order to protect the city of Murska Sobota and the cultivated land along the river Ledava, the Ledavsko jezero reservoir was built in 1977.

As was foreseen in the first phase of the TSA, we determined the water quality of the reservoir in accordance with the legally defined limits or recommended values of physico-chemical, chemical and hydromorphological parameters. The results of simultaneous monitoring on the Ledava river and in the Ledavsko jezero reservoir revealed that the average annual concentration of suspended solids in both water bodies exceeded the recommended value of 25 mg/l TSS; 46,7 % in the Ledava river and 73,3 mg/l % in the reservoir. The concentrations of total nitrogen, nitrates, total phosphorus and orthophosphate were above the limit values during the winter and spring peak flows only.

After determining the problem in the river and the reservoir, we analyzed the watershed and determined the critical source area (CSA), i.e. where the source and transport areas that are connected to water bodies coincide. In the described example, the CSAs are areas with an average soil loss of more than 0,5 t/ha per year. We used the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) for the watershed and CSAs analysis. This tool has proven to be very effective in watershed analysis, determination of CSAs and assessing the impact of BMPs on water quality in predominantly agricultural watersheds. It turns out that CSAs represent only 12,2% of the entire watershed area of Ledavska lake, where the most intense erosion occurs in fields and encompasses 88,2 % of all CSAs. Further analysis of CSA showed that most of the sediment is displaced by runoff from land on areas with between 11 % and 24 % sloping and that gleysol and stagnosol are the most erodible.

In order to achieve 'good ecological potential' in accordance with the Water framework directive (2000/60/EC) and expected volume capacity of the reservoir, management measures have to be undertaken. Choosing of measures often presents a problem since the effectiveness of the measure will depend on the type and source of the pollution, as well as on the size and characteristics of the drainage area. At the same time, measures should be

cost-effective, with minimum implementation and maintenance costs, with long-term effectiveness and without major interventions in the area. In order to reduce non-point source pollution, erosion and sediment yield in the watershed, ecoremediation (ERM) measures have been successfully introduced in recent decades. These measures combine remediation of the ecosystem through the use of ecological engineering. With the intention of selecting a list of effective measures in erosion mitigation and sediment yield reduction, we reviewed 43 published studies and also considered the Program of Measures of the River Basin Management Plan (RBMP) as well as agri-environmental measures. We found that high variability in the performance of reviewed measures on reduction of soil loss and sediment yield is due to different size and characteristics of the watershed, quality and quantity of the input data, choice of the model and interpretation of modeling results. However, on basis of the literature and published results, we were able to sum up the mechanisms and parameters that have an impact on the effectiveness of measures and integrate them into the design of the eight scenarios for the watershed of the Ledavsko jezero reservoir.

To access the impact of the scenarios on soil erosion reduction and sediment yield to the reservoir, we used SWAT. It turns out that the sediment yield (t/ha/yr) reduction at the level of the hydrological response unit (HRU) is most affected by vegetative protective?/filter? strips (S2 and S3) and terraces (S6), followed by conservation tillage (S4), contour tillage (S5) and cover crop (S8). A combination of vegetative filter strips (S3) on slopes up to 11% (S1) and filter strips on the slopes from 11 to 24 % (S2) is much more effective than any another measure. Very similar impact on sediment yield reduction at HRU level could be observed between scenarios S2 and S6 on the same slope. All scenarios were most effective in the subwatershed dominated by land with slopes of up to 24 %.

In contrast, most of scenarios reduced sediment in the river Ledava where steeper slopes in the subwatershed prevail and where high average annual sediment transport from HRU is identified. The impact of the scenarios on the average annual sediment load (t/yr) in the river was lower than at the HRU level. In this case, scenarios S3 in S6 were also more effective than agronomic measures (S4, S5 and S8). A highly similar order in impact of scenarios on total suspended solids (mg TSS / l) in the river was achieved, although with less variation from the baseline scenario. Scenario S3 was most efficient in reducing TSS, followed by S2 and S6. Unlike S6, vegetative filter strips were more efficient in lowland watersheds with smaller transport of sediment from the HRU. The importance of cover crop was observed with the S7 scenario, where cover crops were removed from rotation. Overall negative changes appeared according to the baseline scenario on the water flow in the Ledava river, the sediment yield at HRU level and sediment in the Ledava river at the outlet of subwatersheds.

The results of the first phase of the TSA are a necessary expert basis for the second phase of the tool. This expertise is required for argumentative discussion with the stakeholders,

planners and watershed managers. In this study, the second phase of the tool was not considered as it involves a standard spatial planning procedure to align economic, social and environmental factors, considering spatial and landscape planning regulations. If the proposed measures are fully integrated, simulation of the effectiveness of the measures is not necessary. It is then considered that the optimum selection and allocation is achieved.

In the context of this research we have managed to develop a tool that will help planners and watershed managers with restoration and protection of water quality. In the future it will be necessary to support the TSA tool with multicriteria decision system software, in particular when more problems or allocation requirements are present in the water body or watershed. It is necessary to improve the selection of measures with respect to the type of problem (sediment, nitrogen, phosphorus, plant protection products, heavy metals, pathogens etc.), as the patterns and transport of pollutants from the watersheds to the downstream water body, and thus the choice of measures vary greatly. Without a doubt, in the future it will be necessary to include algorithms such as Field_SWAT (Pai in sod., 2012), the use of which would allow measures connected to the farming practice to be implemented with the same use as HRU. In this way we could provide CSAs targeting at field-level.

9 VIRI

- Abbaspour K. C. 2014. SWAT-CUP 2012: SWAT Calibration and Uncertainty Programs - A User Manual. Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology: 106 str.
- A Guide to Better Soil Structure. 2001. National Soil Resources Institute (NSRI). Bedfordshire, Cranfield University.
http://www.soil-net.com/legacy/downloads/resources/structure_brochure.pdf (15. 09. 2014)
- Ahmadi M., Arabi M., Fontane D.G., Engel B.A. 2014. Application of Multicriteria Decision Analysis with A Priori Knowledge to Identify Optimal Nonpoint Source Pollution Control Plans. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141, 2: 04014054-1 - 04014054-9
- Alexander F., Basnett A., Waterhouse J., Ginders M. 2011. Literature Review of the comparative effectiveness of vegetated buffers in trapping pesticides, sediments and nutrients in runoff from agricultural lands. Townsville: 67 str.
- Allmendinger N.E., Pizzuto J.E., Potter N. Jr., Johnson T.E., Hession W.C. 2005. The Influence of Riparian Vegetation on Stream Width, Eastern Pennsylvania, USA. *Geological Society of America Bulletin*, 117: 229 - 243
- Anderson R.J., Bledsoe B.P., Hession W.C. 2004. Width of Streams and Rivers in Response to Vegetation, Bank Material and Other Factors. *Journal of the American Water Resources Association* 40: 1159 - 1172
- Annandale G.W. 2005. Reservoir sedimentation. V: *Encyclopedia of Hydrological Sciences*: Vol. 2, Part 7. Anderson M.G., McDonnell J.J. (ur.). West Sussex, John Wiley and Sons: 1327-1339
- Arabi M., Govindaraju R. S., Hantush M. M. 2004. Watershed management tool for selection and spatial allocation of non-point source pollution control practices. EPA/600/R-08/036. Cincinnati, Ohio 45268. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency: 91 str.
- Arabi M., Govindaraju R.S., Hantush M.M., 2006. Cost-effective allocation of watershed management practices using a genetic algorithm. *Water Resources Research*, 42:W10429
- Arabi M., Frankenberger J., Engel B., Arnold, J. 2007. Representation of agricultural conservation practices with SWAT. *Hydrological Processes*, 16: 3042 – 3055
- Arnold J. G., Srinivasan R., Muttiah R. S., Williams J. R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment – Part 1: Model development, *Journal of the American water resources association*, 34: 73 – 89
- Arnold J.G., Kiniry J.R., Srinivasan R., Williams J.R., Haney E.B., Neitsch, S.L. 2012a. SWAT Input/Output Documentation, Version 2012. Texas Water Resources Institute: 654 str.
- Arnold J.G., Moriasi D. N., Gassman P. W., Abbaspour K. C., White M. J., Srinivasan R., Santhi C., Harmel R. D., van Griensven A., Van Liew M. W., Kannan N. M., Jha K. 2012b. SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE*, 55: 1491-1508

- Avendanõ Salas C., Sanz Montero E., Gomez Montana J.L. 1997. Sediment yield at Spanish reservoirs and its relationship with the drainage basin area, Dix-neuvième Congrès des Grands Barrages. Florence, Commission Internationale De Grands Barrages: 863 – 874
- Bach M., Fabis J., Frede H. G. 1994. Kartierung der potentiellen Filterfunktion von Uferstreifen. 2. Teil: Kartierung eines Flußeinzugsgebietes im Mittelgebirgsraum. Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung, 35: 155 – 164
- Bagheri S., Afzalimehr H., Sui, J. 2010. Briefing: Discharge coefficient for sluice gates. Water management 163: 435 - 438
- Batten W.G., Dindall, S.M. 1980. Sediment Deposition in the White River Reservoir, Northwestern Wisconsin. Geological Survey Water-Supply Paper, 2069: 1 - 30
- Beeson C.E., Doyle P.F. 1996. Comparison of Bank Erosion at Vegetated and Non-Vegetated Channel Bends. Water Resources Bulletin, 31: 983 - 990
- Beklioglu M., Meerhoff M., Søndergaard M., Jeppesen E. 2011. Eutrophication and Restoration of Shallow Lakes from a Cold Temperate to a Warm Mediterranean and a (Sub)Tropical Climate V: Eutrophication: Causes, Consequences and Control. Ansari A. A., Singh G.S. (ur.) Dordrecht Heidelberg London New York. Springer: 91 - 108
- Betrie G. D., Mohamed Y. A., van Griensven A., Srinivasan R. 2011. Sediment management modelling in the Blue Nile Basin using SWAT model. Hydrology and Earth System Sciences, 15: 807–818
- Beven K.J. 2005. Rainfall-Runoff Modeling: Introduction. V: Encyclopedia of Hydrological Sciences: Vol. 3, Part 122. Anderson, M.G. McDonnell, J.J. (ur.) West Sussex, John Wiley and Sons: 1857 - 1868
- Billota G. S., Brazier R. E. 2008. Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. Water research, 42: 2849 – 2861
- Bizjak A. 2008. Vodno načrtovanje in načrti upravljanja voda. Razgledi (Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani), 30: 101 – 121
- Blanco Canqui H., Gantzer C. J., Anderson S. H., Alberts E. E. 2004. Grass barriers for reduced concentrated flow induced soil and nutrient loss. Soil Science Society of America Journal, 68: 1963-1972
- Bohanec M. 2006. Odločanje in modeli. Ljubljana, DMFA – založništvo: 312 str.
- Boorman D.B. 2003. Climate, Hydrochemistry and Economics of Surface-water Systems (CHESS): adding a European dimension to the catchment modelling experience developed under LOIS. Science of the Total Environment, 314-316: 411-437
- Borah D.K., Bera M. 2003. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of mathematical bases. Transactions of the ASAE, 46: 1553-1566
- Borah D.K., Bera M. 2004. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of applications. Transactions of the ASAE, 47: 789-803

- Bosch S. N. 2008. The influence of impoundments on riverine nutrient transport: An evaluation using the Soil and Water Assessment Tool. *Journal of Hydrology*, 355: 131– 147
- Bouraoui F., Grizzetti B. 2011. Long term change of nutrient concentrations of rivers discharging in European seas. *Science of Total Environment*, 409: 4899–4916
- Bracmort K.S., Arabi M., Frankenberger J.R., Engel, B.A. in Arnold, J.G. 2006. Modeling long-term water quality impact of structural BMPs. *Transactions of ASABE*, 49: 367–374
- Bren L. J. 1998. The geometry of a constant buffer-loading design method for humid watersheds. *Forest Ecology and Management*, 110: 113-125
- Bren L. J. 2000. A case study in the use of threshold measures of hydraulic loading in the design of stream buffer strips. *Forest Ecology and Management*, 132: 243-257
- Brown C. B. 1943. Discussion of sedimentation in reservoirs, by J. Witzig. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 69: 1493 – 1500
- Brune G. M. 1953: Trap efficiency of reservoirs. *Transactions of the American Geophysical Union*, 34: 407 – 418
- Bulc G. T., Slak A. S. 2009. Ecoremediations - a new concept in multifunctional ecosystem technologies for environmental protection. *Desalination*, 246: 2 - 10
- Bull L.J., 1997. Magnitude and Variation in the Contribution of Bank Erosion to the Suspended Sediment Load of the river Severn, UK. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: 1109 – 1123
- Burt T. P., Slattery M.C. 2005. Land Use and Land Cover Effects on Runoff Processes: Agricultural Effects. v: *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. Vol. 3, Part 11. Anderson M.G. McDonnell J.J. West Sussex, John Wiley and Sons: 1805 – 1812
- Campbell N., D'Arcy B., Frost A., Novotny V., Sansom A. 2004. Diffuse Pollution. An introduction to the problems and solutions. London, IWA Publishing: 322 str.
- Catt J.A., Howse K.R., Farina R., Brockie D., Todd A., Chambers, B.J. Hodgkinson, R., Harris, G.L., Quinton J.N. 1998. Phosphorus losses from arable land in England. *Soil Use and Management* 14: 168 - 174
- Cesar P., Šraj M. 2012. Evapotranspiracija: pregled vplivnih dejavnikov in metod izračuna. *Geografski vestnik* 84: 73 - 87
- Cherry K.A., Shepherd M., Withers P.J.A., Mooney S.J. 2008. Assessing the effectiveness of actions to mitigate nutrient loss from agriculture: a review of methods. *Science of Total Environment*, 406: 1 – 23
- Chiang L.-C., Chaubey I., Maringanti, C. in Huang T. 2014. Comparing the Selection and Placement of Best Management Practices in Improving Water Quality Using a Multiobjective Optimization and Targeting Method. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11: 2992 – 3014
- Chiang L. C., Chaubey I., Hong N.M., Lin Y. P., Huang T. 2012. Implementation of BMP Strategies for Adaptation to Climate Change and Land Use Change in a Pasture-Dominated Watershed. *International Journal of environmental research*, 9: 3654–3684

- Chow T.L., Rees H.W., Daigle J.L. 1999. Effectiveness of terraces/grassed waterway systems for soil and water conservation: A field evaluation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 54: 577 – 583
- Churchill M. A. 1948. Discussion of Analyses and use of reservoir sedimentation data by L.C. Gottschalk. V: *Proceedings of the federal interagency sedimentation conference*, Denver, Colorado, Washington, DC: US Geological Survey: 139 – 140
- Crawford D. L., Crawford R. L. (ur.) 2005. *Bioremediation Principles and Applications*. New York, Cambridge University Press: 401 str.
- Colnarič J. 1971. *Ureditev vinograda*. Ljubljana, ČZP Kmečki Glas: 37 str.
- Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). 2001. *Analysis of Pressures and Impacts. Guidance document 3*. Luxembourg, European Environmental Agency (EEA): 148 str.
- Cooke G.D., Welch E. B., Peterson S., Nichols S.A. 2005. *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*, 3ed. Florida, CRC Press, Boca Raton: 591 str.
- Cooper J.R., Gilliam J.W., Daniels R.B., Robarge, W.P. 1987. Riparian Areas as Filters for Agricultural Sediment. *Soil Science Society of America Journal*, 51: 416 – 420
- Curran J.C., Hession W.C. 2013. Vegetative impacts on hydraulics and sediment processes across the fluvial system, *Journal of Hydrology*, 505: 364 – 376
- Dabney S. M., Delgado J. A., Reeves D. W. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 1221 - 1250
- Dabney S. M., Moore M. T., Locke M. A. 2006. Integrated management of in-field, edge of-field, and after-field buffers. *Journal of American Water Resources Association*, 42: 15 - 24
- Daniels R.B., Gilliam J.W. 1996. Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters. *Soil Science Society of America Journal*, 60: 246 – 251
- De Baets S., Poesen J., Meersmans J., Serlet L. 2011. Cover crops and their erosion-reducing effects during concentrated flow erosion. *Catena*, 85: 237 – 244
- Defersha B. M., Melesse A.M. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena*, 70: 47 – 52
- Dendy F. E., Champion W. A., Wilson R. B., 1973. *Reservoir Sedimentation Surveys in the United States*. 349 - 358 v: W. C. Ackermann G. F. White, and E. B. Worthington. *Man-made Lakes: Their Problems and Environmental Effects*, Washington D.C., Geophysical Monograph No. 17. American Geophysical Union: 838 str.
- Dermisis D., Abaci O., Papanicolaou A.N., Wilson C.G. 2010. Evaluating grassed waterway efficiency in southeastern Iowa using WEPP. *Soil Use and Management*, 26: 183–192
- de Vente J., Poesen J. 2005. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models. *Earth-Science Reviews*, 71: 95 - 125
- DeFries R., Eshleman K. N. 2004. Land-use change and hydrologic processes: a major focus for the future. *Hydrological Processes*, 18: 2183 – 2186

- DiLuzio M., Srinivasan R., Arnold J.G. 2004. A GIS-Coupled Hydrological Model System for the Watershed Assessment of Agricultural Nonpoint and Point sources of Pollution. *Transactions in GIS*, 8: 113 -136
- Dillaha T.A., Reneau R.B., Mostaghimi S., Lee D. 1989. Vegetative filter strips for agricultural nonpoint source pollution control. *Transactions of ASAE*, 32: 513 - 519
- Dillaha T. A. 1990. Role of Best Management Practices in restoring the health of the Chesapeake Bay. In: *Perspectives on the Chesapeake Bay, 1990: Advances in Estuarine Sciences*. CBP/TRS41/90. Washington, DC, Chesapeake Bay Program USEPA: 105 str.
- DIN 4022-1, Ausgabe: 1987 – 09: Baugrund und Grundwasser; Benennen und Beschreiben von Boden und Fels; Schichtenverzeichnis für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben im Boden und im Fels DIN 4047-5 Landwirtschaftlicher Wasserbau; Begriffe. Teil 5: Ausbau und Unterhaltung von Gewässern, 1989 – 03
- DIN 18310 VOB Verdingungsordnung für Bauleistungen - Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV), Sicherungsarbeiten an Gewässern, Deichen und Küstendünen, 2000 – 12
- DIN 19657 Sicherungen von Gewässern, Deichen und Küstendünen, 1973 – 09
- DIN 18916 Vegetationstechnik im Landschaftsbau; Pflanzen und Pflanzarbeiten, 2002 – 08
- DIN 18917 Vegetationstechnik im Landschaftsbau; Rasen und Saatarbeiten, 2002 – 08
- DIN 18918 Vegetationstechnik im Landschaftsbau; Ingenieurbiologische Sicherungsbauweisen; Sicherungen durch Ansaaten, Bepflanzungen, Bauweisen mit lebenden und nicht lebenden Stoffen und Bauteilen, kombinierte Bauweisen, 2002 – 08
- DIN 19660 Landschaftspflege bei Maßnahmen der Bodenkultur und des Wasserbaus, 1991–04
- Direktiva Evropskega parlamenta in Sveta 2000/60/ES z dne 23. oktobra 2000 o določitvi okvira za ukrepe Skupnosti na področju vodne politike
- Direktiva 2009/28/ES Evropskega parlamenta in Sveta, z dne 23. aprila 2009, o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov, spremembi in poznejši razveljavitvi direktiv 2001/77/ES in 2003/30/ES
- Direktiva 2006/21/ES Evropskega parlamenta in Sveta, z dne 15. marca 2006, o ravnanju z odpadki iz rudarskih in drugih ekstraktivnih dejavnosti
- Direktiva 2011/92/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 13. decembra 2011 o presoji vplivov nekaterih javnih in zasebnih projektov na okolje
- Dodds W.S., Whiles M.R. 2004. Quality and quantity of suspended particles in rivers: Continent-scale patterns in the United States. *Environmental Management*, 33: 355 – 367
- Dosskey M.G., Helmers M.J., Eisenhauer D.E., Franti T.G., Hoagland K.D. 2002. Assessment of concentrated flow through riparian buffers. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57: 336 - 343
- Dosskey M.G., Helmers M.J., Eisenhauer D.E. 2008. A design aid for determining width of filter strips. *Journal of Soil and Water Conservation*, 63: 232 - 241

- Dosskey M. G., Vidon P., Gurwick N. P., Allan C. J., Duval T. P., Lowrance R. 2010. The Role of Riparian Vegetation in Protecting and Improving Chemical Water Quality in Streams1. *Journal of the American Water Resources Association*, 46: 261 – 277
- Dummee V., Kruatrachue M., Trinachartvanit W., Tanhan P., Pokethitiyook P., Damrongphol P. 2012. Bioaccumulation of heavy metals in water, sediments, aquatic plant and histopathological effects on the golden apple snail in Beung Boraphet reservoir, Thailand. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 86: 204 - 212
- EC JRC, European Commission - Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability. <http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/erosion/> (7. 12. 2014)
- EEA, European environment agency. Core set of indicators - EEA Technical report No 1/2005. 2005b. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities: 38 str.
- Effects of air pollution on European ecosystems. Past and future exposure of European freshwater and terrestrial habitats to acidifying and eutrophying air pollutants. 2014. Luxembourg, European Environment Agency (EEA) Technical report 11/2014: 38 str.
- Ekwue E.I., Harrilal A. 2010. Effect of soil type, peat, slope, compaction effort and their interactions on infiltration, runoff and raindrop erosion of some Trinidadian soils. *Biosystems engineering*, 105: 112 – 118
- Erickson A. J., Weiss P. T. , Gulliver J. S. 2013. Optimizing Stormwater Treatment Practices. A Handbook of Assessment and Maintenance. New York, Springer Science and Business Media: 337 str.
- Erkatan A., Cécillon L., Roose E., Frascaria-Lacoste N., Rey F. 2013. Morphological diversity of plant barriers does not increase sediment retention in eroded marly gullies under ecological restoration. *Plant Soil*, 370: 653 – 669
- Eslamian S. 2014. Handbook of Engineering Hydrology. Modeling, Climate Change, and Variability. London, New York. CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton: 634 str.
- Espejo-Pérez A.J., Rodríguez-Lizana A., Ordóñez R., Giráldez J. V. 2013. Soil loss and runoff reduction in olive-tree dry-farming with cover crops. *Soil Science Society of America Journal*, 77: 2140 – 2148
- EUROSTAT Evropski statistični urad, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion#cite_note-4 (12. 5. 2014)
- European waters - assessment of status and pressures. 2012. Copenhagen, European Environment Agency (EEA) Report 8: 96 str.
- Evropska komisija. 2012. Skupna kmetijska politika – Zgodba se nadaljuje. Luxembourg. Urad za publikacije Evropske unije: 1 - 20
- FAO Food and agriculture organization of the United nations. Natural Resources and Environment. <http://www.fao.org/docrep/t1765e/t1765e05.htm> (21. 11. 2014)
- FAOSTAT Food and agriculture organization of the United nations. Statistics Division. http://faostat3.fao.org/download/O/*/E (4. 5. 2014)

- Fiener P., Auerswald K. 2003. Effectiveness of grassed waterways in reducing runoff and sediment delivery from agricultural watersheds. *Journal of Environmental Quality*, 32: 927 – 936
- Fiener P., Auerswald K. 2005. Measurement and modeling of concentrated runoff in grassed waterways. *Journal of Hydrology*, 301: 198 - 215
- Fox G. A. R. Muñoz-Carpena, et al. (2010). Influence of flow concentration on parameter importance and prediction uncertainty of pesticide trapping by vegetative filter strips. *Journal of Hydrology*, 384: 164 - 173
- Friedl G., Wüest A. 2002. Disrupting biogeochemical cycles – Consequences of damming. *Aquatic Sciences* 64: 55–65
- Friebs B., Lackner H., Luidolt U., Predota M., Ogris D., Platzer G., Petschnik C., Fröhlich K. 2014. Überwachung von kommunalen und betrieblichen Abwasserreinigungsanlagen 2012. Graz, Amt der Steiermärkischen Landesregierung: 64 str.
- Gale T. 1999. Simulacija procesov spiranja nitratov s hmeljišč z uporabo modela GLEAMS, diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo). Ljubljana, samozal.: 49 str.
- Gall J. 1977. Systemantics. How systems work and especially how they fail. Quadrangle. New york, The New York Time Book Co.: 63 str.
- Gams I. 1959. Nekateri geomorfološki problemi Pomurja. *Geografski zbornik*: 30 - 36
- Gantzer C.J., Anderson S.H., Thompson A.L., Brown J.R. 1990. Estimating soil erosion after 100 years of cropping on Sanborn field. *Journal of Soil and Water Conservation* 45: 641 – 644
- Gassman, P. W., Osei E., Saleh, A., Rodecap J., Norvell, S. Williams, J. 2006. Alternative practices for sediment and nutrient loss control on livestock farms in northeast Iowa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 117: 135–144
- Gassman P. W., Reyes M. R., Green C. H., Arnold J. G. 2007. The Soil and Water Assessment Tool: historical development, applications and future research directions. *Transactions of the Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50, 4: 1211 – 1250
- Geološka Karta Avstrije M 1:500000, Flächendeckende Beschreibung der Geologie von Österreich, Datensatz KM500 Austria, <https://www.data.gv.at/katalog/dataset/km500-geologie> (12. 1. 2015)
- Gharabaghi B., Rudra R.P., Whiteley H.R., Dickinson W.T. 2002. Development of a management tool for vegetative filter strips. *Best modelling practices for urban water systems*, 10: 289 - 302
- Gharabaghi B., Rudra R.P., Goel P.K. 2006. Effectiveness of vegetative filter strips in removal of sediments from overland flow. *Water Quality Research Journal Of Canada* 41: 275 – 282
- Ghebremichael L.T., Veith T.L., Watzin M.C. 2010. Determination of critical source areas for phosphorus losses: Lake Champlain Basin, Vermont. *Transactions of ASABE*, 53: 1595 – 1604

- Giri S., Nejadhashemi A.P., Woznicki S.A. 2012. Evaluation of targeting methods for implementation of best management practices in the Saginaw River Watershed. *Journal of the Environmental Management*, 103: 24 - 40
- Gitau M.W., Veith T.L., Gburek W.J. 2004. Farm-level optimization of BMP placement for cost-effective pollution reduction. *Transactions of ASAE*, 47: 1923 - 1931
- Glæsner N., Helming K., de Vries W. 2014. Do Current European Policies Prevent Soil Threats and Support Soil Functions? *Sustainability*, 6: 9538 – 9563
- Glavan, M. 2011. Vpliv spremenjene rabe zemljišč na količin in kakovost vode v reki Reki v goriških brdih in reki Dragonji, doktorska disertacija (Univerza v Ljubljani. Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.: 222 str.
- Glavan M., Pintar M., Volk M. 2012a. Land use change in a 200-year period and its effect on blue and green water flow in two Slovenian Mediterranean catchments—lessons for the future. *Hydrological Processes*, 27: 3964 – 3980
- Glavan M., White S.M., Holman I.P. 2012b. Water quality targets and maintenance of valued landscape character – experience in the Axe catchment, UK. *Journal of Environmental Management*, 103: 142 – 153
- Globevnik L. 2001. Celosten pristop k urejanju voda v povodjih, doktorska naloga. (Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo). Ljubljana, samozal.: 167 str.
- Gomez J. A., Guzman M.G., Idez J. V. G., Fereres E. 2009. The influence of cover crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter losses in an olive orchard on a sandy loam soil. *Soil and Tillage Research* 106: 137–144
- Grant R., Laubel A., Kronvang B., Andersen H.E., Svendsen L.M., Fuglsang A. 1996. Loss of dissolved and particulate phosphorus from arable catchments by subsurface drainage. *Water Resources*, 30: 2633 – 2642
- Green C.H., van Griensven A. 2008. Autocalibration in hydrologic modeling: using SWAT2005 in small-scale watersheds. *Environmental Modelling and Software*, 23: 422 – 434
- Grizzetti B., Bouraoui F., De Marsily G.. 2005. Modelling nitrogen pressure in river basins: A comparison between a statistical approach and the physically-based SWAT model. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30: 508 - 517
- Hay V., Pittroff W., Tooman E. E. 2006. Effectiveness of vegetative filter strips in attenuating nutrient and sediment runoff from irrigated pastures. *Journal of Agricultural Science*, 144: 349 - 360
- Heinemann H.G. 1981. A new sediment trap efficiency curve for small reservoirs. *Water Resources Bulletin*, 17: 825 – 830
- Holland J. M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 103: 1 – 25
- Hrvatin M., Komac B., Perko D., Zorn M. 2006. V: Boardman J., Poesen J. Soil Erosion in Europe. 2006. Chichester, John Wiley & Sons: 297 – 310
- ICOLD, International commission on large dams. Role of dams. Why do we need dams?

http://www.icold-cibg.org/GB/Dams/role_of_dams.asp (17. 11. 2013)

- Ignjatović M., Kaligarič M., Škornik S., Ivajnsič D. 2013. Proces sukcesije na umetnem vodnem zadrževalniku - Ledavskem jezeru. *Ekolist*, 10: 27 - 29
- Imanshoar F., Jahangirzadeh A., Bassar H., Akib S., Kamali B., Tabatabaei in Kakouei M. 2014. Reservoir Sedimentation Based on Uncertainty Analysis. Hindawi Publishing Corporation: 1 - 6
- Iqbal Z., Cui G.B., Zhang L.Q. 2003. Sedimentation retention basin utilisation for best management practice. *Journal of Environmental Sciences*, 15: 662 - 668
- Jankauskas B., Jankauskiene G., Fullen M. A. 2004. Erosion-preventive crop rotations and water erosion rates on undulating slopes in Lithuania. *Canadian Journal of Soil Science*, 84: 177 – 186
- Kaini P., Artita K., Nicklow J.W. 2012. Optimizing structural best management practices using SWAT and genetic algorithm to improve water quality goals. *Water Resources Management*, 26: 1827 - 1845
- Kajfež-Bogataj L. 2006. Podnebne spremembe in nacionalna varnost. *Ujma*, 20: 170 - 176
- Kersebaum K.C., Steidl J., Bauer O., Piorr H.-P., 2003. Modelling scenarios to assess the effects of different agricultural management and land use options to reduce diffuse nitrogen pollution into the river Elbe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28: 537 – 545
- Kessler A.C., Gupta S.C., Dolliver H.A.S in Thoma D.P. 2012. Lidar Quantification of Bank Erosion in Blue Earth County, Minnesota. *Journal of Environmental Quality*, 41: 197 - 207
- Kirsch K., Kirsch A., Arnold J. G.. 2002. Predicting sediment and phosphorus loads in the Rock River basin using SWAT. *Transactions of ASAE*, 45: 1757 - 1769
- Klik A., Zartl A. S., Rosner J. 2001. Tillage effects on soil erosion, nutrient, and pesticide transport. V: Soil erosion research for the 21st century, proceedings of the International Symposium, Honolulu: 71 - 74
- KLIWA (Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft). 3. KLIWA Symposium. 2007. Stuttgart, KLIWA Berichte, 10: 258 str.
- Kmetijsko okoljski ukrepi. 2009. Informativni bilten. Evropska komisija, Kmetijstvo in razvoj podeželja. Sustainable Agriculture and Soil Conservation (SoCo), (<http://soco.jrc.ec.europa.eu>) (13. 2. 2015)
- Knigton, D. 1998. Fluvial forms and processes. A new perspective. London, Arnold: 383 str.
- Kobold M., Uhan J., Trček R.in Knez J. 2012. Hidrološki letopis Slovenije 2009. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 6 str.
- Kolbezen M., Pristov J. 1998. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje: 29 str.
- Komac B., Zorn M. 2005. Soil erosion on agricultural land in Slovenia – measurements of rill erosion in the Besnica valley. *Acta geographica Slovenica*, 45: 53 -86

- Komac B., Zorn M. 2007. Pobočni procesi in človek. (Geografija Slovenije 15). Ljubljana, Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU: 217 str.
- Komac B., Zorn M. 2009. Plazovitost v Pomurju. V: Zbornik 20. zborovanja slovenskih geografov: 55 – 70
- Kondolf G.M., Gao Y., Annandale G.W., Morris G.L., Jiang E., Zhang J., Cao Y., Carling P., Fu K., Guo Q. 2014. Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: Experiences from five continents, *Earth's Future*, 2: 256 - 280
- Kovačec J. 1977. Akumulacija Domajinci – Obratovalni red. Maribor, Ljubljana, Inženirski biro Elektroprojekt Ljubljana, Grupa Maribor: 23 str.
- Krajnc G., Petelin Š., Zore K., Kodre N., Mohorko T. 2013. Ugotovitve analize stroškov in stopnje kritja stroškov upravljanja voda v Sloveniji v okviru ekonomskih analiz za Načrt upravljanja voda. 24. V: Mišičev vodarski dan: 223 - 232
- Krause P., Boyle D. P., Bâsel F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5: 89 – 97
- Kristensen P. B., Kristensen E. A., Riis T., Baisner A. J., Larsen S. E., Verdonchot P. F. M., Baattrup-Pedersen A. 2013. Riparian forest as a management tool for moderating future thermal conditions of lowland temperate streams. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 6081 – 6106
- Krönert R., Steinhardt U., Volk M. 2001. Landscape Balance and Landscape Assessment. Berlin-Heidelberg-New York, Springer: 304 str.
- Kronvang B., Audet J., Baattrup-Pedersen A., Jensen H.S., Larsen S.E., 2012. Phosphorus loads to surface water from bank erosion in a Danish lowland river basin. *Journal of Environmental Quality*, 41: 304 – 313
- Kronvang B., Behrendt H., Andersen H.E., Arheimer B., Barr A., Borgvang S.A., Bouraoui F., Granlund K., Grizzetti B., Groenendijk P., Schwaiger E., Hejzlar J., Hoffmann L., Johnsson H., Panagopoulos Y., Lo Porto A., Reisser H., Schoumans O., Anthony S., Silgram M., Venohr M., Larsen S.E. 2009. Ensemble modelling of nutrient loads and nutrient load partitioning in 17 European catchments. *Journal of Environmental Monitoring*, 11: 572 - 583
- Krysanova, V., Arnold J. G. 2008. Advances in ecohydrological modelling with SWAT—a review. *Hydrological Sciences Journal*, 53: 939 – 947
- Krysanova, V., White M. 2015. Advances in water resources assessment with SWAT—an review. *Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques*, 60: 771 - 783
- Kryžanowski A., Širca A., Humar N., Ravnika Turk M., Žvanut P., Četina M., Rajar R., Detela I., Polič M. 2012. Zemeljske in betonske pregrade strateškega pomena v RS: poročilo. Ljubljana, Republika Slovenija, Ministrstvo za obrambo: 161 str.
- Lake Champlain Basin. Agricultural Watersheds, Section 319. National Nonpoint Source Monitoring Program Projects, Final report. 2011. United States Environmental Protection Agency (EPA): 16 str., <http://it.tetrattech-ffx.com/steplweb/> (9.1.2015)

- Lam Q., Schmalz B., Fohrer N. 2011. The impact of agricultural Best Management Practices on water quality in a North German lowland catchment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 183: 351 - 379
- Lawler D. M., Grove J. R., Couperthwaite J. S., Leeks G. J. L. 1999. Downstream change in river bank erosion rates in the Swale - Ouse System, northern England. *Hydrological Processes*, 13: 977 – 992
- Lee K.H., Isenhardt T.M., Schultz R.C. 2003. Sediment and nutrient removal in an established multi-species riparian buffer. *Journal of Soil and Water Conservation*, 58: 1 – 8
- Leeds R., Brown L.C., Sulc M.R., VanLieshout L., 2013. *Vegetative Filter Strips: Application, Installation and Maintenance*. Ohio State University Extension: 15 str.
- Liu X., Mang X., Zhang M. 2008. Major Factors Influencing the Efficacy of Vegetated Buffers on Sediment Trapping: A Review and Analysis. *Journal of Environmental Quality*, 37:1667 - 1674
- Loague K., Corwin D. L. 2005. Point and NonPoint Pollution. v: *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. Vol. 3, Part 8. Anderson M.G. McDonnell J.J. (ur.). West Sussex, John Wiley and Sons: 1427 - 1439
- Lowrance R., McIntyre S., Lance C. 1988. Erosion and Deposition in a Field/Forest System Estimated Using Cesium-137 Activity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 43: 195 - 199
- Lu S., Kronvang B., Audet J., Trolle D., Andersen H.E., Thodsen H., van Griensven A. 2015. Modelling sediment and total phosphorus export from a lowland catchment: comparing sediment routing methods. *Hydrological Processes*, 29: 280 - 294
- Mazej-Grudnik Z., Šešerko M., Kopušar N., Al Sayegh Petkovšek S., Jelenko I., Druks Gajšek, P., Ojsteršek Zorčič P., Zupančič Justin M., Vidmar U., Istenič D., Urana D. 2013. Vrednotenje potencialnega vpliva kmetijstva na kemijsko in ekološko stanje voda v Pomurju s predlogi stroškovno učinkovitih ukrepov za njegovo preprečevanje. *Erico Velenje*: 237 str.
- Maalim F.K., Melesse A.M., Belmont P., Gran K. B. 2013. Modeling the impact of land use changes on runoff and sediment yield in the Le Sueur watershed, Minnesota using GeoWEPP. *Catena*, 107: 35 – 45
- Malik R.K., Green T.H., Brown G.F., Mays D. 2000. Use of cover crops in short rotation hardwood plantations to control erosion. *Biomass and Bioenergy*, 18: 479 – 487
- Mander Ü., Kuusemets V., Lõhums K., Mäuring T. 1997. Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering*, 8: 299 – 324
- Maringanti C., Chaubey I., Popp J., 2009. Development of a multiobjective optimization tool for the selection and placement of best management practices for nonpoint source pollution control. *Water Resources Research* 45, 6: W06406.
- Mausbach M. J., Dedrick A. R. 2004. The length we go: Measuring environmental benefits of conservation practices. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59: 96 - 103
- McCutcheon S.C., Schnoor J.L. (ur.) 2003. *Phytoremediation. Transformation and Control of contaminants*. New Jersey, Wiley and Sons Inc.: 1024 str.

- McGuire K. J., McDonnell J. J., Weiler M., Kendall C., McGlynn B. L., Walker J. M., Seibert, J. 2005. The role of topography on catchment-scale water residence time. *Water resources research* 41: 1-14
- McGlynn B. L., Seibert J. 2003. Distributed assessment of contributing area and riparian buffering along stream networks. *Water resources research* 39: TNN2-1-7
- Merritt W.S., Letcher R.A., Jakeman A.J. 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling and Software*, 18: 761 – 799
- Mikoš M. 1995. Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru. *Gozdarski vestnik* 53: 342 - 351
- Miranda L. E., Spickard M., Dunn T., Webb K. M., Aycock J. N., in Hunt K. M. 2010. Fish habitat degradation in U.S. reservoirs. *Fisheries*, 35, 175 – 184
- Mishra A., Froebrich J., Gassman P.W. 2007. Prioritizing structural management by quantifying the effect of land use and land cover on watershed runoff and sediment yield. *Water Resources Management*, 21: 1899 – 1913
- Mitsch W.J., Nedrich S.M., Harter S.K., Anderson C. Nahlik A.M., Bernal B. 2014. Sedimentation in created freshwater riverine wetlands: 15 years of succession and contrast of methods. *Ecological Engineering*, 72: 25 - 34
- Moriassi D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., Binger R. L., Harmel R. D., Veith T. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of ASABE*, 50: 885 - 900
- Moriassi D. N., Steiner J. L., Arnold J.G. 2011. Sediment Measurement and Transport Modeling: Impact of Riparian and Filter Strip Buffers. *Journal of Environmental Quality*, 40: 807 – 814
- Morgan R.P.C. 2005. Soil erosion and conservation. 3rd Edition. Blackwell Publishing Ltd., Cornwall, 304 str.
- Morris G.L., Fan, J. 2010. Design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. Electronic Version 1.04. New York, McGraw-Hill: 805 str.
- Mrhar M. 2001. Tlom prijazna obdelava. (Kmetovalčev priročnik). Kmetijska založba: 124 str.
- Munoz-Carpena R., Parsons J.E. 2004. A Design Procedure for Vegetative Filter Strips using VFSMOD-W. *Transactions of the ASAE*, 47: 1933 – 1941
- Načrt urejanja voda (NUV I) 2006 - 2014.
http://www.izvrs.si/pregledovalnik_vtpv/pregledovalnik_vtpv.php (13.9. 2014)
- Narasimhan B., Srinivasan R., Bednarz S.T., Ernst M.R., Allen P.M. 2007. A comprehensive modeling approach for reservoir water quality assessment and management due to point and nonpoint source pollution. *Transactions of the ASABE*, 53: 1605 - 1617
- Natek K. 1996. Ogroženost in regeneracijske sposobnosti površja severovzhodne Slovenije na osnovi regeneracije površja v Halozah po katastrofalnem neurju julija 1989. V: Spodnje Podravje s Prekijo. 17. zborovanje slovenskih geografov. Ljubljana, Zveza geografskih društev Slovenije: 445 str.

- National Conservation Practice Standard (NHCP). Filter strip, code 393. Riparian forest Buffer, code 391. 2010. Washington D.C., Natural Resources Conservation Service- United States Department of Agriculture NRCS-USDA.
http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/references/?cid=nrcsdev11_001020 (7. 12. 2014)
- National Conservation Practice Standard (NHCP). Sediment basin, code 350. Riparian forest Buffer, code 350. 2012. Washington D.C., Natural Resources Conservation Service - United States Department of Agriculture.
http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/technical/references/?cid=nrcsdev11_001020 (7. 12. 2014)
- National Lakes Assessment: A Collaborative Survey of the Nation's Lakes. 2009. EPA 841-R-09-001. U.S. Washington D.C., Environmental Protection Agency (EPA), Office of Water and Office of Research and Development: 73 str.
- Natura 2000. <http://www.natura2000.si/index.php?id=45> (30. 5. 2015)
- Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R. and Williams J.R., 2011. Soil and Water Assessment Tool – Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute: 647 str.
- Norris J.E., Stokes A., Mickovski S.B., Cammeraat L.H., Van Beek L.P.H., Nicoll B., Achim A. 2008. Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions. Dordrecht, Springer: 287 str.
- Ojsteršek Zorčič P. 2012. Ekoremediacije kot ukrep pri reševanju poplavne ogroženosti. Ljubljana, I. kongres o vodah Slovenije: 264 - 268
- Ojsteršek Zorčič P., Mikoš M., Košmelj K., Pintar M. 2015. Nitrate Concentration Changes in a River and its Reservoir within an Agriculturally-Influenced Watershed: The River Ledava (SE Austria and NE Slovenia) case study. *Fresenius Environmental Bulletin*, 4: 1537 - 1548
- Osman N., Barakbah S. S. 2011. The effect of plant succession on slope stability. *Ecological Engineering*, 37: 139–147
- Osnutek Načrta upravljanja voda za vodni območji Donave in Jadranskega morja za obdobje 2015 – 2021. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije: 285, str.
http://www.mop.gov.si/si/medijsko_sredisce/novica/article//6012/95ae72717bbcfdae6858a8e5aa0d54a8/ (15. 5. 2015)
- Pai N., Saraswat D., Srinivasan R. 2012. Field_SWAT: A tool for mapping SWAT output to field boundaries. *Computers and Geosciences*, 40: 175–184
- Palmieri A., Shah F., Dinar A. 2001 Economics of reservoir sedimentation and sustainable management of dams. *Journal of Environmental Management*, 61: 149 – 163
- Panagos P., Meusburger K., Van Liedekerke M., Alewell C., Hiederer R., Montanarella L. 2014. Assessing soil erosion in Europe based on data collected through a European network, *Soil Science and Plant Nutrition*, 60, 1: 15-29
- Panagopoulos Y., Makropoulos C., Mimikou M., 2011. Reducing surface water pollution through the assessment of the cost-effectiveness of BMPs at different spatial scales. *Journal of Environmental Management*, 92: 2823 - 2835

- Panagopoulos Y., Makropoulos C., Mimikou M. 2012. Decision support for diffuse pollution management. *Environmental Modelling and Software*, 30: 57 - 70
- Patty L., Real B., Gril J.J. 1997. The use of grassed buffer strips to remove pesticides, nitrate, and soluble phosphorous compounds from runoff water. *Pesticide Science* 49: 243–251
- Paul J., Meyer J. 2001. Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32: 333 – 365
- Perignon M.C., Tucker G.E., Griffin E.R., Friedman J.M. 2013. Effects of riparian vegetation on topographic change during a large flood event, Rio Puerco, New Mexico, USA. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118: 1193–1209
- Peršolja J. 2008. Napoved izpiranja herbicidov v tleh Dravskega in Ptujkega polja z modelom PELMO, magistrska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo). Ljubljana, samozal.: 118 str.
- Petan S. 2005. Modeliranje podtalnice Ljubljanskega polja, diplomska naloga. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo). Ljubljana, samozal.: 77 str.
- Petan S. 2010. Meritve in prostorsko modeliranje erozivnosti padavin kot parametra erozije tal. doktorska naloga. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo). Ljubljana, samozal.: 258 str.
- Petkovšek G. 2002. Kvantifikacija in modeliranje erozije tal z aplikacijo na povodju Dragonje, doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo). Ljubljana, samozal.: 205 str.
- Petkovšek G., Roca M. 2014. Impact of Reservoir Operation on Sediment Deposition. *Proceedings of ICE – Water Management*, 167 (WM10): 577 - 584
- Pintar J., Zemljič M. 1990. Pokrovnost in obraslost površin. Ljubljana, Vodnogospodarski inštitut: 35 str.
- Pope I. C., Odhiambo B. K. 2014. Soil erosion and sediment fluxes analysis: a watershed study of the Ni Reservoir, Spotsylvania County, VA, USA. *Environmental Monitoring Assessment*, 186: 1719 – 1733
- Poročilo komisije Evropskemu parlamentu in svetu o izvajanju Okvirne direktive o vodah (2000/60/ES). 2012. Bruselj, Načrti upravljanja povodij
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/?uri=CELEX:52012DC0670> (15. 3. 2015)
- Poročilo Slovenije na podlagi 10. člena Direktiva Sveta 91/676/EEC, ki se nanaša na varstvo voda pred onesnaženjem z nitrati iz kmetijskih virov za obdobje 2008 – 2011. 2012. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje: 39 str.
- Poročilo o stanju kmetijstva, živilstva, gozdarstva in ribištva v letu 2013. 2014. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo in okolje RS, Kmetijski inštitut Slovenije: 228 str.
http://www.mkgp.gov.si/fileadmin/mkgp.gov.si/pageuploads/podrocja/ZP_2013_splosno_priloge.pdf (21. 2. 2015)
- Post D. F., Fimbres A., Matthias A. D., Sano E. E., Accioly L., Batchily A. K., Ferreira L. G. 2000. Predicting Soil Albedo from Soil Color and Spectral Reflectance Data. *Soil Science Society American Journal*, 64: 1027 - 1034

- Posthumus H., Deeks L. K., Fenn I., Rickson R. J. 2010. Soil Conservation in two English Catchments: Linking Soil Management with Policies. *Land Degradation and Development*, 22: 97 – 110
- Posthumus H., De Graaf J. 2004. Cost-benefit analysis of bench terraces, a case study in Peru. *Land Degradation and Development*, 16: 1 - 11
- Posthumus H., Deeks L. K., Rickson R. J., Quinton J. N. 2013. Costs and benefits of erosion control measures in the UK. *Soil Use and Management*: 1 – 18
- Prager K., Schuler J., Helming K., Zander P., Ratering T., Hagedorn K. 2010. *Land Degradation and Development*, 22: 32 – 46
- Prasuhn V., 2012. On-farm effects of tillage and crops on soil erosion measured over 10 years in Switzerland. *Soil Tillage Research*, 120: 137–146
- Pravilnik o določitvi in razvrstitvi vodnih teles površinskih voda. Ur. l. RS, št. 63/2005
- Pravilnik o pitni vodi. Ur. l. RS, št. 19/2004
- Pravilnik o evidenci dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč. Ur. l. RS, št. 122/2008
- Pravilnik o minimalnih higienskih zahtevah, ki jih morajo izpolnjevati kopališča in kopalna voda v bazenih. Ur. l. RS, št. 39/2011
- Primožič M., Kobold M., Brilly M. 2008. The implementation of the HBV model on the Sava river basin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 4: 1-11
<http://iopscience.iop.org/1755-1315/4/1/012004/cites> (7. 12. 2014)
- Prosser I.P., Dietrich W.E. 1995. Field experiments on erosion by overland flow and their implication for a digital terrain model of channel initiation. *Water Resources Research*, 31: 2867 – 2875
- Protocol for Developing Sediment TMDLs. 1999. Washington D.C., U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Water and Office of Research and Development: 143 str.
- Program razvoja podeželja RS za obdobje 2014 - 2020. 2015. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano, Direktorat za kmetijstvo: 825 str.
- Raetz H. 2006: Adaptation to climate change in Switzerland's natural hazards management policies. <http://www.oecd.org/dataoecd/59/55/37781861.pdf> (5. 2. 2009).
- Remec-Rekar Š. 2014. Ocena stanja jezer v Sloveniji v letu 2013. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje: 17 str.
- Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., Porter J.P. 1991. RUSLE. Revised Universal soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46: 30 – 33
- Rice E.W., Bridgewater L. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd Edition. Washington, American Public Health Association: 110 str.
- Rickson R.J. 2014. Can control of soil erosion mitigate water pollution by sediments? *Science of the Total Environment*, 468–469: 1187 – 1197

- Rocha E.O., Calijuri M.L., Santiago A.F., Assis L.C., Alves L.G.S., 2012. The contribution of conservation practices in reducing runoff, soil loss, and transport of nutrients at the watershed level. *Water Resources Management*, 26: 3831 - 3852
- Roesner L. A., Fellow P.E., Bledsoe B. P., Brashear R. W. Members, ASCE. 2001. Are Best-Management-Practice Criteria really Environmentally friendly? *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127: 150 - 154
- Römkens M.J.M., Helmig K., Prasad S.N. 2001. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. *Catena*, 46: 103 – 123
- Rousseau A.N., Savary S., Hallema D.W., Gumiere S.J., Foulon E. 2013. Modeling the effects of agricultural BMPs on sediments, nutrients, and water quality of the Beaurivage River watershed (Quebec, Canada). *Canadian Water Resources Journal = Revue canadienne des ressources hydriques*, 38: 99 - 120
- Rusjan S. 2008. Hidrološke kontrole sproščanja hranil v porečjih, doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo). Ljubljana, samozal.: 221 str.
- Rusjan S., Mikoš M. 2006. Dinamika premeščanja lebdečih plavin v porečjih – Suspended load transport dynamics in river basins. *Acta hydrotechnica*, 24: 1 - 20
- Qi H., Altinakar M. S. 2011. Vegetation Buffer Strips Design Using an Optimization Approach for Non-Point Source Pollutant Control of an Agricultural Watershed. *Water Resource Management*, 25 : 565 – 578
- Quinton J., Govers G., Van Oost K., Bardgett R.D. 2010. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature and Geoscience* 3: 311 – 314
- Quinton J.N., Catt J.A. 2004. The effects of minimal tillage and contour cultivation on surface runoff, soil loss and crop yield in the long-term Woburn Erosion Reference Experiment on sandy soil at Woburn, England. *Soil Use and Management*, 20: 343–349
- Sadar V. 1961. Poljski kolobar in kolobarjenje. (Univerza v Ljubljani. Fakulteta za agronomijo, gozdarstvo in veterinarstvo). Ljubljana, samozal.: 104 str.
- Salas J. D., Shin H.. 1999. Uncertainty analysis of reservoir sedimentation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125: 339–350
- Santhi C., Srinivasan R., Arnold J.G., Williams J.R. 2006 A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in a watershed in Texas. *Environmental Modeling Software*, 21: 1141–1157
- Saxton K.E., Willey P.H. 2006. The SPAW model for agricultural field and pond hydrologic simulation: V: Watershed models. Singh V.P., Frevert D.K. (ur.). Boca Raton, CRC Press: 401–435 str.
- Schiff K. 2004. Was the Clean Water Act Effective? Editorial. *Marine Pollution Bulletin*, 81: 1–2
- Schmitt T. J., Dosskey M. G., Hoagland K. D. 1999. Filter strip performance and processes for different vegetation, widths, and contaminants. *Journal of Environmental Quality*, 28: 1479–1489

- Shang X., Wang X., Zhang D., Chen W., Chen X., Kong H. 2012. An improved SWAT-based computational framework for identifying critical source areas for agricultural pollution of the lake basin scale. *Ecological modeling*, 226: 1–10
- Shao H., Baffaut C., Gao G.E., Nelson N.O., Janssen K.A., Pierzynski G.M., Barnes P.L. 2013. Development and Application of Algorithms for Simulating Terraces within SWAT. *Transactions of the ASABE*, 56: 1715-1730
- Sklep št. 1386/2013/EU evropskega parlamenta in sveta z dne 20. novembra 2013 o splošnem okoljskem akcijskem programu Unije do leta 2020. 2013. Uradni list Evropske unije L 354/171
- SCS. 1972. National engineering Handbook, Chapter 21. USDA Soil Conservation Service.
<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/national/water/?cid=stelprdb1043063>, (14.3. 2014)
- Simon A., Pollen-Bankhead N., Mahacek V., Langendoen E. 2009. Quantifying reductions of mass-failure frequency and sediment loadings from streambanks using toe protection and other means: lake Tahoe, united States. *Journal of the American Water Resources Association*, 45: 171-186
- Singh J., Knapp H.V., Arnold J. G., Demissie M. 2005. Hydrological modeling of the Iroquois River watershed using HSPF and SWAT. *Journal of the American Water Resources Association*, 41: 343-360
- SOER (The European environment — state and outlook). 2015 Poročilo Evropsko okolje – stanje in napovedi 2015.
<http://www.eea.europa.eu/soer> (1. 4. 2015)
- Sollie S., Coops H., Verhoeven A. J. T. 2008. Natural and constructed littoral zones as nutrient traps in eutrophicated shallow lakes. *Hydrobiologia*, 605: 219–233
- SOWAP, 2007. Soil and surface water protection using conservation tillage in northern and central Europe. EU/LIFE03/ENV/UK000617: 44 str.
- Søndergaard M., Jeppesen E., Lauridsen T. L., Skov C., Van Nes E. H., Roijackers R., Lammens E., Portielje R. 2007. Lake restoration: successes, failures and long-term effects. *Journal of Applied Ecology*, 44: 1095–1105
- Søndergaard M., Jensen J.P., Jeppesen E. 2003. Role of sediment and internal loading of phosphorus in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 506–509: 135–145
- Smith L.E.D., Porter K.S. 2010. Management of catchments for the protection of water resources: drawing on the New York City watershed experience. *Regional Environmental Change*, 10: 311 – 326
- Sporočilo za javnost Ministrstva za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano Republike Slovenije.
<http://www.program-podezelja.si/sl/infoteka/sporocila-za-javnost/352-18-5-2015-uspesen-zakljucek-rednega-roka-subvencijske-kampanje-2015> (30. 6. 2015)
- Spreadsheet toll for the Estimation of Pollutant Load (STEPL). 2005. Users Guide Version 3.1: 54 str. <http://it.tetrattech-ffx.com/steplweb/> (9. 1. 2015)

- Srinivasan M. S. and R.W. McDowell. 2007. Hydrological approaches to the delineation of critical-source areas of runoff. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50: 249-265
- Straškraba M. 2004. Reservoirs and other Artificial Water Bodies in O'Sullivan P.E., Reynolds. 2004. *The Lakes Handbook*, Vol. 2. Blackwell Publishing, Cornwall, 300 – 328 str.
- Strauss P., Blum W.E.H. 1994. Faktoren, R Österreichs und Bayerns - Ein Vergleich. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 74: 137 - 140
- Strauss P., Swoboda D., Blum W.E.H. 2003. How effective is mulching and minimum tillage to control runoff and soil loss? A literature review. V: *Proceedings from '25 years of Assessment of Erosion'*. Ghent: 545–550
- Staut M. 2004. Recentni erozijski procesi v porečju Dragonje, diplomsko delo. (Univerza v Ljubljani, filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo). Ljubljana, samozal.: 135 str.
- Strauch M., Bernhofer C., Koide S., Volk M., Lorz C., Makeschin F. 2012. Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 414/415: 413-424
- Surface water sampling methods and analysis — technical appendices. Standard operating procedures for water sampling methods and analysis. 2009. Government of Western Australia, Department of Water: 66 str.
- Sweeney B. W., Newbold J. D. 2014. Streamside Forest Buffer Width needed to protect Stream Water Quality, Habitat, and Organisms: A literature review. *Journal of the American Water Resources Association*, 50: 560 – 584
- Šraj M. 2003. Modeliranje in merjenje prestreženih padavin, doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo). Ljubljana, samozal.: 236 str.
- Thornton K.W., Kimmel B. L., Payne F.E. 1990. *Reservoir limnology: ecological perspectives*. John Wiley & Sons: 246 str.
- Triglav J. 2012. Vodna infrastruktura in zemljiški kataster. *Geodetski vestnik* 56,4: 674 - 690
- Tripathi M.P., Panda R.K., Raghuwanshi N.S., 2003. Development of effective management plan for critical sub-watersheds using SWAT model. *Hydrological Processes*, 19: 809–826
- Tuppad P., Kannan N., Srinivasan R., Rossi C.G., Arnold J.G. 2010. Simulation of Agricultural Management Alternatives for Watershed Protection. *Water Resources Management*, 24: 3115–3144
- Turk I. 1995. Uporabnost dinamičnega modela GLEAMS za spremljanje atrazina v tleh v slovenskem prostoru, magistrsko delo (Univerza v Ljubljani. Biotehniška fakulteta). Ljubljana, samozal.: 108 str.
- Turtola E., Alakukku L., Uusitalo R., Kaseva A., 2007. Surface runoff, subsurface drainflow and soil erosion as affected by tillage in a clayey Finnish soil. *Agricultural and Food Science* 4: 332–351
- Ulen B.M., Kalisky T. 2005. Water erosion and phosphorus problems in an agricultural catchment—Need for natural research for implementation of the EU Water Framework Directive. *Environmental Science and Policy*, 8: 477–484

- Ulrich A., Volk M. 2009. Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of alternative management practices on water quality and quantity. *Agricultural Water Management*, 96: 1207–1217
- Urbanič G., Toman M.J. 2011. Varstvo celinskih voda. Ljubljana, Študentska založba: 94 str.
- Uredba o kakovosti površinskih voda za življenje sladkovodnih vrst rib. Ur. l. RS, št. 46/2002
- Uredba o posegih v okolje, za katere je treba izvesti presojo vplivov na okolje. Ur. l. RS, št. 51/2014
- Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih. Ur. l. RS, št. 32/2006 in št. 61/2011
- Uredba o oskrbi s pitno vodo. Ur. l. RS, št. 88/2012
- Uredba o zvrsteh naravnih vrednot. Ur. l. RS, št. 52/2002
- Uredba o vnosu nevarnih snovi in rastlinskih hranil v tla. Ur. l. RS, št. 68/1996 in 35/2001
- Uredba o stanju površinskih voda. Ur. l. RS, št. 14/09, 98/2010
- Uredba o predpisanih zahtevah ravnanja ter dobrih kmetijskih in okoljskih pogojih pri kmetovanju. Ur. l. RS, št. 11/2009
- Uredba o ukrepih kmetijsko-okoljska-podnebna plačila, ekološko kmetovanje in plačila območjem z naravnimi ali drugimi posebnimi omejitvami. Ur. l. RS, št. 13/2015
- van Dijk P.M., Kwaad F.J.P.M., Klapwijk M. 1996. Retention of water and sediment by grass strips. *Hydrological Processes*, 10: 1069–1080
- van Griensven A., Breuer L., Di Luzio M., Vandenberghe V., Goethals P., Meixner T., Arnold J.G., in Srinivasan R. 2006. Environmental and ecological hydroinformatics to support the implementation of the European Water Framework Directive for river basin management. *Journal of Hydroinformatics*, 8: 239-252
- Van Liew M. W., Arnold J. G., Garbrecht J. D.. 2003. Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Transaction of. ASAE*, 46: 1539 - 1551
- Veith T.L., Wolfe, M.L., Heatwole, C.D., 2003. Optimization procedure for cost effective BMP placement at a watershed scale. *Journal of the American Water Resources Association*, 39: 1331 - 1343
- Velthof G.L., Lesschen J.P., Webb J., Pietrza S., Miatkowski Z., Pinto M., Kros J., Oenema O. 2014. The impact of the Nitrates Directive on nitrogen emissions from agriculture in the EU-27 during 2000 – 2008. *Science of the Total Environment*, 468–469: 1225–1233
- Verbič J., Sušin J., Simončič A., Čergan Z., Babnik D., Jejčič V., Poje T., Knapič M., Verbič J., Dolničar P., Majer D., Ugrinović K., Janža R., Maljevič, J., Stopar M., Zemljič A. 2006. Ljubljana, Svetovalni kodeks dobre kmetijske prakse. Kmetijski institut Slovenije: 200 str.
- Verstraeten G., Poesen J. 2000. Estimating trap efficiency of small reservoirs and ponds: methods and implications for the assessment of sediment yield. *Progress in Physical Geography*, 24: 219 – 251

- Verstraeten G., Poesen J., Gillijns K., Govers G. 2006: The use of riparian vegetated filter strips to reduce river sediment loads: an overestimated control measure? *Hydrological Process*, 20: 4259-4267
- Vižantín G. 1999. Uporaba GIS-a pri modeliranju podtalnice, magistrsko delo. (Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo). Ljubljana, samozal.: 120 str.
- Vključitev ciljev vodne politike EU v SKP: delni uspeh. 2014. Luxembourg, Evropsko računsko sodišče. Posebno poročilo: 63 str.
www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR14_04/SR14_04_SL.pdf (24. 2. 2015)
- Volk M., Hirschfeld J., Schmidt G., Bohn C., Dehnhardt A., Liersch S., Lymburner L. 2008. Integrated ecological-economic modelling of water pollution abatement management options in the Upper Ems River Basin Water Resources Management. *Ecological Economics*, 66: 66-76
- Volk M., Lautenbach S., van Delden H., Newham L.T.H., Seppelt R., 2009. How can we make progress with decision support systems in landscape and river basin management? Lessons learned from a comparative analysis of four different decision support system. *Environmental Management*, 44: 1 - 16
- Volk T. 2012. Kazalci okolja v Sloveniji - Površine zemljišč s kmetijsko-okoljskimi ukrepi. Ljubljana, Agencija RS za okolje. Kmetijski inštitut Slovenije.
http://kazalci.arso.gov.si/?data=indicator&ind_id=444 (23. 11. 2014)
- Vondracek B., Zimmerman J. K. H., Westra J. V. 2003. Setting an effective TMDL: Sediment Loading and Effects of Suspended Sediment on FISR. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 39: 1005–1015
- Vrhovšek D., Smolar Žvanut N., Šajn Slak A., Lovka M., Kovač M., Krivograd Klemenčič A., Habjanič S. 2007. Ekohidrološke strokovne podlage in idejne rešitve za ekoremediacijo v zgornjem povodju Ledave. Končno poročilo. Ljubljana, Limnos: 96 str.
- Vrhovšek D., Vovk-Korže A. 2008. Ekoremediacije kanaliziranih vodotokov. Ljubljana, Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo: 219 str.
- Waidler D., White M.J., Steglich E.M., Wang S., Williams J., Jones C.A., Srinivasan R., 2009. Conservation Practice Modeling Guide for SWAT and APEX. (Texas Water Resources Institute Technical Report No. 399). College Station: 71 str.
- Walling D.E., Russell M.A., Hodgkinson R.A., Zhang Y. 2002. Establishing sediment budgets for two small lowland agricultural catchments in the UK. *Catena*, 47: 323–353
- Walling D.E., Collins A.L., Jones A., Leeks G.J.L., Old G. 2006. Establishing fine-grained sediment budgets for the Pang and Lambourn LOCAR catchments, UK. *Journal of Hydrology*, 330: 126 – 141
- Wall L. G., Tank J. L., Royer T. V., Bernot M. J. 2005. Spatial and temporal variability in sediment denitrification within an agriculturally influenced reservoir. *Biogeochemistry*, 76: 85–111
- Wei W., Chen L., Zhang H., Yang L., Yu Y., Chen J. 2014. Effects of crop rotation and rainfall on water erosion on a gentle slope in the hilly loess area, China. *Catena*, 123: 205–214

- Wetzel, Robert. G. 2001. *Limnology: Lake and river ecosystems*. 3rd Edition. Academic Press. San Diego: 1006 str.
- White M.J., Arnold J.G. 2009. Development of a simplistic vegetative filter strip model for sediment and nutrient retention at the field scale. *Hydrological Processes*, 23: 1602–1616
- White M.J., Storm D.E., Busteed P.R., Stoodley S.H., Phillips S.J.. 2009. Evaluating nonpoint source critical source area contributions at the watershed scale. *Journal of Environmental Quality*, 38: 1654-1663
- White M.J., Morris L.A., Pinho A.P., Jackson C.R., West L.T. 2007. Sediment retention by forested filter strips in the Piedmont of Georgia.(Report). *Journal of Soil and Water Conservation*, 62: 453-463
- Williams J.R. 1995. The EPIC Model. V: Singh V.P. *Computer Models of Watershed Hydrology*. Highland Ranch, CO, Water resources Publication: 1130 str.
- Williamson T.N., Christensen V.G., Richardson W.B., Frey J.W., Gellis A.C., Kieta K.A., Fitzpatrick F.A. 2014. Stream Sediment Sources in Midwest Agricultural Basins with Land Retirement along Channel. *Journal of Environmental Quality*, 43: 1624-1634
- Wischmeier W.H., Smith D.D. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook No. 537. Washington, DC, USDA/Science and Education Administration, US. Government: 58 str.
- World Commission on Dams. 2000. *Dams and development. A new Framework for decision-making*. London, Earthscan: 404 str.
- Yang Q., Meng. F.R., Zhao Z., Chowb T. L., Benoy G., Rees H.W., Bourque C. P.-A. 2009. Assessing the impacts of flow diversion terraces on stream water and sediment yields at a watershed level using SWAT model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 132: 23–31
- Yiping L., Acharya K., Stone M.C., Yu Z., Young M. H., Shafer D. S., Zhu J., Gray K., Stone A., Fan L., Tang C., Warwick J. 2011. Spatiotemporal patterns in nutrient loads, nutrient concentrations, and algal biomass in Lake Taihu, China. *Lake and Reservoir Management*, 27: 298 – 309
- Yuan Y., Bingner R.L., Locke M.A. 2009. A Review of Effectiveness of Vegetative Buffers on Sediment Trapping in Agricultural Areas. *Ecohydrology*, 2: 321-336
- Zaimes G.N., Schultz R.C., Isenhardt T.M. 2006. Riparian Land Uses and Precipitation Influences on Stream Bank Erosion in Central Iowa. *Journal of the American Water Resources Association*, 42: 83-97
- Zakon o kmetijskih zemljiščih. Ur. l. RS, št. 71/2011
- Zakon o prostorskem načrtovanju. Ur. l. RS, št. 33/2007
- Zakon o graditvi objektov. Ur. l. RS, št. 102/2004
- Zakon o vodah. Ur. l. RS. št. 67/2002
- Zakon o varstvu okolja. Ur. l. RS, št. 39/2006
- Zakon o ohranjanju narave. Ur. l. RS, št. 96/2004

Zakon o sladkovodnem ribištvu. Ur. l. RS, št. 61/2006

Zakon o divjadi in lovstvu. Ur. l. RS, št. 16/2004

Zhang I., Dawes W. R., Walker G. R. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water resources research*, 37, 3: 701 - 708

Zhang J.H., Frielinghaus M., Tian G., Lobb D.A. 2004. Ridge and contour tillage effects on soil erosion from steep hillstopes-in the Sichuan Basin, China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59: 277-284

Zhang X., Liu X., Zhang M., Dahlgren R.A., Eitzel M. 2010. A Review of Vegetated Buffers and a Meta-Analysis of Their Mitigation Efficacy in Reducing Nonpoint Source Pollution. *Journal of Environmental Quality*, 39: 76 - 84

Zhang Q., Li Y. 2014. Effectiveness assessment of soil conservation measures in reducing soil erosion in Baiquan County of Northeastern China by using ¹³⁷Cs techniques. *Environmental science: Processes and Impacts*, 16: 1480 – 1488

Ziegler A.D., Negishi J., Sidle R.C., Preechapanya, P., Sutherland R.A., Giambelluca T.W., Jaiaree S. 2006. Reduction of Stream Sediment Concentration by a Riparian Buffer: Filtering of Road Runoff in Disturbed Headwater Basins of Montane Mainland Southeast Asia. *Journal of Environmental Quality*, 35: 151 - 162

Zorn M., 2008. Erozijski procesi v slovenski Istri. *Geografija Slovenije*, 18. Ljubljana, Založba ZRC SAZU, 423 str.

Zorn M., Mikoš M. 2010. Meritve površinske erozije tal v gozdu slovenske Istre. *Gozdarski vestnik*, 68: 361-381

Zupanc V., Mikoš M. 2000. Protierozijski ukrepi na kmetijskih površinah. *Sodobno kmetijstvo*, 33/11-12: 489–493

Zupanc V. 2003. Določevanje potreb po namakanju v Vipavski dolini za breskve in nektarine ob spremenjeni vodni bilanci tal, doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za agronomijo). Ljubljana, samozal.: 121 str.

ZAHVALA

- Mentorju prof dr. Vrhovšek Danijelu in somentorju doc. dr. Glavan Matjažu za strokovno podporo in številne napotke pri izdelavi naloge;
- Tehnološki agenciji RS in podjetju Savaprojekt d.d. za pomoč pri financiranju projekta;
- Katedri za agrometeorologijo, urejanje kmetijskega prostora in ekonomiko ter razvoj podeželja za finančno podporo pri pridobivanju podatkov o tleh za vodozbirno območje akumulacije Ledavsko jezero v Sloveniji;
- Podjetju Limnos d.o.o. za pomoč pri razumevanju ekoremediacij in procesov v vodnih ekosistemih in tudi za posojlo merilnega instrumenta WTW;
- dr. Kobold Miri, dr. Petan Sašu iz Agencije RS za okolje za pomoč pri pridobivanju hidroloških podatkov in strokovni podpori;
- g. Vučko Tadeju, g. Zimi Andreju in g. Gomboc Franciju (VGP Mura d.o.o.) za prilagojeno upravljanje zapornice v času meritev, vzdrževanju merilnega mesta, pridobivanju podatkov o objektu in informacij na terenu;
- g. Lackner Franzu (Kundenservice Steiermark, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, ZAMG) za podnebne podatke meteorološki postaj v Avstriji;
- g. Wandl Michaelu in g. Pock Hannesu (Abteilung LW Bodenkartierung und Geoinformation Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft) za digitalne podatke o tleh Avstrije;
- ga. Schirgi Sylvii (GIS Steiermark), g. Pinter Michaelu (GIS Burgenland), občinam Cankova, Grad, Rogaševci in Kuzma za posredovane podatke o rabi prostora;
- ga. Trebušak Ireni (Geodetski zavod RS) za podatke o geološki sestavi tal vodozbirnega območja;
- Dešnik Stanki za vse podatke o Krajinskem parku Goričko in preteklih projektih, ki so se odvijali na vodozbirnem območju Ledavskega jezera in reke Ledave;
- Malačič Kristjanu in Domanjko Gregorju (Krajinski park Goričko) ter turistični kmetiji Ferenc za pomoč pri meritvah in hrambi vzorcev;
- Erico Velenje d.o.o. in Nacionalnemu laboratoriju za zdravje okolje in hrano Maribor za analizo vzorcev;
- dr. Mazej Grudnik Zdenki za prve napotke pri vzpostavljanju meritev na terenu;
- Podjetju MicroPolo d.o.o. za hitra popravila in dobavo sond ter vzdrževanje WTW instrumenta;
- dr. Cvejič Rozaliji in dr. Zupanc Vesni za 'polovico pisarne' in vzpodbudne nasvete v zaključnih mesecih pisanja.

Posebna zahvala je namenjena možu, otrokoma in mami za vso ljubezen, potrpežljivost in podporo.

PRILOGE

Priloga A: Razmerje med namensko rabo zemljišč v Avstriji (Flächenwidmung), dejansko rabo zemljišč v Sloveniji in razredi rabe v SWAT

Appendix A: Relations between landuse in Austria (Flächenwidmung), landuse in Slovenia and landuse classes in SWAT

FLÄCHENWIDMUNG	GERK razredi rabe zemljišč	SWAT razredi rabe
12011 – kmetijska površina	1100 – njiva 1190 – rastlinjak	AGRR – njiva vrstni posevki
	1101 – njiva z osuš. sistemi	AGRM - njiva z osuš. sistemi
	1211 – vinograd 1240 – ostali trajni nasadi	GRAP - vinograd
	1221 – intenzivni sadovnjak 1222 – ekstenzivni sadovnjak	ORCD - sadovnjak
12032, 12101, 12102, 12111, 12200, 12210, 12261, 12291, 12301 – parkovne, trajno ozelenjene površine	1300 – trajni travnik	FESC - travnik
	1301 – trajni travnik z osuš. sistemi	FESM – trajni travnik z osuš. sistemi
24001 - gozd	1410 – kmetijsko zemljišče v zaraščanju 1500 – drevesa in grmičevje 1600 – neobdelano kmetijsko zemljišče 1800 – kmetijsko zemljišče poraslo z gozdnim drevjem 2000 – gozd	FRST - gozd
10001 – 10008 – pozidana zemljišča 10011, 10012 – komunalno opremljena zemljišča 11001, 11002, 20003, 20004 – prometne površine 12211, 12221, 12231 – športna igrišča 12511, 12520, 13023, 13027, 13105, 13116, 13301, 13601 – kmetijsko-gospodarska poslopja in pripadajoče površine	3000 – pozidano in sorodno zemljišče	URMD – urbano srednja gostota
	4210 – trstičje 4220 – ostalo zamočvirjeno zemljišče	WETL - mokrišče
21001 – voda 13801 – ribogojni ribniki	7000 - voda	WATR - voda

Priloga B: Koledar opravil in tehnologije pridelovanja za njive (AGRR)
Appendix B: Calendar of farm operations (AGRR)

Year	Crop	Date	Operation	Operation type	Amount of fertiliser (N:P:K)	
1	red clover	9-Apr	End of growing	leftover plough into ground		
	maize corn	10-Apr	Fertilisation	cattle compost 15t	75:75:60	
		11-Apr	Tillage	tillage (25cm) 02GP25		
		12-Apr	pre-sow	field cultivator (15cm) 01FC15		
		14-Apr	sow			
		14-Apr	fertiliser use at sow	300kg/ha (7:20:30)	20:60:90	
		5-May	additional fertilisation	urea 150kg/ha (46)	69	
		11-Oct	harvest and kill	stubble left on the field		
	wheat	12-Oct	Tillage	tillage (25cm) 02GP25		
		13-Oct	pre-sow	field cultivator (15cm) 01FC15		
		14-Oct	sow			
		16-Oct	basic fertilisation	400 kg/ha (7:20:30)	28:80:120	
		2	7-Mar	1. fertilisation	KAN 150kg/ha (27)	40,5
			7-Apr	2. fertilisation	KAN 150kg/ha (27)	40,5
7-May			3. fertilisation	KAN 150kg/ha (27)	40,5	
15-Jul	harvest and kill		stubble left on the field			
oilseed rape	23-Aug		tillage	tillage (25cm) 02GP25		
	24-Aug		pre-sow	field cultivator (15cm) 01FC15		
	25-Aug		sow			
	25-Aug	basic fertilisation	500 kg/ha (7:20:30)	35:100:150		
3		28-Feb	1. fertilisation	KAN 300kg/ha (27)	81	
		2-Apr	2. fertilisation	KAN 250 kg/ha (27)	67,5	
		10-Jul	harvest and kill			
	red clover	25-Aug	sow			
4	corn silage	19-Apr	End of growing	leftover plough into ground		
		10-Apr	Fertilisation	cattle compost 15t	75:75:60	
		11-Apr	Tillage	tillage (25cm) 02GP25		
		12-Apr	pre-sow	field cultivator (15cm) 01FC15		
		14-Apr	sow			
		14-Apr	fertiliser use at sow	200kg/ha (7:20:30)	14:40:60	
		5-May	1. fertilisation	KAN 200 kg/ha (27)	56	
		5-Jun	2. fertilisation	urea 170kg/ha (46)	78	
		5-Oct	harvest and kill	no left over		
	barley	6-Oct	Tillage	tillage (25cm) 02GP25		
		7-Oct	pre-sow	field cultivator (15cm) 01FC15		
		8-Oct	sow			
		10-Oct	basic fertilisation	200 kg/ha (7:20:30)	28:80:120	
		5	3-Mar	1. fertilisation	KAN 150kg/ha (27)	40,5
3-Apr			2. fertilisation	KAN 150kg/ha (27)	40,5	
3-May			3. fertilisation	KAN 150kg/ha (27)	40,5	
2-Jul	harvest and kill		stubble left on the field			

se nadaljuje....

....nadaljevanje

6	oil pumpkin	15-Apr	finishing harrow	finishing harrow (15cm) 03FH15	
		30-Apr	basic fertilisation	400 kg/ha (15:15:15)	60:60:60
		30-Apr	sow		
		20-May	fertilisation	KAN 150 kg/ha (27)	40,5
		10-Jun	cultiweeder	cultiweeder (10cm) (Cltwed36ft)	
		5-Sep	end of growing	leftover plough into ground	
	wheat	12-Oct	Tillage	tillage (25cm) 02GP25	
		13-Oct	pre-sow	field cultivator (15cm) 01FC15	
		14-Oct	sow		
		16-Oct	basic fertilisation	400 kg/ha (7:20:30)	28:80:120
		7-Mar	1. fertilisation	KAN 150kg/ha (27)	40,5
		7-Apr	2. fertilisation	KAN 150kg/ha (27)	40,5
		7-May	3. fertilisation	KAN 150kg/ha (27)	40,5
15-Jul		harvest and kill	stubble left on the field		
7	red clover	25-Aug	sow		

Priloga C: Podatki o tleh za novo karto tal v SWAT/ Appendix C: Soil data for the new SWAT map

MUID	SNAM	NLAYERS	HYDGRP	SOL_ZMX	ANION_EXCL	SOL_CRK	TEXTURE	SOL_ZI	SOL_BDI	DL_AWC1	SOL_KI	SOL_CBN1	CLAY1	SILT1	SAND1	ROCK1	SOL_ALB1	USLE_KI	SOL_EC1
87022	087022A	3	B	750	0,5	0,5	MG-MI	200	1,37	0,18	12,19	1,69	21	63	16	0	0,16	0,24	0
87029	087029A	3	B	900	0,5	0,5	PI-MI-I	250	1,54	0,14	3,37	1,51	25	50	25	10	0,16	0,14	0
103011	0103011A	4	D	600	0,5	0,5	MG	300	1,23	0,19	14,55	2,21	23	66	11	0	0,09	0,22	0
103012	0103012A	3	C	1000	0,5	0,5	MG-IP	300	1,46	0,16	9,25	0,93	19	56	25	0	0,16	0,20	0
103013	0103013A	5	C	700	0,5	0,5	MG-PI-IP-MI	250	1,5	0,16	11,57	0,81	15	58	27	0	0,16	0,15	0
103014	0103014A	4	D	850	0,5	0,5	MI-I	150	1,15	0,15	9,95	2,67	41	56	3	0	0,23	0,35	0
103015	0103015A	4	D	1000	0,5	0,5	PI-MI	50	1,2	0,17	23,25	2,91	21	52	27	0	0,16	0,14	0
103016	0103016A	4	D	800	0,5	0,5	MI-MG	100	0,97	0,16	27,27	7,91	37	58	5	0	0,16	0,32	0
103017	0103017A	3	D	500	0,5	0,5	MG-MI	100	0,88	0,22	52,78	5,12	21	66	13	0	0,09	0,27	0
103018	0103018A	4	D	700	0,5	0,5	PI-I	100	1,28	0,17	25,42	2,33	16	53	31	0	0,16	0,14	0
103019	0103019A	3	C	500	0,5	0,5	IP-P	250	1,56	0,12	15,58	1,16	14	42	44	10	0,16	0,14	0
103020	0103020A	4	B	1000	0,5	0,5	MGI-IP	200	1,43	0,16	25,37	1,34	10	56	34	0	0,16	0,19	0
103021	0103021A	4	C	1200	0,5	0,5	PI-IP	200	1,55	0,11	9,19	0,76	21	33	46	10	0,16	0,17	0
103022	0103022A	3	B	1500	0,5	0,5	IP-PI-P	200	1,63	0,1	15,45	1,51	14	35	51	15	0,09	0,14	0
103023	0103023A	3	B	400	0,5	0,5	IP	200	1,63	0,11	13,2	1,80	14	41	45	15	0,09	0,14	0
103024	0103024A	4	B	1700	0,5	0,5	PI-I	150	1,53	0,14	9,92	1,28	20	43	37	0	0,16	0,18	0
103025	0103025A	3	B	1700	0,5	0,5	PI-IP	250	1,58	0,13	6,75	1,34	21	42	37	10	0,09	0,13	0
103026	0103026A	3	B	600	0,5	0,5	MGI-MG-PI	250	1,44	0,18	14,9	1,16	14	62	24	0	0,16	0,22	0
103027	0103027A	3	C	1200	0,5	0,5	PI-MI	150	1,54	0,14	5,59	1,28	24	42	34	5	0,16	0,13	0
103028	0103028A	4	B	800	0,5	0,5	PI-I-PI	200	1,42	0,15	11,08	1,34	22	46	32	0	0,16	0,14	0
103029	0103029A	3	B	500	0,5	0,5	IP-PI	200	1,38	0,16	27,15	1,74	13	50	37	0	0,16	0,14	0
103030	0103030A	4	B	1800	0,5	0,5	MG-I	150	1,35	0,2	10,88	1,45	19	70	11	5	0,16	0,23	0
103031	0103031A	3	B	550	0,5	0,5	MGI-MI	200	1,45	0,18	19,79	1,16	11	61	28	5	0,16	0,16	0
103032	0103032A	3	B	1000	0,5	0,5	I-GI-I	200	1,35	0,16	6,19	1,45	31	50	19	0	0,16	0,15	0
103032	0103032A	3	B	1800	0,5	0,5	PI-I	250	1,41	0,16	13,4	1,45	20	49	31	5	0,16	0,14	0
103033	0103033A	4	B	500	0,5	0,5	MG-MI	200	1,41	0,19	18,29	1,34	12	65	23	0	0,16	0,17	0
103035	0103035A	3	B	1000	0,5	0,5	MGI-PI-I	250	1,52	0,16	12,72	0,70	14	57	29	0	0,16	0,15	0
103036	0103036A	2	B	250	0,5	0,5	MG-MI	250	1,31	0,2	18,25	1,86	16	66	18	0	0,16	0,18	0
103037	0103037A	4	C	650	0,5	0,5	I-G-GI	250	1,33	0,16	5,49	1,40	33	52	15	5	0,16	0,16	0
103038	0103038A	3	C	400	0,5	0,5	GI-G	200	1,26	0,15	4,63	1,63	42	49	9	5	0,09	0,24	0
103039	0103039A	2	C	400	0,5	0,5	MG-MI	250	1,27	0,2	11,02	1,80	24	68	8	0	0,16	0,24	0
103040	0103040A	3	A	700	0,5	0,5	PI-IP	200	1,52	0,12	11,12	0,81	21	35	44	0	0,16	0,13	0
103041	0103041A	3	C	500	0,5	0,5	MI-I-GI	250	1,41	0,16	4,94	0,93	29	52	19	0	0,16	0,15	0
103042	0103042A	2	C	1000	0,5	0,5	MG-MI	250	1,44	0,18	11,49	1,10	17	61	22	0	0,16	0,16	0
103042	0103042A	2	C	500	0,5	0,5	I-MG	200	2,33	0,15	3,7	1,05	37	51	12	0	0,16	0,17	0
103043	0103043A	3	C	1000	0,5	0,5	PI-I	150	1,39	0,16	10,9	1,51	23	49	28	0	0,09	0,14	0
103043	0103043A	3	D	1000	0,5	0,5	MG-MI	200	1,45	0,17	7,34	0,87	22	56	22	0	0,16	0,15	0
103045	0103045A	2	C	800	0,5	0,5	I-IP	550	1,47	0,14	4,6	0,70	29	40	31	0	0,16	0,13	0
103047	0103047A	4	B	800	0,5	0,5	I-MI	250	1,31	0,14	5,68	2,09	36	39	25	5	0,09	0,13	0
103048	0103048A	4	B	1000	0,5	0,5	PI	150	1,44	0,13	18,77	1,74	19	37	44	5	0,16	0,13	0
125019	0125019A	4	B	1000	0,5	0,5	IP-PI-MI	250	1,55	0,12	16,91	1,22	14	41	45	5	0,16	0,18	0
125020	0125020A	3	B	800	0,5	0,5	MG-PI-I	250	1,33	0,18	13,84	1,74	21	58	21	0	0,16	0,16	0
125021	0125021A	3	B	600	0,5	0,5	MG-MI-IP	200	1,22	0,19	15,45	2,33	24	63	13	0	0,16	0,20	0
125022	0125022A	3	C	1000	0,5	0,5	PI-MG-IP	100	1,03	0,19	41,39	4,07	20	55	25	5	0,16	0,15	0
125023	0125023A	4	D	800	0,5	0,5	MG-MI-I	50	1,17	0,22	26,92	2,56	15	74	11	0	0,16	0,24	0

se nadaljuje...

... nadaljevanje priloge C

MUID	SNAM	NLAYERS	HYDGRP	SOL_ZMX	ANION_EXCL	SOL_CRK	TEXTURE	SOL_ZI	SOL_BDI	DL_AWC1	SOL_KI	SOL_CBNI	CLAYI	SILT1	SAND1	ROCK1	SOL_ALB1	USLE_KI	SOL_EC1
125024	0125024A	3	D	500	0,5	0,5	MI-GI	100	0,98	0,2	31,41	3,95	28	66	6	0	0,16	0,25	0
125025	0125025A	3	B	550	0,5	0,5	PI	50	1,26	0,17	22,29	2,56	20	49	31	0	0,09	0,14	0
125026	0125026A	3	B	500	0,5	0,5	IP	200	1,53	0,12	13,94	0,76	12	52	36	30	0,16	0,14	0
125026	0125026A	4	B	700	0,5	0,5	MGI-MG-PI	200	1,48	0,14	13,91	0,99	12	57	31	15	0,09	0,20	0
125027	0125027A	4	B	1100	0,5	0,5	PI-I	200	1,54	0,09	7,94	0,64	15	48	37	5	0,16	0,19	0
125028	0125028A	3	B	1100	0,5	0,5	IP-PI	200	1,56	0,07	20,95	0,64	14	23	63	30	0,16	0,13	0
125029	0125029A	3	B	1000	0,5	0,5	PI-IP	150	1,44	0,12	10,91	1,28	19	45	36	0	0,09	0,14	0
125030	0125030A	4	B	1000	0,5	0,5	PI-I-IP	200	1,46	0,11	12	1,28	19	38	43	15	0,16	0,13	0
125031	0125031A	3	B	550	0,5	0,5	MG-PI	250	1,38	0,17	10,67	1,45	22	56	22	5	0,16	0,15	0
125032	0125032A	3	B	750	0,5	0,5	PI-I	300	1,51	0,13	15,21	0,93	18	37	45	0	0,09	0,13	0
125033	0125033A	2	B	1000	0,5	0,5	IP-PI	300	1,45	0,14	24,52	1,40	14	42	44	5	0,09	0,14	0
125034	0125034A	2	A	750	0,5	0,5	IP	250	1,45	0,14	30,14	1,34	11	45	44	5	0,09	0,14	0
125034	0125034A	3	B	800	0,5	0,5	MI-MG	50	0,89	0,21	43,94	4,48	26	69	5	0	0,09	0,27	0
125035	0125035A	3	B	700	0,5	0,5	PI	300	1,44	0,14	20,84	1,45	16	42	42	5	0,09	0,14	0
125035	0125035A	2	C	400	0,5	0,5	I	300	1,41	0,16	5,43	0,99	29	49	22	0	0,16	0,14	0
125036	0125036A	3	B	700	0,5	0,5	PI-GI	250	1,5	0,15	17,1	0,93	15	48	37	5	0,16	0,14	0
125037	0125037A	3	B	800	0,5	0,5	MG-MI	250	1,47	0,18	9,89	0,87	18	59	23	5	0,16	0,16	0
125038	0125038A	3	C	650	0,5	0,5	I-GI-G	250	1,36	0,16	6,79	1,45	30	49	21	0	0,16	0,14	0
125042	0125042A	2	B	400	0,5	0,5	MG-MI	300	1,45	0,19	7,75	0,87	20	63	17	5	0,16	0,18	0
125043	0125043A	3	B	1000	0,5	0,5	PI-MG	250	1,53	0,16	12,48	0,64	16	51	33	5	0,195	0,14	0
125044	0125044A	2	A	1000	0,5	0,5	PI-P	200	1,56	0,11	18,18	0,64	17	30	53	0	0,16	0,13	0
125045	0125045A	2	B	450	0,5	0,5	MI-G	300	1,34	0,19	8,85	1,45	25	61	14	0	0,16	0,24	0
125046	0125046A	2	B	300	0,5	0,5	PI-I	200	1,5	0,14	8,3	0,76	23	42	35	0	0,16	0,13	0
125046	0125046A	2	C	300	0,5	0,5	I-MG	150	1,33	0,16	3,85	1,05	37	51	12	0	0,16	0,17	0
125047	0125047A	2	C	400	0,5	0,5	I-MI	200	1,41	0,16	5,63	1,05	29	49	22	0	0,16	0,14	0
125047	0125047A	3	D	700	0,5	0,5	MG-PI-MGI	150	1,21	0,19	25,57	2,67	19	57	24	5	0,16	0,15	0
125047	0125047A	4	C	900	0,5	0,5	IP-PI	150	1,59	0,1	27,88	1,86	10	34	56	15	0,09	0,14	0
200	000200A	4	C	400	0,5	0,5	I-PG	50	1,31	0,14	16,87	5,2	25	30	45	5	0,16	0,13	0
432	0432SLO	3	C	700	0,5	0,5	I-MI	280	1,47	0,15	12,06	1,8	30	35	35	0	0,23	0,13	0
528	0528SLO	4	B	600	0,5	0,5	MI	210	1,3	0,21	18,45	3,2	15	69	16	0	0,23	0,20	0
553	0553SLO	4	B	500	0,5	0,5	MI-GI-MI	370	1,52	0,19	7,43	0,98	15,8	66,4	17,8	0	0,23	0,23	0
1412	01412SLO	4	C	400	0,5	0,5	I-GI	220	1,51	0,15	7,54	1,04	21,5	47,9	30,6	5	0,09	0,17	0
1131	01131SLO	5	B	1100	0,5	0,5	PI-PG-G	200	1,52	0,1	29,16	1,74	13,7	27,1	59,2	30	0,09	0,14	0
1414	01414SLO	5	B	1100	0,5	0,5	PI-PGI-G-MI	200	1,52	0,1	27,03	1,74	13,7	27,1	59,2	30	0,09	0,14	0
1411	01411SLO	3	B	300	0,5	0,5	I-PI-IP	280	1,54	0,12	19,16	1,27	16	33,4	50,6	2	0,23	0,15	0
1410	01410SLO	4	C	400	0,5	0,5	I-PG	50	1,31	0,14	16,87	5,2	25	30	45	5	0,16	0,13	0
1409	01409SLO	3	B	300	0,5	0,5	I-PI-IP	280	1,54	0,06	7,9	1,27	16	33,4	50,6	2	0,23	0,15	0
1408	01408SLO	3	B	300	0,5	0,5	I-PI-IP	280	1,54	0,12	19,75	1,27	16	33,4	50,6	2	0,23	0,15	0
1051	01051SLO	4	B	600	0,5	0,5	MI	210	1,3	0,21	19,45	3,2	15	69	16	0	0,23	0,20	0
1053	01053SLO	4	B	500	0,5	0,5	MI-MGI-GI	250	1,48	0,19	9,38	1,4	16	66	18	0	0,23	0,20	0
1415	01415SLO	5	C	1000	0,5	0,5	I-PGI-G	240	1,54	0,13	22,67	1,2	13,3	39,4	47,3	0	0,16	0,16	0
1416	01416SLO	5	C	1000	0,5	0,5	I-PGI-GI-G	240	1,54	0,13	22,67	1,2	13,3	39,4	47,3	0	0,16	0,16	0
1328	01328SLO	4	B	500	0,5	0,5	I-GI-MG	250	1,59	0,13	6,78	1,2	20	45	35	5	0,09	0,16	0
1037	01037SLO	4	B	500	0,5	0,5	I-GI	250	1,58	0,14	7,02	1,2	20	45	35	5	0,16	0,16	0
567	0567SLO	5	D	400	0,5	0,5	MI-GI-G	200	1,3	0,09	5,81	3,7	24,2	50,9	24,9	0	0,16	0,14	0

... se nadaljuje

Ojsteršek Zorčič P., Izbira in umeščanje ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacijskih jezer.

Dokt. Disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 2015

... nadaljevanje priloge C

SNAM	SOL_Z2	SOL_BD2	SOL_AWC2	SOL_K2	SOL_CBN2	CLAY2	SILT2	SAND2	ROCK2	SOL_ALB2	USLE_K2	SOL_EC2	SOL_Z3	SOL_BD3	SOL_AWC3	SOL_K3	SOL_CBN3	CLAY3	SILT3	SAND3	ROCK3	SOL_ALB3	USLE_K3	SOL_EC3
087022A	500	1,42	0,17	2,64	0,35	32	60	8	0	0,23	0,22	0	2000	1,43	0,18	2,16	0,17	32	62	6	0	0,23	0,24	0
087029A	700	1,35	0,16	8,23	0,35	26	55	19	0	0,16	0,16	0	2000	1,3	0,15	5,24	0,29	35	52	13	0	0,23	0,17	0
0103011A	600	1,45	0,18	3,22	0,47	25	68	7	0	0,23	0,25	0	800	1,45	0,18	3,22	0,47	25	68	7	0	0,23	0,25	0
0103012A	550	1,6	0,12	15,34	0,23	13	44	43	0	0,23	0,14	0	2000	1,62	0,12	19,25	0,17	11	43	46	0	0,23	0,14	0
0103013A	500	1,55	0,14	8,64	0,41	18	49	33	0	0,23	0,14	0	700	1,6	0,08	38,21	0,23	10	22	68	0	0	0,13	0
0103014A	700	1,31	0,16	3,63	0,93	37	59	4	0	0,23	0,26	0	850	1,39	0,16	3,22	0,70	33	55	12	0	0	0,18	0
0103015A	350	1,44	0,16	8,25	1,05	22	53	25	0	0,23	0,15	0	1000	1,31	0,16	3,34	0,87	38	57	5	0	0,23	0,24	0
0103016A	450	0,95	0,17	29,84	1,05	37	61	2	0	0,23	0,29	0	800	1,41	0,18	3,28	0,58	27	69	4	0	0,23	0,28	0
0103017A	300	1,17	0,17	14,9	2,79	29	70	1	0	0,16	0,32	0	2000	1,09	0,18	17,37	3,14	33	64	3	0	0,16	0,28	0
0103018A	350	1,47	0,15	10,74	0,99	19	50	31	0	0,23	0,14	0	700	1,46	0,15	4,01	0,58	28	50	22	0	0,16	0,14	0
0103019A	500	1,57	0,13	13,8	0,41	15	43	42	10	0,23	0,14	0	2000	1,61	0,18	3,81	0,00	1	7	92	0	0,3	0,07	0
0103020A	500	1,59	0,14	16,76	0,35	11	50	39	0	0,16	0,14	0	1000	1,6	0,13	18,79	0,29	10	49	41	0	0,23	0,14	0
0103021A	450	1,59	0,12	8,76	0,17	20	36	44	0	0,23	0,13	0	600	1,63	0,11	15,3	0,06	15	34	51	0	0,23	0,13	0
0103022A	450	1,59	0,11	16,94	0,35	17	29	54	0	0,16	0,13	0	2000	1,58	0,06	112,7	0,06	3	18	79	0	0,23	0,11	0
0103023A	400	1,54	0,12	9,95	0,58	20	36	44	55	0,23	0,13	0	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	50	0,23	0,00	0
0103024A	350	1,52	0,14	6,34	0,47	24	43	33	0	0,16	0,13	0	550	1,53	0,14	4,32	0,23	27	41	32	0	0,16	0,13	0
0103025A	1000	1,62	0,12	21,57	0,17	10	43	47	15	0,09	0,14	0	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	0	-0,12	0,00	0
0103026A	600	1,51	0,17	4,95	0,41	21	61	18	0	0,23	0,17	0	2000	1,55	0,16	5,85	0,29	20	55	25	0	0,16	0,15	0
0103027A	450	1,54	0,13	5,28	0,70	25	40	35	5	0,16	0,13	0	2000	1,43	0,17	2,07	0,17	32	62	6	0	0,23	0,24	0
0103028A	350	1,48	0,15	7,2	0,76	23	48	29	0	0,16	0,14	0	700	1,49	0,15	4,83	0,52	26	48	26	0	0,23	0,14	0
0103029A	500	1,56	0,14	14,12	0,52	15	46	39	0	0,16	0,14	0	2000	1,59	0,12	13,04	0,29	17	37	46	0	0,23	0,13	0
0103030A	350	1,34	0,19	9,54	0,64	22	67	11	0	0,16	0,22	0	650	1,48	0,19	3,23	0,35	23	69	8	0	0,23	0,25	0
0103031A	550	1,54	0,18	4,79	0,29	19	64	17	5	0,16	0,18	0	2000	1,5	0,18	2,48	0,12	26	63	11	0	0,3	0,21	0
0103032A	550	1,3	0,13	1,32	0,29	50	38	12	0	0,23	0,14	0	2000	1,44	0,15	1,9	0,12	35	51	14	0	0,23	0,16	0
0103032A	500	1,49	0,15	4,75	0,52	26	49	25	5	0,23	0,14	0	2000	1,42	0,14	1,99	0,29	37	44	19	0	0,23	0,14	0
0103033A	300	1,5	0,18	13,05	0,81	13	62	25	0	0,16	0,16	0	500	1,5	0,17	3,66	0,29	25	57	18	0	0,23	0,16	0
0103035A	700	1,5	0,16	6,78	0,58	21	54	25	0	0,16	0,15	0	2000	1,44	0,16	3,44	0,52	30	52	18	0	0,23	0,15	0
0103036A	2000	1,43	0,17	2,64	0,35	31	59	10	0	0,23	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103037A	400	1,43	0,15	2,81	0,47	33	50	17	0	0,16	0,15	0	650	1,28	0,13	1,26	0,23	52	37	11	0	0,16	0,14	0
0103038A	300	1,2	0,12	1,36	0,35	59	33	8	0	0,23	0,15	0	2000	1,19	0,11	1,63	0,41	64	30	6	0	0,16	0,16	0
0103039A	2000	1,46	0,19	2,05	0,17	27	71	2	0	0,23	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103040A	350	1,63	0,1	27,49	0,06	11	31	58	0	0,3	0,14	0	2000	1,63	0,08	49,72	0,00	7	26	67	0	0,3	0,14	0
0103041A	400	1,38	0,15	1,8	0,23	40	49	11	0	0,23	0,17	0	2000	1,29	0,14	1,44	0,06	49	44	7	0	0,23	0,19	0
0103042A	2000	1,46	0,14	2,04	0,17	35	64	1	0	0,23	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103042A	2000	1,48	0,2	2,36	0,23	24	73	3	0	0,23	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103043A	600	1,49	0,15	5,54	0,58	25	47	28	0	0,16	0,14	0	2000	1,49	0,15	4,64	0,47	26	48	26	0	0,16	0,14	0
0103043A	400	1,57	0,17	5,45	0,17	18	60	22	0	0,23	0,16	0	2000	1,41	0,14	1,39	0,17	41	58	1	0	0,23	0,30	0
0103045A	2000	1,62	0,09	29,45	0,12	11	29	60	0	0,2	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103047A	500	1,42	0,16	3,22	0,58	32	52	16	5	0,09	0,16	0	850	1,36	0,17	4,22	0,93	32	57	11	5	0,02	0,19	0
0103048A	700	1,57	0,12	7,08	0,29	22	36	42	15	0,16	0,13	0	1000	1,54	0,12	10,85	0,64	19	38	43	5	0,09	0,13	0
0125019A	450	1,6	0,13	8,47	0,12	16	49	35	5	0,16	0,14	0	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125020A	600	1,45	0,16	7,14	0,87	23	53	24	5	0,23	0,15	0	2000	1,37	0,16	2,99	0,70	36	52	12	0	0,23	0,17	0
0125021A	600	1,32	0,16	3,22	0,76	38	58	4	0	0,23	0,25	0	2000	1,54	0,08	26,9	0,41	11	28	61	30	0,16	0,13	0
0125022A	400	1,42	0,17	6,33	0,93	24	59	17	0	0,23	0,17	0	2000	1,61	0,11	18,13	0,23	14	36	50	0	0,23	0,14	0
0125023A	300	1,44	0,19	8,03	0,93	18	68	14	0	0,23	0,21	0	800	1,34	0,17	3,4	0,76	35	60	5	0	0,23	0,25	0

se nadaljuje...

Ojsteršek Zorčič P., Izbira in umeščanje ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacijskih jezer.

Dokt. Disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 2015

... nadaljevanje priloge C

SNAM	SOL_Z2	SOL_BD2	SOL_AWC2	SOL_K2	SOL_CBN2	CLAY2	SILT2	SAND2	ROCK2	SOL_ALB2	USLE_K2	SOL_EC2	SOL_Z3	SOL_BD3	SOL_AWC3	SOL_K3	SOL_CBN3	CLAY3	SILT3	SAND3	ROCK3	SOL_ALB3	USLE_K3	SOL_EC3
0125024A	500	1,33	0,27	3,03	0,64	37	61	2	0	0,23	0,29	0	2000	1,26	0,14	2,85	0,76	46	51	3	0		0,25	0
0125025A	550	1,5	0,14	8,02	0,70	22	45	33	0	0,09	0,14	0	2000	1,53	0,14	5,62	0,47	25	42	33	5	0,23	0,13	0
0125026A	350	1,64	0,11	9,49	0,00	13	48	39	50	0,16	0,14	0	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	50	0	0,00	0
0125026A	450	1,56	0,14	2,39	0,00	21	63	16	30	0,16	0,18	0	700	1,55	0,11	1,55	0,00	22	64	14	50	0,3	0,19	0
0125027A	500	1,59	0,08	4,94	0,17	20	37	43	5	0,23	0,13	0	700	1,53	0,09	3	0,35	25	41	34	5	0,09	0,13	0
0125028A	450	1,62	0,08	6,91	0,00	22	24	54	50	0,23	0,12	0	2000	1,59	0,11	4,62	0,00	22	40	38	50	0,23	0,13	0
0125029A	450	1,56	0,1	9,81	0,52	18	37	45	0	0,16	0,13	0	2000	1,59	0,07	35,05	0,29	8	26	66	0	0,23	0,14	0
0125030A	400	1,53	0,11	5,32	0,52	24	37	39	15	0,16	0,13	0	600	1,55	0,1	4,65	0,41	26	29	45	15	0,23	0,12	0
0125031A	550	1,52	0,16	3,3	0,17	25	57	18	0	0,16	0,16	0	2000	1,61	0,14	7,87	0,06	17	50	33	0	0,23	0,14	0
0125032A	700	1,53	0,13	5,64	0,41	25	40	35	0	0,09	0,13	0	2000	1,5	0,14	2,71	0,17	31	43	26	0	0,16	0,13	0
0125033A	2000	1,53	0,13	13,03	0,70	18	40	42	5	0,16	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125034A	2000	1,6	0,12	17,56	0,29	14	38	48	5	0,23	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125034A	600	1,37	0,19	5,28	0,99	26	69	5	0	0,23	0,27	0	2000	1,48	0,18	8,33	0,76	18	61	21	0	0,23	0,16	0
0125035A	700	1,55	0,12	18,05	0,64	15	38	47	5	0,16	0,14	0	2000	1,54	0,13	13,44	0,64	17	42	41	5	0,16	0,14	0
0125035A	2000	1,39	0,16	2,25	0,29	36	55	9	0	0,23	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125036A	600	1,51	0,16	6,8	0,52	21	54	25	5	0,16	0,15	0	2000	1,4	0,14	1,38	0,12	42	39	19	5		0,13	0
0125037A	550	1,57	0,17	4,35	0,06	21	57	22	5	0,16	0,15	0	2000	1,51	0,17	2,4	0,00	27	59	14	5		0,18	0
0125038A	600	1,28	0,14	2,02	0,35	48	47	5	0	0,23	0,21	0	2000	1,27	0,14	2,07	0,23	61	37	2	0	0,23	0,23	0
0125042A	2000	1,51	0,17	3,54	0,23	25	58	17	0	0,3	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125043A	400	1,6	0,16	5,53	0,00	18	57	25	15	0,23	0,15	0	2000	1,54	0,19	2,39	0,00	22	69	9	15	0,23	0,24	0
0125044A	2000	1,6	0,18	4,18	0,00	1	7	92	0	0,3	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125045A	2000	1,27	0,13	1,56	0,23	51	41	8	0	0,23	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125046A	2000	1,54	0,15	3,17	0,00	27	48	25	0	0,23	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125046A	2000	1,48	0,2	2,46	0,23	24	73	3	0	0,23	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125047A	2000	1,47	0,15	2,4	0,17	33	66	1	0	0,23	0,32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125047A	700	1,49	0,15	6,65	0,64	24	46	30	5	0,23	0,14	0	2000	1,56	0,21	6,09	0,35	13	74	13	0	0,23	0,23	0
0125047A	700	1,51	0,09	22,25	1,10	16	24	60	15	0,16	0,13	0	900	1,58	0,09	16,18	0,47	17	26	57	15	0,16	0,13	0
000200A	190	1,39	0,1	3,64	1,8	35	15	50	15	0,3	0,11	0	430	1,36	0,06	1,73	1	37	20	43	50	0,3	0,13	0
0432SLO	420	1,49	0,16	9,42	1,3	20	50	30	0	0,23	0,16	0	810	1,58	0,17	8,01	0,4	15	60	25	0	0,23	0,21	0
0528SLO	410	1,49	0,19	4,17	0,7	22	66	12	0	0,3	0,27	0	620	1,54	0,19	4,21	0,4	20	65	15	0	0,3	0,25	0
0553SLO	560	1,49	0,18	3,38	0,6	24,1	62,3	13,6	0	0,3	0,25	0	800	1,47	0,17	2,72	0,4	29,6	55,9	14,5	0	0,3	0,23	0
01412SLO	370	1,64	0,15	2,92	0,64	32,1	44,4	23,5	2	0,23	0,17	0	550	1,5	0,15	2,72	0,2	30,6	43,9	25,5	5	0,3	0,18	0
01131SLO	480	1,57	0,1	16,2	0,95	19,1	23	57,9	50	0,3	0,15	0	720	1,57	0,11	9,77	0,8	22,8	24,8	52,4	60	0,3	0,16	0
01414SLO	480	1,57	0,05	6,58	0,95	19,1	23	57,9	50	0,3	0,15	0	720	1,57	0,8	3,91	0,8	22,8	24,8	52,4	60	0,3	0,16	0
01411SLO	740	1,6	0,09	27,99	0,6	12,8	24,8	62,4	2	0,3	0,17	0	1100	1,58	0,05	82,66	0,1	5,7	10,8	83,5	0	0,23	0,12	0
01410SLO	190	1,39	0,1	3,64	1,8	35	15	50	15	0,3	0,11	0	430	1,36	0,06	1,73	1	37	20	43	50	0,3	0,13	0
01409SLO	740	1,6	0,05	11,54	0,6	12,8	24,8	62,4	2	0,3	0,17	0	1100	1,55	0,05	86,27	0,1	5,7	10,8	83,5	0	0,23	0,12	0
01408SLO	740	1,6	0,09	28,84	0,6	12,8	24,8	62,4	2	0,3	0,17	0	1100	1,59	0,05	83,5	0,1	5,7	10,8	83,5	0	0,23	0,12	0
01051SLO	410	1,49	0,19	4,17	0,7	22	66	12	0	0,3	0,27	0	620	1,54	0,19	4,21	0,4	20	65	15	0	0,3	0,25	0
01053SLO	420	1,44	0,18	6,14	0,7	24	62	14	0	0,3	0,24	0	580	1,48	0,17	2,96	0,4	28	57	15	0	0,3	0,23	0
01415SLO	470	1,57	0,09	5,06	0,9	30,3	8,7	61	0	0,3	0,15	0	680	1,51	0,12	1,78	0,4	47	11,2	41,8	0	0,3	0,12	0
01416SLO	470	1,57	0,09	5,06	0,9	30,3	8,7	61	0	0,3	0,15	0	680	1,51	0,12	1,78	0,4	47	11,2	41,8	0	0,3	0,12	0
01328SLO	460	1,51	0,15	5,92	0,87	23	49	28	5	0,09	0,18	0	700	1,49	0,15	2,65	0,3	30	48	22	5	0,3	0,19	0
01037SLO	420	1,51	0,15	5,92	0,87	23	49	28	5	0,16	0,18	0	580	1,49	0,15	2,65	0,3	30	48	22	5	0,3	0,19	0
0567SLO	400	1,45	0,14	4,69	1,4	29,4	42	28,6	5	0,23	0,14	0	610	1,53	0,1	11,69	0,5	18,4	33,2	48,4	20	0,23	0,17	0

... se nadaljuje

... nadaljevanje priloge C

SNAM	SOL_Z4	SOL_BD4	SOL_AWC4	SOL_K4	SOL_CBN4	CLAY4	SILT4	SAND4	ROCK4	SOL_ALB4	USLE_K4	SOL_EC4	SOL_Z5	SOL_BD5	SOL_AWC5	SOL_K5	SOL_CBN5	CLAY5	SILT5	SAND5	ROCK5	SOL_ALB5	USLE_K5	SOL_EC5
087022A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
087029A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103011A	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,3	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103012A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103013A	1200	1,62	0,1	23,73	0,12	12	31	57	0	0	0,14	0	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0
0103014A	2000	1,43	0,16	6,43	0,99	25	52	23	0	0,16	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103015A	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103016A	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,23	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103017A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103018A	2000	1,51	0,14	2,91	0,17	29	46	25	0	0,23	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103019A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103020A	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103021A	2000	1,64	0,1	24,41	0,00	10	37	53	0	0,23	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103022A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103023A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103024A	2000	1,53	0,15	3,93	0,17	27	44	29	0	0	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103025A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103026A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103027A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103028A	2000	1,51	0,15	5,72	0,47	24	46	30	0	0,23	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103029A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103030A	2000	1,45	0,15	2,31	0,23	33	51	16	0	0,3	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103031A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103032A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103032A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103033A	2000	1,43	0,16	1,9	0,12	35	52	13	0	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103035A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103036A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103037A	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,23	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103038A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103039A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103040A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103041A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103042A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103042A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103043A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103043A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103045A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103047A	2000	1,4	0,16	2,22	0,29	35	56	9	5	0,16	0,20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0103048A	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,16	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125019A	2000	1,42	0,18	1,96	0,12	33	63	4	0	0,23	0,36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125020A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125021A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125022A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125023A	2000	1,3	0,16	3,89	1,10	39	54	7	0	0,09	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

se nadaljuje...

Ojsteršek Zorčič P., Izbira in umeščanje ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacijskih jezer.

Dokt. Disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 2015

... nadaljevanje priloge C

SNAM	SOL Z4	SOL BD4	SOL AWC4	SOL K4	SOL CBN4	CLAY4	SILT4	SAND4	ROCK4	SOL ALB4	USLE K4	SOL EC4	SOL Z5	SOL BD5	SOL AWC5	SOL K5	SOL CBN5	CLAY5	SILT5	SAND5	ROCK5	SOL ALB5	USLE K5	SOL EC5
0125024A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125025A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125026A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125026A	2000	0	0	0	0,00	0	0	0	50	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125027A	2000	1,56	0,08	2,51	0,12	26	38	36	5	0,16	0,13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125028A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125029A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125030A	2000	1,59	0,04	18,07	0,35	14	12	74	50	0,23	0,11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125031A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125032A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125033A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125034A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125034A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125035A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125035A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125036A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125037A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125038A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125042A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125043A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125044A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125045A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125046A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125046A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125047A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125047A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0125047A	2000	1,58	0,1	9,28	0,41	22	25	53	15	0,23	0,12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
000200A	640	1,54	0,06	0,91	0,4	35	17	48	25	0,3	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0432SLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0528SLO	890	1,53	0,18	3,58	0,3	23	61	16	0	0,23	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0553SLO	950	1,5	0,17	3,06	0,3	26,7	56,8	16,5	0	0,23	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01412SLO	800	1,52	0,15	3,26	0,2	28	47	25	5	0,3	0,18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01131SLO	910	1,38	0,13	1,03	0,3	47,6	30,3	22,1	2	0,23	0,15	0	1130	1,32	0,14	1,21	0	67,3	20,6	12,1	0	0,23	0,15	0
01414SLO	910	1,38	0,07	0,41	0,3	47,6	30,3	22,1	2	0,23	0,15	0	1130	1,54	0,09	1,04	0	67,3	20,6	12,1	0	0,23	0,15	0
01411SLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01410SLO	640	1,54	0,06	0,91	0,4	35	17	48	25	0,3	0,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01409SLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01408SLO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01051SLO	890	1,53	0,18	3,58	0,3	23	61	16	0	0,23	0,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01053SLO	700	1,51	0,17	3,36	0,3	25	58	17	0	0,3	0,22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01415SLO	1000	1,3	0,12	0,42	0,3	57,5	20	22,5	0	0,3	0,13	0	1180	1,21	0,12	1,29	0,2	66,3	25,7	8	0	0,23	0,18	0
01416SLO	1000	1,3	0,12	0,42	0,3	57,5	20	22,5	0	0,3	0,13	0	1180	1,22	0,12	1,31	0,2	66,3	25,7	8	0	0,23	0,18	0
01328SLO	1000	1,53	0,17	3,45	0,2	25	55	20	2	0,3	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01037SLO	750	1,52	0,16	3,52	0,2	25	55	20	2	0,3	0,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0567SLO	780	1,56	0,12	5,15	0,4	20,7	45,8	33,5	20	0,3	0,18	0	1100	1,54	0,16	4,61	0,2	21,9	56	22,1	2	0,23	0,20	0

Priloga D: Površine razredov rabe po naklonih in podpovodjih vodozbirnega območja Ledavskega jezera
Appendix D: Areas of landuse per slopes, subbasins of Ledavsko jezero watershed

RABA / NAKLON	PODPOREČJE																		POVRŠINA SKUPAJ (ha)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0-11	225,50	163,25	165,06	130,87	103,44	131,19	272,31	7,00	164,06	199,06	243,69	208,75	276,87	379,12	563,81	162,69	157,31	178,75	3732,75
AGRM	0,00	37,00	0,00	43,69	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	232,63	10,88	0,25	0,00	324,94
AGR	147,81	70,50	95,56	31,12	64,38	99,13	88,75	0,62	91,94	87,19	119,56	132,19	130,75	198,31	135,56	51,56	73,38	25,81	1644,12
FESC	10,25	5,56	13,81	3,69	10,63	7,25	62,31	1,81	30,69	44,00	54,69	39,56	57,75	71,44	52,25	55,13	42,44	17,31	580,56
FESM	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,81	2,13	0,50	0,00	31,69
FRST	33,25	22,19	32,62	42,44	11,94	9,44	85,56	2,94	21,94	38,62	43,38	15,69	45,87	75,00	63,69	13,94	30,81	42,56	631,87
GRAP	4,06	0,37	0,69	0,94	0,13	0,00	0,13	0,00	0,06	0,19	0,12	0,31	2,06	1,19	1,19	0,13	0,25	0,31	12,12
ORCD	3,94	3,06	0,56	0,56	1,50	0,13	4,56	0,19	4,69	5,75	6,06	4,69	9,25	8,38	11,50	3,19	2,00	4,75	74,75
URMD	23,50	19,31	18,75	6,38	11,88	13,12	29,69	1,38	14,56	22,87	19,00	15,56	30,69	24,75	36,63	8,06	7,56	6,88	310,56
WATR	2,69	5,00	3,06	2,06	2,50	2,12	0,88	0,06	0,19	0,44	0,87	0,75	0,50	0,06	1,56	1,06	0,00	70,25	94,06
WETL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,63	0,13	10,88	28,06
11-24	319,87	335,37	311,00	235,75	131,56	201,69	519,63	10,62	134,19	304,44	221,31	130,69	267,19	264,81	263,63	58,37	81,63	101,38	3893,13
AGRM	0,00	5,38	0,00	3,50	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63	0,00	0,00	0,00	11,19
AGR	153,25	163,37	136,00	76,06	61,62	127,88	75,50	1,69	48,25	103,69	80,63	71,19	85,94	73,50	108,19	29,94	14,06	29,88	1442,63
FESC	17,44	20,37	18,75	10,56	11,81	8,81	75,37	2,94	21,31	56,56	30,56	14,00	35,19	33,50	53,56	10,63	12,19	15,00	448,56
FESM	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06
FRST	92,37	90,87	119,81	120,56	42,44	48,06	338,19	4,56	49,19	112,63	93,56	33,94	113,37	133,31	66,06	9,69	50,31	40,81	1559,75
GRAP	15,63	3,56	3,94	3,56	0,56	0,00	0,88	0,13	0,13	1,12	0,31	0,81	2,25	3,06	4,44	1,13	0,75	1,88	44,12
ORCD	13,75	23,44	3,56	5,56	2,50	1,56	9,38	0,31	8,06	9,25	6,06	4,56	12,31	11,31	13,81	4,19	2,94	10,31	142,87
URMD	26,94	25,75	27,75	15,75	11,50	15,06	19,87	1,00	7,25	21,19	10,19	6,19	18,12	10,12	15,87	2,81	1,38	3,50	240,25
WATR	0,50	0,62	1,19	0,19	0,44	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,25
WETL	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
24-35	167,56	174,19	237,12	140,56	63,81	91,81	423,94	14,63	42,69	103,38	37,87	12,56	48,69	54,88	43,81	11,38	15,13	10,81	1694,81
AGRM	0,00	0,25	0,00	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,63
AGR	64,94	60,44	73,31	33,69	16,81	25,94	15,94	0,38	4,06	13,31	4,75	2,63	3,81	3,94	5,50	1,63	0,31	1,19	332,56
FESC	8,19	14,87	7,25	9,00	3,50	3,62	44,19	1,88	5,56	22,81	5,31	1,87	7,38	9,94	13,44	1,81	1,87	1,81	164,31
FRST	69,94	82,62	142,87	88,44	39,69	56,75	355,69	11,63	29,88	59,19	26,37	7,44	35,38	37,38	21,62	5,88	11,88	6,19	1088,81
GRAP	8,25	2,69	1,56	1,75	0,88	0,00	0,56	0,13	0,06	1,94	0,25	0,19	0,56	0,44	0,69	0,75	0,75	0,56	22,00
ORCD	7,25	6,69	0,94	1,00	0,06	0,06	3,62	0,19	1,88	2,50	1,00	0,31	1,13	2,63	1,81	1,06	0,31	1,00	33,44
URMD	8,81	6,25	10,81	5,00	2,69	5,31	3,94	0,44	1,25	3,62	0,19	0,13	0,44	0,56	0,75	0,25	0,00	0,06	50,50
WATR	0,19	0,38	0,37	0,31	0,19	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,56
35-50	112,37	98,31	156,69	96,56	44,75	43,06	187,06	18,12	10,31	34,38	4,75	0,75	10,75	5,50	8,00	0,37	1,19	0,75	833,69
AGRM	0,00	0,50	0,00	1,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,31
AGR	38,00	30,88	40,56	16,13	8,75	7,94	1,37	0,19	0,12	1,13	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	145,25
FESC	4,56	4,50	2,81	4,62	2,00	0,75	12,63	0,13	0,63	4,25	0,37	0,25	0,50	1,06	2,19	0,06	0,00	0,13	41,44
FRST	59,06	58,37	108,50	70,38	32,19	33,44	171,62	17,00	8,75	27,44	4,25	0,44	9,75	3,81	5,19	0,25	1,19	0,50	612,12
GRAP	3,88	0,31	0,12	0,31	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,44	0,00	0,00	0,25	0,00	0,31	0,00	0,00	0,06	5,94
ORCD	1,94	0,69	0,19	0,12	0,13	0,00	0,56	0,00	0,63	0,31	0,06	0,00	0,25	0,63	0,31	0,00	0,00	0,00	5,81
URMD	4,75	2,75	4,19	3,06	1,56	0,94	0,63	0,81	0,19	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	19,75
WATR	0,19	0,31	0,31	0,12	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06
50-9999	91,94	56,31	100,31	47,06	24,75	12,50	11,81	14,31	0,19	11,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,31	0,00	0,00	0,25	370,94
AGRM	0,00	0,25	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87
AGR	30,44	19,19	26,94	10,25	6,56	2,62	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,19
FESC	5,31	2,38	2,31	1,12	0,81	0,31	0,06	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,62
FRST	48,31	32,06	68,31	33,44	15,50	9,37	11,62	11,69	0,19	10,31	0,00	0,00	0,19	0,00	0,31	0,00	0,00	0,25	241,56
GRAP	1,38	0,00	0,25	0,06	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,87
ORCD	2,06	0,06	0,19	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,62
URMD	4,44	2,25	2,00	1,44	1,69	0,19	0,06	2,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,69
WATR	0,00	0,12	0,31	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
POVRŠINA (ha):	917,25	827,44	970,18	650,81	368,31	480,25	1414,75	64,69	351,44	652,25	507,63	352,75	603,69	704,31	879,56	232,81	255,25	291,94	10525,31

Priloga E: Površine tipov tal po naklonih in podpovodjih vodozbirnega območja
Appendix E: Areas per soil types and subbasins of the watershed

Podpovodje/Tip tal	Opis tal	Naklon (%)					Površina (ha)
		0-11	11-24	24-35	35-50	> 50	
1		225,50	319,87	167,56	112,37	91,94	917,25
103013A	Glej	4,94	2,81	0,56	0,00	0,00	8,31
103014A	Glej	16,81	3,56	1,38	1,62	2,00	25,38
103015A	Glej	19,81	16,00	3,12	4,56	4,62	48,12
103017A	Glej	15,56	4,69	1,31	1,13	0,37	23,06
103018A	Pobočni glej	19,75	46,06	13,88	8,63	7,81	96,13
103021A	Distrična rjava tla	3,19	11,63	16,75	9,63	4,38	45,56
103023A	Distrična rjava tla	3,19	2,87	0,37	0,50	0,63	7,56
103024A	Rigolana tla, evtrična	6,00	6,75	2,56	0,88	2,06	18,25
103025A	Pobočni psevdoglej	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,06
103026A	Oglejena rjava tla	41,19	35,00	8,87	8,25	9,44	102,75
103032A	Psevdooglejena, distrična rjava tla	13,06	18,75	6,56	2,12	1,75	42,25
103039A	Evtrična rjava tla	0,06	0,87	1,19	0,37	0,25	2,75
103040A	Plitka rjava tla	4,62	8,37	4,00	3,25	1,38	21,62
103041A	Distrična rjava tla	3,94	8,75	5,38	2,25	0,69	21,00
103042A	Distrična rjava tla	40,44	62,63	34,06	15,63	11,00	163,75
103045A	Distrična rigolana tla	0,00	0,31	0,94	0,50	0,06	1,81
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	32,94	90,19	66,50	53,06	45,44	288,12
87029A	Psevdooglejena tla	0,00	0,63	0,12	0,00	0,00	0,75
2		163,25	335,37	174,19	98,31	56,31	827,44
103011A	Glej	19,25	3,25	0,75	0,63	0,13	24,00
103012A	Glej	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50
103013A	Glej	6,19	3,50	1,13	1,19	1,81	13,81
103014A	Glej	25,44	3,19	1,00	1,25	1,63	32,50
103015A	Glej	16,19	11,38	2,50	2,69	2,50	35,25
103016A	Glej	1,81	1,06	0,19	0,06	0,00	3,13
103018A	Pobočni glej	6,00	42,06	6,06	3,12	1,06	58,31
103019A	Evtrična rjava tla	0,13	1,81	2,69	0,56	0,06	5,25
103020A	Evtrična rjava tla	0,75	0,81	0,19	0,31	0,00	2,06
103021A	Distrična rjava tla	3,44	16,38	21,50	7,06	2,44	50,81
103022A	Obrečna, distrična rjava tla	3,94	13,00	6,50	1,50	1,19	26,12
103023A	Distrična rjava tla	0,19	0,81	0,31	0,13	0,00	1,44
103024A	Rigolana tla, evtrična	6,56	14,75	3,87	2,12	0,62	27,94
103026A	Oglejena rjava tla	11,81	21,25	5,19	2,50	1,63	42,37
103031A	Psevdooglejena, distrična rjava tla	0,06	1,56	0,06	0,37	0,13	2,19
103032A	Psevdooglejena, distrična rjava tla	4,37	13,00	4,69	2,31	1,19	25,56
103035A	Psevdoglej	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06
103036A	Pobočni psevdoglej	0,44	0,63	0,00	0,00	0,00	1,06
103038A	Oglejena rjava tla	1,25	3,19	1,75	0,56	0,31	7,06
103039A	Evtrična rjava tla	1,50	3,69	0,25	0,06	0,00	5,50
103040A	Plitka rjava tla	2,31	7,56	4,38	1,25	0,31	15,81
103041A	Distrična rjava tla	10,12	13,25	1,88	1,00	1,50	27,75
103042A	Distrična rjava tla	12,63	68,19	31,62	14,94	7,69	135,06
103047A	Koluvialna tla	1,44	5,50	0,06	0,06	0,00	7,06
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	25,94	85,50	77,62	54,62	32,13	275,81
3		165,06	311,00	237,12	156,69	100,31	970,18
103040A	Plitka rjava tla	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00	0,25
125020A	Glej	24,00	9,00	2,62	1,56	0,50	37,69

... se nadaljuje

... nadaljevanje priloge E

125021A	Glej	3,06	1,12	0,75	0,06	0,00	5,00
125025A	Pobočni glej	7,19	17,81	5,50	2,69	3,00	36,19
125028A	Distrična rjava tla	1,12	1,94	1,63	0,81	0,50	6,00
125029A	Distrična rjava tla	15,69	15,56	5,50	1,81	0,62	39,19
125030A	Distrična rjava tla	2,13	2,00	0,12	0,00	0,00	4,25
125031A	Distrična rjava tla	28,88	32,31	12,94	8,94	9,88	92,94
125032A	Distrična rjava tla	4,44	11,75	15,44	12,00	9,69	53,31
125033A	Distrična rjava tla	10,06	6,69	2,13	2,63	3,44	24,94
125036A	Psevdooglejena rjava tla	0,37	0,50	0,56	0,12	0,00	1,56
125037A	Psevdooglejena rjava tla	5,19	11,25	5,37	2,81	1,69	26,31
125038A	Psevdooglejena rjava tla	5,19	6,44	3,06	0,94	0,25	15,88
125042A	Pobočni psevdoglej	0,62	1,75	0,25	0,25	0,00	2,87
125044A	Distrična rjava tla	4,13	10,37	7,87	2,69	1,13	26,19
125045A	Distrična rjava tla	5,19	9,25	5,31	2,75	0,56	23,06
125046A	Distrična rjava tla	5,50	19,06	7,00	3,56	2,31	37,44
125047A	Distrična rjava tla	6,44	33,13	27,31	10,31	3,63	80,81
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	35,81	121,00	133,68	102,69	63,12	456,31
4		130,87	235,75	140,56	96,56	47,06	650,81
103011A	Glej	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81
103014A	Glej	19,50	0,88	0,31	0,25	0,00	20,94
103015A	Glej	1,06	0,75	0,19	0,19	0,31	2,50
103016A	Glej	17,88	3,94	2,62	3,00	0,87	28,31
103017A	Glej	12,94	2,50	2,81	2,50	1,06	21,81
103018A	Pobočni glej	0,62	4,50	1,56	0,50	0,37	7,56
103019A	Evtrična rjava tla	0,00	0,19	0,19	0,06	0,75	1,19
103021A	Distrična rjava tla	0,75	4,75	6,75	2,37	1,44	16,06
103022A	Obrečna, distrična rjava tla	1,94	4,00	3,25	0,69	0,12	10,00
103023A	Distrična rjava tla	0,12	1,19	0,69	0,19	0,06	2,25
103024A	Rigolana tla, evtrična	3,06	16,44	3,81	1,81	0,25	25,37
103026A	Oglejena rjava tla	6,25	5,56	1,56	1,25	0,94	15,56
103031A	Psevdooglejena, distrična rjava tla	0,25	1,25	0,00	0,00	0,00	1,50
103032A	Psevdooglejena, distrična rjava tla	0,25	1,13	0,81	1,06	1,06	4,31
103033A	Psevdoglej	0,31	0,12	0,25	0,44	0,19	1,31
103035A	Psevdoglej	5,44	1,56	0,00	0,00	0,00	7,00
103036A	Pobočni psevdoglej	1,69	7,00	1,19	1,56	0,37	11,81
103039A	Evtrična rjava tla	1,19	2,88	0,44	0,81	1,19	6,50
103040A	Plitka rjava tla	0,94	2,25	1,25	1,06	0,88	6,38
103041A	Distrična rjava tla	3,13	11,94	4,50	1,25	0,31	21,13
103042A	Distrična rjava tla	9,00	33,87	15,56	5,25	2,31	66,00
125021A	Glej	0,25	0,06	0,00	0,00	0,00	0,31
125022A	Glej	0,06	0,37	0,31	0,62	0,63	2,00
125024A	Glej	0,12	1,50	0,94	0,75	0,12	3,44
125027A	Distrična rjava tla	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,12
125032A	Distrična rjava tla	0,50	1,63	1,81	3,25	0,38	7,56
125033A	Distrična rjava tla	0,56	1,81	1,50	1,31	0,88	6,06
125037A	Psevdooglejena rjava tla	0,31	1,87	0,25	0,06	0,00	2,50
125038A	Psevdooglejena rjava tla	0,50	1,88	0,69	0,12	0,00	3,19
125044A	Distrična rjava tla	1,69	3,06	1,88	0,37	0,00	7,00
125045A	Distrična rjava tla	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,06
125046A	Distrična rjava tla	0,00	0,00	0,00	0,06	0,25	0,31
125047A	Distrična rjava tla	0,19	1,87	2,38	0,50	0,31	5,25

... se nadaljuje

... nadaljevanje priloge E

1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	39,56	114,94	83,06	65,12	32,00	334,69
5		103,44	131,56	63,81	44,75	24,75	368,31
103014A	Glej	5,31	0,00	0,00	0,00	0,00	5,31
103015A	Glej	2,62	2,69	0,19	0,06	0,00	5,56
103017A	Glej	1,19	0,00	0,00	0,00	0,00	1,19
103018A	Pobočni glej	1,94	3,00	0,44	0,37	0,19	5,94
103019A	Evtrična rjava tla	0,56	0,94	1,38	0,25	0,06	3,19
103021A	Distrična rjava tla	1,81	6,00	4,75	0,75	0,56	13,88
103022A	Obrečna, distrična rjava tla	0,25	0,94	0,00	0,06	0,00	1,25
103024A	Rigolana tla, evtrična	0,50	3,37	0,75	0,06	0,00	4,69
103026A	Oglejena rjava tla	1,56	1,19	0,06	0,00	0,00	2,81
103031A	Psevdooglejena, distrična rjava tla	1,50	3,87	0,56	0,81	0,25	7,00
103039A	Evtrična rjava tla	0,75	1,75	0,50	0,06	0,00	3,06
103042A	Distrična rjava tla	0,69	2,13	0,31	0,12	0,00	3,25
125019A	Oglejena rjava tla	1,81	0,31	0,13	0,06	0,00	2,31
125021A	Glej	10,50	1,25	0,37	0,25	0,25	12,63
125022A	Glej	2,06	1,81	0,13	0,00	0,00	4,00
125023A	Glej	0,56	0,50	0,56	0,81	0,88	3,31
125024A	Glej	1,38	0,12	0,00	0,13	0,00	1,63
125025A	Pobočni glej	4,63	3,63	1,37	1,62	1,06	12,31
125026A	Distrična rjava tla	0,12	1,06	0,19	0,75	1,06	3,19
125027A	Distrična rjava tla	1,94	2,81	1,31	1,81	3,50	11,38
125029A	Distrična rjava tla	3,50	1,38	0,00	0,00	0,00	4,88
125031A	Distrična rjava tla	1,75	2,44	0,31	0,06	0,00	4,56
125032A	Distrična rjava tla	1,94	3,69	2,50	1,56	0,94	10,62
125033A	Distrična rjava tla	11,81	8,44	0,06	0,12	0,00	20,44
125036A	Psevdooglejena rjava tla	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62
125037A	Psevdooglejena rjava tla	7,00	8,38	1,88	0,37	0,00	17,63
125042A	Pobočni psevdoglej	3,81	1,13	0,00	0,00	0,00	4,94
125043A	Evtrična rjava tla	1,56	2,00	0,00	0,19	0,00	3,75
125044A	Distrična rjava tla	5,44	7,81	2,31	0,81	0,19	16,56
125045A	Distrična rjava tla	3,31	7,13	0,44	0,06	0,06	11,00
125046A	Distrična rjava tla	3,69	3,50	0,81	0,44	0,25	8,69
125047A	Distrična rjava tla	1,00	3,38	1,44	1,38	1,00	8,19
1410SLO	Distrična rjava tla	0,81	4,37	7,94	6,25	0,81	20,19
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	14,88	40,56	33,12	25,44	13,69	127,69
1415SLO	Pobočni psevdoglej	0,62	0,00	0,00	0,06	0,00	0,69
6		131,19	201,69	91,81	43,06	12,50	480,25
125020A	Glej	14,88	2,38	0,00	0,00	0,00	17,25
125021A	Glej	13,75	3,13	0,56	0,00	0,00	17,44
125022A	Glej	1,63	1,75	0,00	0,00	0,00	3,37
125024A	Glej	11,50	3,69	0,94	0,37	0,06	16,56
125025A	Pobočni glej	12,13	33,44	6,25	1,87	1,62	55,31
125026A	Distrična rjava tla	2,00	8,56	8,56	2,13	0,06	21,31
125028A	Distrična rjava tla	0,75	0,06	0,06	0,00	0,00	0,87
125029A	Distrična rjava tla	4,00	4,13	1,38	1,44	0,94	11,88
125031A	Distrična rjava tla	11,81	5,31	0,19	0,00	0,00	17,31
125032A	Distrična rjava tla	1,13	4,75	3,44	0,87	0,37	10,56
125033A	Distrična rjava tla	15,50	16,00	1,12	0,06	0,00	32,69
125036A	Psevdooglejena rjava tla	1,87	1,06	0,00	0,00	0,00	2,94
125037A	Psevdooglejena rjava tla	0,75	2,44	0,00	0,00	0,00	3,19

... se nadaljuje

... nadaljevanje priloge E

125038A	Psevdooglejena rjava tla	4,81	9,63	3,50	0,13	0,00	18,06
125042A	Pobočni psevdoglej	0,19	1,25	0,00	0,00	0,00	1,44
125043A	Evtrična rjava tla	0,44	1,31	0,06	0,00	0,00	1,81
125044A	Distrična rjava tla	4,00	9,94	2,94	0,38	0,00	17,25
125045A	Distrična rjava tla	7,19	18,00	2,50	1,38	0,06	29,12
125046A	Distrična rjava tla	7,12	18,75	1,81	0,69	0,44	28,81
125047A	Distrična rjava tla	0,69	2,87	1,31	0,19	0,00	5,06
1410SLO	Distrična rjava tla	2,69	5,38	10,69	13,37	2,25	34,37
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	11,06	47,56	46,50	20,19	6,69	132,00
1415SLO	Pobočni psevdoglej	1,31	0,31	0,00	0,00	0,00	1,63
7		272,31	519,63	423,94	187,06	11,81	1414,75
1131SLO	Distrična rjava tla	103,69	428,25	363,50	162,75	10,69	1068,88
1328SLO	Distrična rjava tla	9,44	47,87	51,19	22,87	1,13	132,50
1415SLO	Pobočni psevdoglej	159,19	43,50	9,25	1,44	0,00	213,37
8		7,00	10,62	14,63	18,12	14,31	64,69
1410SLO	Distrična rjava tla	2,69	8,50	13,19	17,69	14,25	56,31
1411SLO	Evtrična rjava tla	0,25	1,06	0,88	0,19	0,00	2,37
1415SLO	Pobočni psevdoglej	4,06	1,06	0,56	0,25	0,06	6,00
9		164,06	134,19	42,69	10,31	0,19	351,44
1131SLO	Distrična rjava tla	70,81	119,44	42,44	10,31	0,19	243,19
125033A	Distrična rjava tla	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,19
125045A	Distrična rjava tla	0,19	0,00	0,19	0,00	0,00	0,38
1415SLO	Pobočni psevdoglej	53,00	2,25	0,06	0,00	0,00	55,31
528SLO	Distrična rjava tla	39,94	12,44	0,00	0,00	0,00	52,37
10		199,06	304,44	103,38	34,38	11,00	652,25
1131SLO	Distrična rjava tla	5,94	14,56	3,37	1,75	0,19	25,81
125025A	Pobočni glej	0,31	1,88	0,38	0,00	0,00	2,56
125026A	Distrična rjava tla	0,94	8,13	5,44	1,56	0,50	16,56
125029A	Distrična rjava tla	2,06	5,44	1,31	0,00	0,00	8,81
125031A	Distrična rjava tla	1,25	0,69	0,00	0,00	0,00	1,94
125032A	Distrična rjava tla	0,19	1,62	1,00	0,00	0,00	2,81
125033A	Distrična rjava tla	2,06	5,12	0,00	0,06	0,00	7,25
125036A	Psevdooglejena rjava tla	1,19	0,50	0,00	0,00	0,00	1,69
125037A	Psevdooglejena rjava tla	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
125042A	Pobočni psevdoglej	1,38	1,00	0,00	0,00	0,00	2,38
125044A	Distrična rjava tla	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00	0,19
125045A	Distrična rjava tla	6,81	12,75	0,31	0,00	0,00	19,87
125046A	Distrična rjava tla	1,25	1,44	0,00	0,00	0,00	2,69
1409SLO	Distrična rjava tla	8,56	2,12	0,00	0,00	0,00	10,69
1410SLO	Distrična rjava tla	6,25	28,12	21,12	6,44	1,94	63,88
1411SLO	Evtrična rjava tla	67,37	112,88	39,88	16,25	5,19	241,56
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	40,69	101,87	28,94	7,75	3,19	182,44
1415SLO	Pobočni psevdoglej	31,37	5,25	1,12	0,37	0,00	38,12
1416SLO	Evtrična rjava tla	21,25	1,00	0,50	0,19	0,00	22,94
11		243,69	221,31	37,87	4,75	0,00	507,63
1131SLO	Distrična rjava tla	36,25	118,62	34,25	4,19	0,00	193,31
125029A	Distrična rjava tla	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
125042A	Pobočni psevdoglej	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,44
125045A	Distrična rjava tla	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	134,50	92,06	3,25	0,31	0,00	230,13
1415SLO	Pobočni psevdoglej	59,25	1,69	0,31	0,25	0,00	61,50

... se nadaljuje

... nadaljevanje priloge E

528SLO	Distrična rjava tla	12,94	8,94	0,06	0,00	0,00	21,94
12		208,75	130,69	12,56	0,75	0,00	352,75
1409SLO	Distrična rjava tla	97,19	34,56	0,50	0,00	0,00	132,25
1411SLO	Evtrična rjava tla	6,00	5,37	0,94	0,00	0,00	12,31
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	37,19	88,88	11,06	0,75	0,00	137,88
1415SLO	Pobočni psevdoglej	19,12	1,81	0,00	0,00	0,00	20,94
1416SLO	Evtrična rjava tla	49,25	0,06	0,00	0,00	0,00	49,31
432SLO	Distrična rjava tla	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,06
13		276,87	267,19	48,69	10,75	0,19	603,69
1408SLO	Distrična rjava tla	9,81	22,50	17,75	7,19	0,19	57,44
1409SLO	Distrična rjava tla	65,81	33,94	3,13	0,38	0,00	103,25
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	92,81	205,75	27,81	3,19	0,00	329,56
1415SLO	Pobočni psevdoglej	31,25	3,38	0,00	0,00	0,00	34,62
1416SLO	Evtrična rjava tla	75,44	1,37	0,00	0,00	0,00	76,81
553SLO	Distrična tla in pobočni psevdoglej	1,75	0,25	0,00	0,00	0,00	2,00
14		379,12	264,81	54,88	5,50	0,00	704,31
1131SLO	Distrična rjava tla	10,12	46,81	22,12	1,69	0,00	80,75
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	78,00	102,75	18,94	2,56	0,00	202,25
1414SLO	Psevdooglejena rjava tla	55,94	100,63	13,81	1,25	0,00	171,63
1415SLO	Pobočni psevdoglej	5,06	0,00	0,00	0,00	0,00	5,06
1416SLO	Evtrična rjava tla	129,63	4,31	0,00	0,00	0,00	133,94
528SLO	Distrična rjava tla	100,37	10,31	0,00	0,00	0,00	110,69
15		563,81	263,63	43,81	8,00	0,31	879,56
1408SLO	Distrična rjava tla	119,94	202,94	42,37	8,00	0,31	373,56
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	58,94	48,37	0,94	0,00	0,00	108,25
1415SLO	Pobočni psevdoglej	23,81	1,06	0,00	0,00	0,00	24,88
1416SLO	Evtrična rjava tla	224,50	8,06	0,50	0,00	0,00	233,06
553SLO	Distrična tla in pobočni psevdoglej	136,63	3,19	0,00	0,00	0,00	139,81
16		162,69	58,37	11,38	0,37	0,00	232,81
1408SLO	Distrična rjava tla	38,94	52,31	11,13	0,37	0,00	102,75
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	10,56	4,06	0,00	0,00	0,00	14,63
1416SLO	Evtrična rjava tla	93,63	0,00	0,00	0,00	0,00	93,63
553SLO	Distrična tla in pobočni psevdoglej	19,56	2,00	0,25	0,00	0,00	21,81
17		157,31	81,63	15,13	1,19	0,00	255,25
1051SLO	Distrična rjava tla	7,06	21,25	8,56	0,44	0,00	37,31
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	13,31	14,31	2,00	0,19	0,00	29,81
1414SLO	Psevdooglejena rjava tla	6,75	39,31	4,56	0,56	0,00	51,19
1416SLO	Evtrična rjava tla	89,94	1,19	0,00	0,00	0,00	91,13
528SLO	Distrična rjava tla	39,25	5,50	0,00	0,00	0,00	44,75
553SLO	Distrična tla in pobočni psevdoglej	1,00	0,06	0,00	0,00	0,00	1,06
18		178,75	101,38	10,81	0,75	0,25	291,94
1037SLO	Distrična rjava tla	0,81	6,00	1,37	0,00	0,00	8,19
1051SLO	Distrična rjava tla	26,62	46,50	6,44	0,75	0,25	80,56
1053SLO	Distrična rjava tla	13,12	2,38	0,00	0,00	0,00	15,50
1408SLO	Distrična rjava tla	12,25	42,44	3,00	0,00	0,00	57,69
1416SLO	Evtrična rjava tla	125,94	4,06	0,00	0,00	0,00	130,00
Skupna vsota		3732,75	3893,13	1694,81	833,69	370,94	10525,31

Ojsteršek Zorčič P., Izbira in umeščanje ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacijskih jezer.
Dokt. Disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 2015

Priloga F: Prenos suspendiranih snovi iz HOE po razredih rabe, naklonih in podpovodjih vodozbirnega območja Ledavskega jezera
Appendix F: Sediment transfer of HRU per landuse, slopes and subbasins of the reservoir Ledavsko jezero watershed

NAKLON/RABA	PODPOREČJE																		Skupaj (t/ha/leto)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
0-11	0,22	0,25	0,09	0,18	0,17	0,12	0,07	0,09	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,08	0,11	0,07	0,08	0,11	0,14
AGRM		0,30		0,23	0,37										0,13	0,06	0,16		0,25
AGRR	0,41	0,37	0,15	0,24	0,23	0,18	0,09	0,15	0,12	0,13	0,16	0,19	0,18	0,15	0,22	0,15	0,14	0,19	0,22
FESC	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
FESM		0,04													0,00	0,00	0,00		0,01
FRST	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRAP	0,16	0,14	0,05	0,11	0,14		0,00		0,04	0,02	0,06	0,05	0,07	0,05	0,05	0,05	0,01	0,04	0,09
ORCD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
URMD	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04
WATR	0,17	0,09	0,12	0,06	0,10	0,04	0,09	0,00	0,01	0,08	0,16	0,04	0,06	0,14	0,05	0,04		0,14	0,10
WETL							0,63									0,16	0,13	0,14	0,26
11-24	0,74	0,81	0,29	0,78	0,53	0,36	0,22	0,25	0,18	0,25	0,25	0,26	0,29	0,24	0,42	0,28	0,21	0,26	0,50
AGRM		1,11		1,67	0,61										0,46				1,11
AGRR	1,36	1,23	0,51	1,07	0,80	0,55	0,34	0,40	0,37	0,40	0,47	0,48	0,57	0,49	0,78	0,53	0,40	0,52	0,77
FESC	0,07	0,06	0,01	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03
FESM															0,05				0,05
FRST	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRAP	0,62	0,40	0,16	0,26	0,31		0,02	0,60	0,02	0,30	0,13	0,11	0,15	0,12	0,19	0,14	0,07	0,09	0,29
ORCD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
URMD	0,09	0,08	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,07	0,07
WATR	0,30	0,49	0,33	0,25	0,27	0,24													0,32
WETL							0,87												0,87
24-35	0,24	0,20	0,10	0,19	0,14	0,10	0,04	0,13	0,05	0,09	0,05	0,08	0,09	0,06	0,09	0,08	0,03	0,06	0,14
AGRM		0,25		0,35															0,30
AGRR	0,27	0,25	0,13	0,22	0,17	0,14	0,06	0,20	0,07	0,12	0,07	0,10	0,12	0,07	0,12	0,12	0,04	0,08	0,18
FESC	0,10	0,08	0,02	0,07	0,04	0,02	0,01	0,05	0,00	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,05
FRST	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
GRAP	0,85	0,56	0,21	0,46	0,43		0,01	0,70	0,02	0,52	0,13	0,20	0,21	0,22	0,16	0,16	0,09	0,14	0,42
ORCD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
URMD	0,12	0,10	0,08	0,11	0,08	0,09	0,06	0,08	0,07	0,07	0,04	0,06	0,07	0,05	0,11	0,09		0,06	0,09
WATR	0,49	0,60	0,65	0,45	1,12	0,29													0,56
35-50	0,37	0,34	0,16	0,30	0,19	0,13	0,02	0,15	0,01	0,10	0,00	0,10	0,08	0,01	0,08	0,07	0,00	0,08	0,24
AGRM		0,48		0,57															0,51
AGRR	0,44	0,41	0,20	0,34	0,24	0,18	0,03	0,21	0,01	0,11	0,01	0,13				0,11			0,29
FESC	0,19	0,14	0,03	0,12	0,06	0,03	0,00	0,10	0,00	0,05	0,00	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02		0,01	0,08
FRST	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
GRAP	1,17	0,98	0,11	1,34			0,02			0,66				0,24		0,28		0,17	0,69
ORCD	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00		0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00				0,00
URMD	0,20	0,19	0,11	0,19	0,14	0,12	0,04	0,15	0,04	0,08								0,14	0,15
WATR	0,96	1,29	1,62	1,05	1,71														1,28
50-9999	0,51	0,57	0,27	0,37	0,30	0,21	0,03	0,11	0,00	0,05			0,00		0,00			0,00	0,38
Skupaj (t/ha/leto)	0,42	0,44	0,18	0,37	0,28	0,20	0,09	0,16	0,10	0,14	0,12	0,15	0,16	0,13	0,22	0,14	0,11	0,15	0,28

Priloga G: Povprečni letni prenos suspendiranih snovi iz HOE s površinskim odtokom glede na tip tal in naklon

Appendix G: Average annual transfer of sediment from HRU with surface drain per soil types and slopes

		Naklon (%)					Skupaj (t/ha/leto)
Tip tal	Opis	0-11	11-24	24-35	35-50	>50	
103011A	Glej	0,14	1,26	0,30	0,46	0,87	0,49
103012A	Glej	0,06					0,06
103013A	Glej	0,16	0,78	0,19	0,31	0,60	0,36
103014A	Glej	0,29	2,24	0,60	1,09	1,84	1,17
103015A	Glej	0,27	0,75	0,26	0,37	0,57	0,46
103016A	Glej	0,61	2,36	0,55	0,85	1,23	1,12
103017A	Glej	0,33	1,88	0,29	0,22	0,11	0,57
103018A	Pobočni glej	0,43	1,02	0,27	0,45	0,36	0,53
103025A	Pobočni glej					0,14	0,14
103033A	Psevdoglej	0,14	0,49	0,07	0,13	0,09	0,17
103035A	Psevdoglej	0,10	0,22				0,15
103036A	Pobočni psevdoglej	0,20	0,41	0,07	0,13	0,11	0,22
125020A	Glej	0,06	0,29	0,08	0,14	0,16	0,15
125021A	Glej	0,05	0,46	0,12	0,08	0,35	0,20
125022A	Glej	0,15	0,54	0,12	0,17	0,13	0,27
125023A	Glej	0,64	1,31	0,32	0,46	0,26	0,59
125024A	Glej	0,23	1,61	0,37	0,41	0,67	0,70
125025A	Pobočni glej	0,13	0,34	0,11	0,17	0,27	0,21
125042A	Pobočni psevdoglej	0,07	0,19	0,04	0,07		0,12
1415SLO	Pobočni psevdoglej	0,09	0,39	0,07	0,07	0,00	0,19
Skupaj gleji, psevdogleji		0,22	0,92	0,23	0,33	0,46	0,39
103026A	Oglejena rjava tla	0,19	0,54	0,16	0,30	0,40	0,32
103031A	Psevdooglejena rjava tla	0,15	0,29	0,07	0,13	0,17	0,18
103032A	Psevdooglejena rjava tla	0,11	0,39	0,10	0,18	0,28	0,21
103038A	Oglejena rjava tla	0,40	0,77	0,20	0,34	0,68	0,48
125019A	Oglejena rjava tla	0,11	0,39	0,06	0,06		0,21
125036A	Psevdooglejena rjava tla	0,09	0,20	0,05	0,07		0,12
125037A	Psevdooglejena rjava tla	0,09	0,25	0,07	0,08	0,11	0,13
125038A	Psevdooglejena rjava tla	0,16	0,61	0,14	0,21	0,43	0,29
1412SLO	Psevdooglejena rjava tla	0,14	0,40	0,16	0,30	0,45	0,27
1414SLO	Psevdooglejena rjava tla	0,03	0,06	0,01	0,00		0,03
87029A	Psevdooglejena tla		0,27	0,03			0,15
Skupaj oglejena in psevdoglejena tla		0,15	0,38	0,10	0,17	0,36	0,22
103019A	Evtrična rjava tla	0,13	0,53	0,13	0,17	0,33	0,27
103020A	Evtrična rjava tla	0,20	0,63	0,10	0,14		0,28
103021A	Distrična rjava tla	0,18	0,63	0,24	0,29	0,51	0,38
103022A	Obrečna, distrična rjava tla	0,08	0,19	0,05	0,06	0,10	0,10
103023A	Distrična rjava tla	0,04	0,16	0,05	0,06	0,11	0,08
103024A	Rigolana tla, evtrična	0,19	0,47	0,12	0,20	0,26	0,27
103039A	Evtrična rjava tla	0,35	1,02	0,23	0,34	0,59	0,54
103040A	Plitka rjava tla	0,03	0,10	0,03	0,05	0,08	0,06
103041A	Distrična rjava tla	0,26	0,73	0,16	0,29	0,44	0,39
103042A	Distrična rjava tla	0,30	0,86	0,26	0,41	0,58	0,48
103045A	Distrična rigolana tla		0,22	0,15	0,33	0,75	0,33
103047A	Koluvialna tla	0,16	0,23	0,06	0,08		0,14
1037SLO	Distrična rjava tla	0,09	0,15	0,04			0,10
1051SLO	Distrična rjava tla	0,10	0,22	0,06	0,07	0,00	0,12
1053SLO	Distrična rjava tla	0,07	0,16				0,11
1131SLO	Distrična rjava tla	0,02	0,05	0,01	0,01	0,00	0,02
125026A	Distrična rjava tla	0,02	0,07	0,02	0,03	0,03	0,04

... se nadaljuje

... nadaljevanje priloge G

Tip tal	Opis	0-11	11-24	24-35	35-50	>50	Skupaj (t/ha/leto)
125027A	Distrična rjava tla	0,19	0,47	0,16	0,26	0,50	0,33
125028A	Distrična rjava tla	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03	0,03
125029A	Distrična rjava tla	0,15	0,35	0,11	0,18	0,28	0,21
125030A	Distrična rjava tla	0,04	0,11	0,00			0,07
125031A	Distrična rjava tla	0,09	0,27	0,12	0,23	0,49	0,20
125032A	Distrična rjava tla	0,08	0,30	0,08	0,11	0,16	0,15
125033A	Distrična rjava tla	0,09	0,22	0,05	0,08	0,13	0,12
125043A	Evtrična rjava tla	0,08	0,19	0,02	0,08		0,11
125044A	Distrična rjava tla	0,03	0,11	0,03	0,04	0,07	0,06
125045A	Distrična rjava tla	0,19	0,52	0,10	0,20	0,25	0,25
125046A	Distrična rjava tla	0,11	0,28	0,08	0,14	0,19	0,17
125047A	Distrična rjava tla	0,22	0,74	0,17	0,23	0,45	0,37
1328SLO	Distrična rjava tla	0,04	0,10	0,03	0,03	0,04	0,05
1408SLO	Distrična rjava tla	0,13	0,31	0,08	0,06	0,00	0,16
1409SLO	Distrična rjava tla	0,10	0,18	0,06	0,09		0,12
1410SLO	Distrična rjava tla	0,13	0,34	0,18	0,19	0,09	0,21
1411SLO	Evtrična rjava tla	0,10	0,21	0,06	0,07	0,08	0,12
1416SLO	Evtrična rjava tla	0,07	0,42	0,09	0,00		0,20
432SLO	Distrična rjava tla			0,00			0,00
528SLO	Distrična rjava tla	0,07	0,20	0,00			0,13
553SLO	Distrična tla in pobočni psevdg.	0,05	0,21	0,08			0,11
Skupaj rjava tla:		0,12	0,32	0,09	0,14	0,24	0,18
Povprečna količina sedimenta (t/ha/leto):		0,14	0,50	0,14	0,24	0,38	0,28

Priloga H: Povprečni prenos sedimenta (t/ha/leto) s površinskim odtokom iz HOE glede na naklon, razrede rabe in tip tal. Označeni so razredi prenosa glede na legendo spodaj
Appendix H: Average sediment transfer (t/ha/yr) with surface drain from HRU based on slope, landuse and soil type

[illegible]

Ojsteršek Zorčič P., Izбира in umeščanje ERM ukrepov v vodozbirno območje akumulacijskih jezer.
Dokt. Disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, 2015

Priloga I: Površine (ha) enotnih kombinacij njiv, tal in naklonov po podpovodjih na katerih je povprečni letni prenos sedimenta s površinskim odtokom večji od 0,5 t

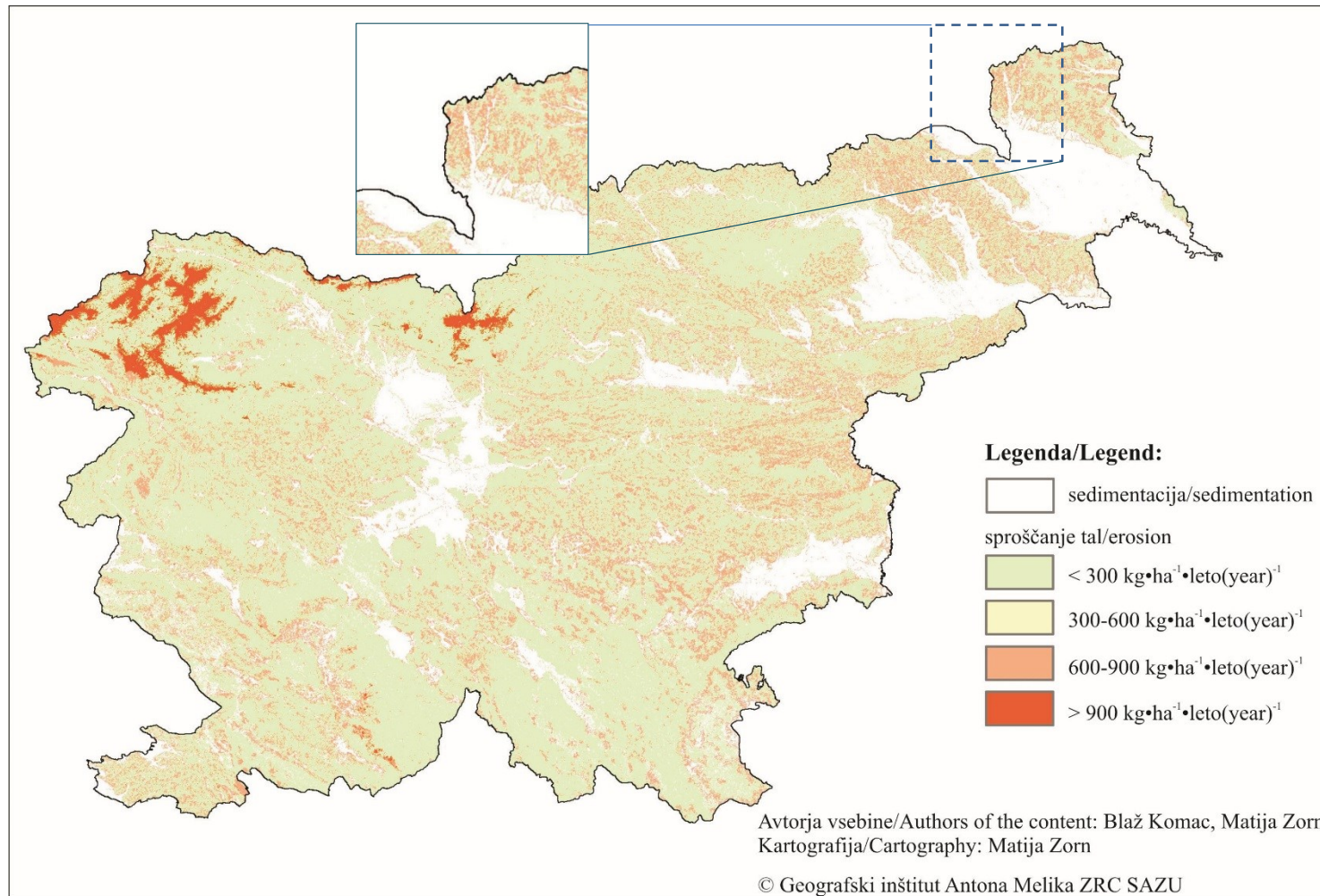
Appendix I: Areas (ha) of unique combinations of farm land, soil and slopes per subbasins, where annual sediment yield is greater than 0,5 t

HOE Podgor_raba_tla_naklon	Prenos sedimenta (t/ha/leto)	Površina (ha)	HOE Podgor_raba_tla_naklon	Prenos sedimenta (t/ha/leto)	Površina (ha)	HOE Podgor_raba_tla_naklon	Prenos sedimenta (t/ha/leto)	Površina (ha)	HOE Podgor_raba_tla_naklon	Prenos sedimenta (t/ha/leto)	Površina (ha)	HOE Podgor_raba_tla_naklon	Prenos sedimenta (t/ha/leto)	Površina (ha)	
1	1,16	295,75	2	1,12	212,06	3	0,90	72,50	5	0,89	51,31	10	0,66	91,25	
1_AGR_103013A_11-24	1,18	2,25	2_AGRM_103011A_11-24	1,81	1,25	3_AGR_125021A_11-24	0,54	0,37	5_AGRM_103015A_11-24	0,76	0,06	10_AGR_125025A_11-24	0,57	1,44	
1_AGR_103014A_0-11	0,57	14,75	2_AGRM_103011A_35-50	0,53	0,06	3_AGR_125025A_11-24	0,62	14,13	5_AGRM_103017A_0-11	0,73	0,44	10_AGR_125029A_11-24	0,54	3,69	
1_AGR_103014A_11-24	4,10	2,69	2_AGRM_103011A_50-9999	0,87	0,13	3_AGR_125029A_11-24	0,61	11,37	5_AGRM_103021A_11-24	0,68	0,44	10_AGR_125045A_11-24	0,81	9,75	
1_AGR_103014A_24-35	0,91	0,88	2_AGRM_103014A_11-24	3,88	0,25	3_AGR_125038A_11-24	0,81	4,31	5_AGR_125031A_11-24	1,12	2,19	10_AGR_1410SLO_11-24	0,60	6,75	
1_AGR_103014A_35-50	1,55	0,50	2_AGRM_103014A_35-50	1,11	0,06	3_AGR_125045A_11-24	0,91	6,25	5_AGR_125038A_11-24	1,47	2,44	10_AGR_141SLO_11-24	0,53	42,56	
1_AGR_103014A_50-9999	2,88	0,88	2_AGRM_103014A_50-9999	2,00	0,06	3_AGR_125047A_11-24	1,31	21,38	5_AGR_125031A_11-24	0,71	0,37	10_AGR_1412SLO_11-24	0,68	23,56	
1_AGR_103015A_0-11	0,50	17,37	2_AGRM_103015A_11-24	0,79	0,44	3_AGR_125047A_50-9999	0,69	2,06	5_AGR_125021A_11-24	0,98	3,94	10_AGR_141SLO_11-24	0,72	1,31	
1_AGR_103015A_11-24	1,35	11,44	2_AGRM_103016A_0-11	0,61	1,69	3_AGR_1412SLO_11-24	0,73	10,88	5_AGR_125021A_50-9999	0,61	0,31	10_GRAP_1410SLO_11-24	0,65	0,62	
1_AGR_103015A_35-50	0,60	2,37	2_AGRM_103016A_11-24	1,72	0,06	3_GRAP_125047A_50-9999	0,87	0,06	5_AGR_125024A_11-24	0,79	3,06	10_GRAP_1410SLO_24-35	0,97	1,31	
1_AGR_103015A_50-9999	0,91	2,19	2_AGRM_103018A_0-11	0,51	0,25	3_WATR_125031A_11-24	0,52	0,37	5_AGR_125026A_11-24	0,71	1,12	10_GRAP_1410SLO_35-50	1,14	0,25	
1_AGR_103017A_0-11	0,57	11,31	2_AGRM_103018A_11-24	1,28	1,31	3_WATR_125031A_24-35	0,85	0,12	5_AGR_125039A_0-11	0,51	0,69	11_AGR_1412SLO_11-24	0,69	43,88	
1_AGR_103017A_11-24	3,28	3,25	2_AGRM_103020A_11-24	0,57	0,06	3_WATR_125031A_35-50	1,37	0,12	5_AGR_125039A_11-24	1,58	1,44	11_AGR_141SLO_11-24	0,72	1,00	
1_AGR_103018A_0-11	0,88	15,50	2_AGRM_103021A_11-24	0,80	0,13	3_WATR_125031A_50-9999	2,47	0,19	5_AGR_125042A_11-24	1,31	2,06	11_AGR_141SLO_11-24	0,72	1,00	
1_AGR_103018A_11-24	1,83	28,00	2_AGRM_103026A_11-24	0,50	0,31	3_WATR_1412SLO_11-24	0,73	0,37	5_AGR_125019A_11-24	0,65	0,06	12_AGR_1412SLO_11-24	0,76	40,56	
1_AGR_103018A_35-50	0,62	4,88	2_AGRM_103041A_11-24	0,95	0,50	3_WATR_1412SLO_24-35	0,87	0,19	5_AGR_125021A_11-24	0,79	0,44	12_AGR_141SLO_11-24	0,54	1,06	
1_AGR_103021A_11-24	1,21	6,69	2_AGRM_103042A_11-24	0,73	0,31	3_WATR_1412SLO_35-50	1,86	0,19	5_AGR_125022A_11-24	0,74	1,19	12_AGR_141SLO_11-24	0,66	60,00	
1_AGR_103021A_50-9999	0,69	1,56	2_AGRM_1412SLO_11-24	0,55	0,44	3_WATR_1412SLO_50-9999	2,49	0,12	5_AGR_125023A_0-11	0,64	0,56	13_AGR_1412SLO_11-24	0,75	58,56	
1_AGR_103024A_11-24	0,84	5,44	2_AGRM_103011A_11-24	1,60	0,37		4	1,15	94,56	5_AGR_125023A_11-24	1,94	0,25	13_AGR_141SLO_11-24	0,65	0,88
1_AGR_103026A_11-24	1,15	25,56	2_AGRM_103011A_35-50	0,55	0,19	4_AGRM_103014A_11-24	1,83	0,06	5_AGR_125023A_35-50	0,63	0,31	13_AGR_141SLO_11-24	0,59	0,56	
1_AGR_103026A_50-9999	0,54	5,50	2_AGRM_103016A_11-24	1,13	2,00	4_AGRM_103016A_11-24	3,21	2,13	5_AGR_125024A_11-24	2,08	0,12	13_AGR_141SLO_11-24	0,88	45,63	
1_AGR_103032A_11-24	0,81	11,13	2_AGRM_103013A_50-9999	0,85	0,88	4_AGRM_103016A_24-35	0,71	0,75	5_AGR_125025A_11-24	0,58	2,31	14_AGR_1412SLO_11-24	0,87	43,38	
1_AGR_103039A_11-24	1,43	0,19	2_AGRM_103014A_0-11	0,73	7,12	4_AGRM_103016A_35-50	1,20	1,25	5_AGR_125027A_11-24	0,79	1,94	14_AGR_141SLO_11-24	0,88	2,25	
1_AGR_103041A_11-24	1,35	5,69	2_AGRM_103014A_11-24	3,76	1,19	4_AGRM_103016A_50-9999	1,40	0,19	5_AGR_125027A_50-9999	0,79	2,69	15_AGR_1416SLO_11-24	0,91	4,50	
1_AGR_103041A_50-9999	0,61	0,31	2_AGRM_103014A_24-35	0,79	0,56	4_AGRM_103017A_11-24	2,75	0,69	5_AGR_125029A_11-24	0,52	1,25	16_AGR_1408SLO_11-24	0,68	28,31	
1_AGR_103042A_0-11	0,74	27,81	2_AGRM_103014A_35-50	1,47	0,44	4_AGRM_103039A_11-24	1,24	0,50	5_AGR_125032A_11-24	0,62	2,50	16_AGR_1416SLO_11-24	0,54	1,31	
1_AGR_103042A_11-24	1,72	37,50	2_AGRM_103015A_50-9999	2,45	0,44	4_AGRM_103039A_50-9999	0,68	0,12	5_AGR_125037A_11-24	0,53	5,75	17_AGR_1412SLO_11-24	0,61	2,63	
1_AGR_103042A_35-50	0,54	9,13	2_AGRM_103015A_11-24	1,45	8,94	4_AGRM_103042A_11-24	0,54	0,06	5_AGR_125045A_11-24	1,05	5,38	17_AGR_141SLO_11-24	0,80	14,37	
1_AGR_103042A_50-9999	0,84	5,00	2_AGRM_103016A_35-50	0,55	1,37	4_AGRM_103044A_11-24	2,27	0,38	5_AGR_125047A_11-24	1,29	2,63	18_AGR_1412SLO_11-24	0,86	0,81	
1_AGR_103045A_50-9999	0,75	0,06	2_AGRM_103015A_50-9999	0,77	1,25	4_AGRM_103044A_24-35	0,66	0,12	5_AGR_125047A_50-9999	0,67	0,50	18_AGR_141SLO_11-24	0,98	4,50	
1_AGR_1412SLO_11-24	0,77	3,25	2_AGRM_103016A_0-11	1,43	0,13	4_AGRM_103044A_35-50	1,38	0,12	5_AGR_1410SLO_11-24	0,60	0,12	19_AGR_1408SLO_11-24	0,61	1,31	
1_AGR_1412SLO_50-9999	0,66	7,69	2_AGRM_103016A_11-24	3,33	0,94	4_AGRM_103015A_11-24	1,01	0,56	5_AGR_1412SLO_11-24	0,80	2,44	20_AGR_1416SLO_11-24	0,68	28,31	
1_FESC_103014A_35-50	0,84	0,69	2_AGRM_103018A_0-11	0,58	0,13	4_AGRM_103015A_50-9999	0,69	0,31	5_AGR_1412SLO_50-9999	0,61	1,19	21_AGR_1412SLO_11-24	0,54	1,31	
1_FESC_103014A_50-9999	1,32	0,69	2_AGRM_103016A_35-50	0,67	0,06	4_AGRM_103016A_0-11	0,59	0,56	5_GRAP_103021A_24-35	0,50	0,69	22_AGR_1412SLO_11-24	0,61	2,63	
1_GRAP_103015A_11-24	1,30	0,75	2_AGRM_103018A_11-24	0,80	4,56	4_AGRM_103016A_11-24	2,91	0,87	5_WATR_125021A_50-9999	0,76	0,06	23_AGR_141SLO_11-24	0,65	5,37	
1_GRAP_103015A_24-35	1,48	0,13	2_AGRM_103018A_11-24	2,02	25,06	4_AGRM_103016A_24-35	0,77	1,00	5_WATR_1412SLO_11-24	0,55	0,06	24_AGR_141SLO_11-24	0,58	0,38	
1_GRAP_103018A_11-24	1,43	2,75	2_AGRM_103016A_35-50	0,57	2,56	4_AGRM_103016A_35-50	1,11	0,69	5_WATR_1412SLO_24-35	1,12	0,19	25_AGR_141SLO_11-24	0,67	26,94	
1_GRAP_103018A_24-35	1,84	0,75	2_AGRM_103019A_11-24	0,83	1,06	4_AGRM_103016A_50-9999	1,51	0,25	5_WATR_1412SLO_35-50	1,71	0,12	26_AGR_1051SLO_11-24	0,52	12,37	
1_GRAP_103018A_35-50	2,50	0,50	2_AGRM_103020A_11-24	0,68	0,75	4_AGRM_103017A_0-11	0,51	2,25		6	0,78	97,06	27_AGR_1408SLO_11-24	0,63	12,63
1_GRAP_103018A_50-9999	0,99	0,13	2_AGRM_103021A_11-24	1,33	8,50	4_AGRM_103017A_11-24	2,72	0,94	6_AGR_125021A_11-24	0,72	2,81	28_AGR_1416SLO_11-24	0,85	1,94	
1_GRAP_103021A_24-35	0,91	3,00	2_AGRM_103021A_50-9999	0,68	1,31	4_AGRM_103018A_0-11	0,62	0,25	6_AGR_125022A_11-24	0,64	1,69				
1_GRAP_103021A_35-50	1,05	0,94	2_AGRM_103024A_11-24	0,92	10,56	4_AGRM_103018A_11-24	1,79	3,19	6_AGR_125024A_0-11	0,70	8,88				
1_GRAP_103021A_50-9999	1,66	0,44	2_AGRM_103026A_11-24	1,18	17,06	4_AGRM_103019A_11-24	0,88	0,19	6_AGR_125024A_11-24	2,17	2,69				
1_GRAP_103032A_35-50	0,50	0,13	2_AGRM_103032A_11-24	0,82	8,88	4_AGRM_103019A_50-9999	0,52	0,69	6_AGR_125025A_11-24	0,58	30,06				
1_GRAP_103032A_50-9999	0,61	0,06	2_AGRM_103038A_11-24	1,50	2,44	4_AGRM_103021A_11-24	1,10	3,31	6_AGR_125029A_11-24	0,50	3,69				
1_GRAP_103039A_11-24	0,94	0,19	2_AGRM_103038A_35-50	0,50	0,44	4_AGRM_103021A_50-9999	0,72	1,00	6_AGR_125032A_11-24	0,51	3,88				
1_GRAP_103039A_24-35	1,06	0,06	2_AGRM_103038A_50-9999	0,68	0,31	4_AGRM_103024A_11-24	1,00	13,37	6_AGR_125038A_11-24	0,99	6,19				
1_GRAP_103041A_11-24	0,56	1,00	2_AGRM_103039A_11-24	1,62	0,81	4_AGRM_103026A_11-24	0,92	4,00	6_AGR_125045A_11-24	0,87	13,06				
1_GRAP_103041A_35-50	0,72	0,06	2_AGRM_103041A_11-24	1,34	11,13	4_AGRM_103032A_11-24	0,54	0,38	6_AGR_125046A_11-24	0,52	15,63				
1_GRAP_103042A_11-24	0,68	4,63	2_AGRM_103041A_50-9999	0,68	0,62	4_AGRM_103036A_11-24	0,73	2,94	6_AGR_125047A_11-24	1,06	2,31				
1_GRAP_103042A_24-35	1,06	1,63	2_AGRM_103042A_0-11	0,59	8,13	4_AGRM_103039A_11-24	1,69	0,81	6_AGR_1410SLO_11-24	0,51	0,69				
1_GRAP_103042A_35-50	1,48	0,63	2_AGRM_103042A_11-24	1,97	44,31	4_AGRM_103039A_35-50	0,53	0,44	6_AGR_1412SLO_11-24	0,65	5,37				
1_GRAP_103042A_50-9999	1,90	0,13	2_AGRM_103042A_35-50	0,54	9,25	4_AGRM_103039A_50-9999	0,82	0,38	6_AGR_141SLO_11-24	0,54	0,13				
1_GRAP_103045A_24-35	0,58	0,31	2_AGRM_103042A_50-9999	0,80	3,88	4_AGRM_103041A_11-24	1,46	8,69		7	0,86	10,94			
1_GRAP_103045A_35-50	0,81	0,25	2_AGRM_1412SLO_11-24	0,63	6,37	4_AGRM_103042A_0-11	0,51	5,25	7_AGR_141SLO_11-24	0,72	10,44				
1_GRAP_1412SLO_11-24	0,51	1,63	2_AGRM_1412SLO_50-9999	0,77	0,31	4_AGRM_103042A_11-24	1,78	20,56	7_WETR_141SLO_0-11	0,63	0,44				
1_GRAP_1412SLO_24-35	0,83	1,25	2_FESC_103014A_35-50	0,77	0,31	4_AGRM_103042A_50-9999	0,69	1,13	7_WETR_141SLO_11-24	1,64	0,06				
1_GRAP_1412SLO_35-50	1,10	1,38	2_FESC_103014A_50-9999	0,95	0,06	4_AGRM_125022A_11-24	0,75	0,12		8	0,65	0,25			
1_GRAP_1412SLO_50-9999	2,37	0,63	2_GRAP_103021A_11-24	0,50	1,13	4_AGRM_125024A_11-24	2,78	0,31	8_GRAP_1410SLO_11-24	0,60	0,13				
1_URMD_103014A_50-9999	0,68	0,06	2_GRAP_103021A_24-35	0,78	1,56	4_AGRM_125024A_24-35	0,57	0,31	8_GRAP_1410SLO_24-35	0,70	0,13				
1_WATR_103042A_11-24	0,54	0,13	2_GRAP_103026A_35-50	0,51	0,06	4_AGRM_125024A_35-50	0,76	0,25		9	0,69				

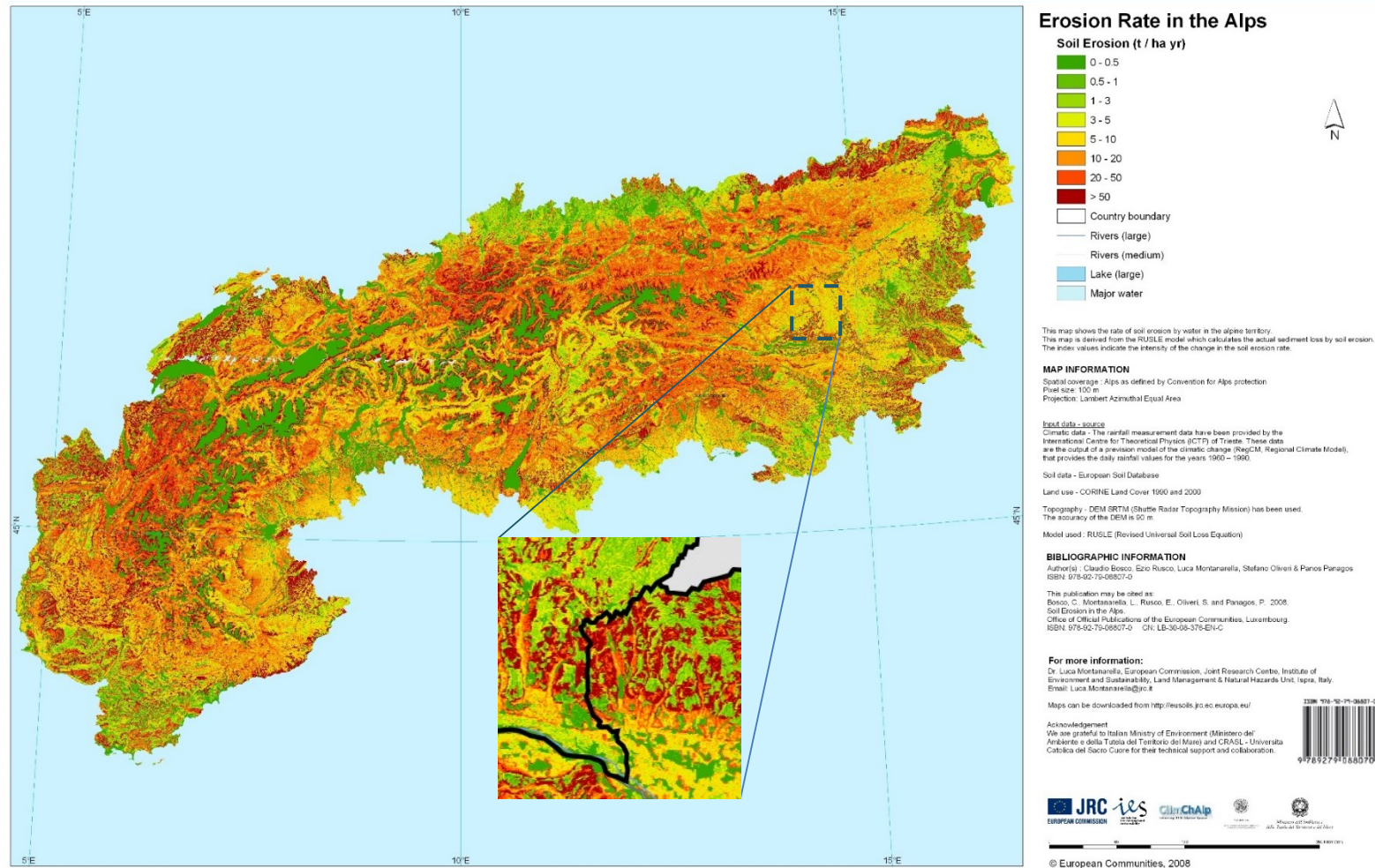
Priloga J: Učinkovitost scenarijev (%) pri zmanjšanju prenosa suspendiranih snovi iz HOE, kjer je povprečni letni prenos suspendiranih snovi > 0,5 t/ha
Appendix J: Scenario efficiency (%) in sediment yield reduction from HRU with average annual sediment yield > 0,5 t/ha

HOE (podpor.,raba,tla,naklon)	Učinkovitost (%)								HOE (podpor.,raba,tla,naklon)	Učinkovitost (%)								HOE (podpor.,raba,tla,naklon)	Učinkovitost (%)								HOE (podpor.,raba,tla,naklon)	Učinkovitost (%)																
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8									
1_AGRR_103013A_11-24	0,00	93,95	93,95	40,41	40,97	91,46	-18,77	20,72	2_AGRM_103011A_11-24	0,00	93,73	93,73	42,28	41,61	91,82	-16,33	17,65	3_AGRR_125021A_11-24	0,00	97,40	97,40	41,36	44,14	92,76	-14,62	18,51	5_AGRM_103015A_11-24	0,00	97,84	97,84	34,04	38,70	92,34	-25,00	20,12	7_AGRR_1415SLO_11-24	0,00	96,45	96,45	46,53	43,76	92,10	-37,20	17,93
1_AGRR_103014A_0-11	83,18	0,00	83,18	18,51	0,00	0,00	-21,04	18,45	2_AGRM_103011A_35-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3_AGRR_125025A_11-24	0,00	97,62	97,62	38,74	41,72	92,03	-23,12	24,24	5_AGRM_103017A_0-11	97,20	0,00	97,20	11,92	0,00	0,00	-20,61	18,36	9_AGRR_1415SLO_11-24	0,00	97,62	97,62	44,54	42,43	91,99	-22,57	22,11
1_AGRR_103014A_11-24	0,00	87,21	87,21	37,44	38,71	90,75	-20,08	17,06	2_AGRM_103011A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3_AGRR_125029A_11-24	0,00	96,03	96,03	42,06	43,24	92,20	-20,65	19,07	5_AGRM_103021A_11-24	0,00	94,39	94,39	37,53	39,91	91,62	-13,98	23,64	10_AGRR_125025A_11-24	0,00	97,83	97,83	37,83	40,86	92,07	-25,50	22,73
1_AGRR_103014A_24-35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2_AGRM_103014A_11-24	0,00	87,67	87,67	37,44	38,78	90,89	-20,20	17,02	3_AGRR_125038A_11-24	0,00	92,87	92,87	42,43	42,69	91,81	-17,90	21,06	5_AGRM_103018A_11-24	0,00	97,02	97,02	33,18	37,86	90,48	-24,12	19,51	10_AGRR_125029A_11-24	0,00	96,28	96,28	42,70	43,52	92,26	-20,09	18,75
1_AGRR_103014A_35-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2_AGRM_103014A_35-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3_AGRR_125045A_11-24	0,00	90,87	90,87	43,93	44,93	92,61	-14,55	15,17	5_AGRM_103018A_11-24	0,00	95,95	95,95	33,22	37,97	90,63	-19,65	21,59	10_AGRR_125045A_11-24	0,00	91,79	91,79	44,57	44,96	92,62	-12,73	14,39
1_AGRR_103014A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2_AGRM_103014A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3_AGRR_125047A_11-24	0,00	90,20	90,20	42,40	42,16	91,76	-16,93	20,18	5_AGRM_103019A_11-24	0,00	96,41	96,41	39,43	42,02	91,71	-13,21	17,62	10_AGRR_1410SLO_11-24	0,00	97,57	97,57	32,90	34,66	90,56	-48,01	27,35
1_AGRR_103015A_0-11	97,42	0,00	97,42	10,42	0,00	0,00	-23,76	19,39	2_AGRM_103015A_11-24	0,00	97,91	97,91	30,76	37,39	90,65	-23,63	19,60	3_AGRR_125047A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5_AGRM_103021A_11-24	0,00	93,39	93,39	37,66	39,75	91,31	-13,50	23,45	10_AGRR_1411SLO_11-24	0,00	96,54	96,54	45,23	44,80	92,58	-13,72	16,33
1_AGRR_103015A_11-24	0,00	96,42	96,42	33,15	37,85	90,45	-24,09	19,52	2_AGRM_103016A_0-11	89,06	0,00	89,06	19,04	0,00	0,00	-15,77	21,63	3_AGRR_1412SLO_11-24	0,00	91,79	91,79	46,21	42,94	91,80	-29,37	16,45	5_AGRM_103021A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10_AGRR_1412SLO_11-24	0,00	92,14	92,14	45,92	43,11	92,22	-29,83	15,21
1_AGRR_103015A_35-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2_AGRM_103016A_11-24	0,00	95,63	95,63	38,89	39,23	91,77	-15,35	21,96	Povprečje:	0,00	92,10	92,10	37,14	37,37	90,62	-17,14	16,83	5_AGRM_103024A_11-24	0,00	92,53	92,53	39,94	41,28	92,15	-14,98	27,41	10_AGRR_1415SLO_11-24	0,00	97,47	97,47	44,55	42,43	91,83	-22,64	22,08
1_AGRR_103015A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2_AGRM_103018A_0-11	98,16	0,00	98,16	13,46	0,00	0,00	-19,74	21,90	4_AGRM_103014A_11-24	0,00	93,07	93,07	37,73	38,72	91,50	-20,81	17,08	5_AGRM_103026A_11-24	0,00	94,80	94,80	40,49	42,55	91,90	-19,34	19,90	Povprečje:	0,00	95,66	95,66	41,96	42,05	92,02	-24,65	19,55
1_AGRR_103017A_0-11	88,06	0,00	88,06	10,02	0,00	0,00	-20,37	18,32	2_AGRM_103018A_11-24	0,00	96,48	96,48	31,99	37,97	90,67	-19,68	21,57	4_AGRM_103016A_11-24	0,00	90,69	90,69	38,02	38,14	90,85	-14,75	22,15	5_AGRM_103039A_0-11	94,35	0,00	94,35	19,37	0,00	0,00	-17,47	19,14	11_AGRR_1412SLO_11-24	0,00	92,53	92,53	43,89	43,17	92,33	-28,18	16,20
1_AGRR_103017A_11-24	0,00	91,54	91,54	31,94	39,22	90,80	-16,66	19,41	2_AGRM_103020A_11-24	0,00	97,18	97,18	39,89	44,68	93,41	-18,26	14,90	4_AGRM_103016A_24-35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5_AGRM_103039A_11-24	0,00	90,90	90,90	41,67	41,46	91,77	-15,40	20,04	11_AGRR_1415SLO_11-24	0,00	97,50	97,50	44,57	42,48	91,98	-18,53	15,64
1_AGRR_103018A_0-11	96,99	0,00	96,99	13,28	0,00	0,00	-19,35	21,58	2_AGRM_103021A_11-24	0,00	93,90	93,90	38,31	40,31	92,08	-13,72	23,93	4_AGRM_103016A_35-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5_AGRM_103042A_11-24	0,00	93,13	93,12	41,33	41,26	91,42	-20,82	20,00	Povprečje:	0,00	95,02	95,02	44,23	42,83	92,10	-25,41	19,14
1_AGRR_103018A_11-24	0,00	94,88	94,88	31,11	36,97	90,52	-21,32	21,68	2_AGRM_103022A_11-24	0,00	95,99	95,99	40,52	42,68	92,17	-13,29	19,98	4_AGRM_103016A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5_AGRM_103042A_11-24	0,00	96,83	96,83	35,26	37,06	91,64	-17,07	18,36	12_AGRR_1412SLO_11-24	0,00	92,03	92,03	43,90	43,18	92,34	-28,29	16,17
1_AGRR_103018A_35-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2_AGRM_103024A_11-24	0,00	90,28	90,28	38,10	40,32	91,41	-23,06	20,75	4_AGRM_103017A_11-24	0,00	93,02	93,02	31,95	38,04	90,97	-17,16	19,29	5_AGRM_103042A_11-24	0,00	94,85	94,85	39,40	42,54	92,00	-16,40	25,55	12_AGRR_1415SLO_11-24	0,00	98,16	98,16	44,36	42,32	91,84	-23,35	20,07
1_AGRR_103018A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2_AGRM_103042A_11-24	0,00	94,94	94,94	42,04	41,47	91,73	-16,29	19,80	4_AGRM_103019A_11-24	0,00	92,44	92,44	41,06	41,44	91,81	-15,65	19,49	5_AGRM_103042A_11-24	0,00	94,80	94,80	39,63	39,33	93,73	-14,60	26,60	Povprečje:	0,00	95,00	95,00	44,13	42,75	92,09	-25,32	18,52
1_AGRR_103021A_11-24	0,00	92,61	92,61	37,72	39,74	91,16	-13,45	23,47	2_AGRM_1412SLO_11-24	0,00	94,52	94,52	39,01	42,75	92,24	-31,25	16,44	4_AGRM_103039A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5_AGRM_103042A_0-11	97,24	0,00	97,24	8,47	0,00	0,00	-18,01	23,10	13_AGRR_1412SLO_11-24	0,00	91,84	91,84	44,17	42,71	92,52	-27,54	20,22
1_AGRR_103021A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2_AGRM_103011A_11-24	0,00	94,31	94,31	42,33	41,65	91,92	-16,39	17,69	4_AGRM_103042A_11-24	0,00	92,25	92,25	37,06	38,22	90,77	-20,42	16,85	5_AGRM_125023A_35-50	0,00	94,97	94,97	29,66	36,58	90,80	-16,24	22,71	13_AGRR_1415SLO_11-24	0,00	97,48	97,48	45,33	42,60	91,84	-17,61	27,37
1_AGRR_103026A_11-24	0,00	92,12	92,12	40,55	42,58	91,86	-19,29	19,93	2_AGRM_103011A_35-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4_AGRM_103014A_11-24	0,00	92,25	92,25	37,06	38,22	90,77	-20,42	16,85	5_AGRM_125023A_35-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13_AGRR_1416SLO_11-24	0,00	97,71	97,71	45,35	42,63	91,93	-17,71	25,38
1_AGRR_103026A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2_AGRM_103013A_11-24	0,00	94,15	94,15	40,40	40,97	91,46	-18,75	20,70	4_AGRM_103014A_24-35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5_AGRM_125024A_11-24	0,00	95,05	95,05	33,05	37,63	91,78	-19,92	20,69	Povprečje:	0,00	95,68	95,68	44,59	42,65	92,10	-20,96	23,66
1_AGRR_103032A_11-24	0,00	90,00	90,00	40,04	40,41	90,88	-14,83	26,07	2_AGRM_103013A_>50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4_AGRM_103014A_35-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5_AGRM_125025A_11-24	0,00	97,59	97,59	33,63	41,												

Priloga K: Specifično sproščanje tal v Sloveniji po modelu Komaca in Zorna (vir: Zorn in Mikoš, 2010)
Appendix K: Specific soil loss in Slovenia after the model of Komac and Zorn (source: Zorn in Mikoš, 2010)



Priloga L: Stopnja erozije v Alpah (vir: vir: Evropski center za raziskavo tal: <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/erosion/ClimChalp/>)
Appendix L: Erosion rate in the Alps (source: European Soil Centre: <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/erosion/ClimChalp/>)



Priloga M: Pan-Evropska karta ocene ogroženosti tal: karta PESERA (vir: Evropski center za raziskavo tal:
http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/pesera/pesera_data.html)

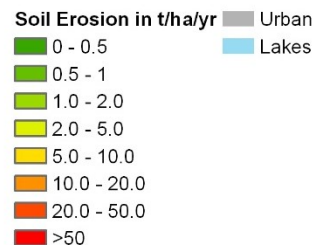
Appendix M: Pan-European Soil Risk Assessment: The PESERA Map (source: European Soil Centre:
http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/pesera/pesera_data.html)

These data have been prepared by the PESERA Project, European Commission funded fifth framework project - contract "QLK5-CT- 1999-01323". Further details are described in:

"Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73)."

Kirkby, M.J. et al. (2004). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18pp. and 1 map in ISO B1 format.

Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg



© 2005 Copyright, JRC, European Commission

Model run: PESERA103, October 2003, with Global Correction
Map produced by: Institute for Environment and Sustainability



Coordinate Reference System:
ETRS89 Lambert Azimutal Equal Area

