

# Nastanak i pokretljivost sedimenta onečišćenog teškim metalima u melioracijskim kanalima ravničarskih područja

---

Leko-Kos, Marija

Doctoral thesis / Disertacija

2019

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:133:189456>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-27**



GRAĐEVINSKI I ARHITEKTONSKI FAKULTET OSJEK  
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

*Repository / Repozitorij:*

[Repository GrAFOS - Repository of Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek](#)



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku  
Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek

Poslijediplomski sveučilišni studij Građevinarstvo

Doktorska disertacija

Nastanak i pokretljivost sedimenta onečišćenog  
teškim metalima u melioracijskim kanalima ravničarskih  
područja

Marija Leko-Kos

Osijek, veljača 2019. godine



Josip Juraj Strossmayer University of Osijek  
Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek

Postgraduate University Study Programme in Civil Engineering

Doctoral dissertation

Genesis and mobility of canal sediments polluted by heavy  
metals in lowland area

Marija Leko-Kos

Osijek, February 2019. godine

*Mami i tati,  
sa zahvalnošću*

*maminima, Davidu i Dori*

# Prosudbena povjerenstva i bibliografski podaci

## **Povjerenstvo za prihvaćanje teme doktorske disertacije**

Povjerenstvo za prihvaćanje teme doktorske disertacije imenovano je na *195. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, održanoj 27. ožujka 2018. g.*, u sastavu:

- 1. Izv. prof. dr. sc. Marija Šperac, dipl. ing. građ., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, predsjednica;*
- 2. Prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl. ing. građ., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, članica;*
- 3. Prof. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, član.*

Tema i mentorica doktorske disertacije prihvaćeni su odlukom Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na *197. redovitoj sjednici održanoj 24. travnja 2018. g.*

## **Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije**

Povjerenstvo za ocjenu doktorske disertacije imenovano je na *206. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, održanoj 29. siječnja 2019. g.*, u sastavu:

- 1. Izv. prof. dr. sc. Marija Šperac, dipl. ing. građ., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, predsjednica;*
- 2. Prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl. ing. građ., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, mentorica i članica;*
- 3. Prof. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, član.*

Doktorska disertacija prihvaćena je odlukom Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na *207. redovitoj sjednici održanoj 19. veljače 2019. g.*

## **Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije**

Povjerenstvo za obranu doktorske disertacije imenovano je na *207. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Građevinskog i arhitektonskog fakulteta Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, održanoj 19. veljače 2019. g.*, u sastavu:

- 1. Izv. prof. dr. sc. Marija Šperac, dipl. ing. građ., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, predsjednica;*
- 2. Prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl. ing. građ., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, mentorica i članica;*
- 3. Prof. dr. sc. Neven Kuspilić, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, član;*
- 4. Doc. dr. sc. Tamara Dadić, mag. ing. aedif., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek, zamjenska članica;*

Doktorska disertacija javno je obranjena *26. veljače 2019. g.* na Građevinskom i arhitektonskom fakultetu Osijek Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku.

Doktorska disertacija sadržava *126 stranica, 60 ilustracija, 25 tablica i 88 citiranih publikacija.*

Mentorica doktorske disertacije je *prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl. ing. građ., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.*

Istraživanje u okviru doktorske disertacije pripada *znanstvenom području tehničkih znanosti, znanstvenom polju građevinarstvo.*

## Izjava o akademskoj čestitosti

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je doktorska disertacija isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju korištene bilješke i bibliografija. Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno prepisan iz necitiranog rada te kako nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem kako nisam prijavila doktorsku disertaciju s istovjetnom temom na drugom studiju Sveučilišta ili na drugom sveučilištu.

Osijek, 26. veljače 2019. g.

Marija Leko – Kos





## **Predgovor**

Problem sedimenta melioracijskih kanala, osobito njegove kvalitete, u Hrvatskoj nije do sada sustavno obrađen. Kako se prilikom redovnog održavanja sa dna kanala izmulje značajne količine sedimenta koji se odlaže bez kontrole kvalitete radom se nastojalo doprinjeti i stvaranju dodatnih podloga za donošenje nacionalne zakonske regulative o postupanju sa sedimentom izvađenim iz melioracijskih kanala, s obzirom na stupanj onečišćenja izmuljenoga materijala teškim metalima. Istraživanje je fokusirano na melioracijski kanal ravničarskog područja unutar malog sliva s prethodno detektiranim onečišćenjem sedimenta teškim metalima sa ciljem definiranja hidroloških uvjeta u kojima se on pokreće i izlazi izvan granica mikrosлива.

Istraživanje je provedeno u sklopu internog znanstveno-istraživačkoga projekta „Utjecaj melioracijskih kanala na pronos onečišćenja nitratima i zadržavanje onečišćenja u nanosa u kanala“, nositelj projekta prof. dr. sc. Lidija Tadić, dipl. ing. građ., Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.

Profesorici Tadić, koja mi je bila i mentorica prilikom izrade ove doktorske disertacije, dugujem veliku zahvalnost na podršci i strpljenju za uvijek bar još jedan potreban dan više. Hvala profesorici Čulo na očuvanju pozitivnog stava tijekom trajanja studija.

Mojim dragim kolegama iz Instituta IGH hvala na stručnoj podršci. Za pomoć u terenskim radovima po širokim slavonskim poljima i dugim kanalima zahvaljujem djelatnicima Hrvatskih voda VGI Osijek i VGI Vuka kao i djelatnicima tvrtke Cesting d.o.o. Osijek.

Veliko hvala mojoj obitelji i prijateljima na razumijevanju, podršci i pomoći u svakom obliku, odnosno u najboljem mogućem koji su mi mogli pružiti.

Hvala članovima Povjerenstva na komentarima i prijedlozima za poboljšanje rada.



## Sažetak

Sve veća ljudska aktivnost vezana uz iskorištavanje zemljišta putem intenzivne poljoprivredne proizvodnje kao i sve veća urbanizacija dovodi do razvoja različitih antropogenih uzročnika onečišćenja na slivu. Sustav odvodnje na poljoprivrednim površinama i oborinska odvodnja otvorenim kanalima pojedinih slivnih područja čini jedinstveni sustav koji sve prikupljene oborinske vode odvodi do krajnjeg recipijenta prikupljajući i sva onečišćenja nastala na pripadajućim površinama i u njihovoj neposrednoj blizini.

Samim aktivnostima stvaraju se određena onečišćenja točkasta ili raspršena koja u većini slučajeva površinskim otjecanjem završavaju u otvorenim kanalima čim se stvara problem sedimenta u vidu taloženja znatnih količina potencijalno onečišćenog materijala.

U ovom radu analizira se hidrološki i hidraulički aspekt problema nastanka i dinamike (ne)pokretanja sedimenta u melioracijskim kanalima s ciljem formuliranja preporuka za daljnji tretman i postupak s velikim količinama sedimenta koji se svaki godine izmulji iz otvorene kanalske mreže. Budući da je zakonodavni okvir koji propisuje dopuštena onečišćenja sedimenta kao i upravljanje izumljenim materijalom iz melioracijskih kanala u Hrvatskoj u razvitku ovaj rad nastoji doprinijeti i ovom aspektu rješavanja problema. Jedan od razloga je zbog toga što su prema Planu upravljanja vodnim područjima obuhvaćene tekućice sa slivnom površinom većom od 10 km<sup>2</sup> i stajaćice s površinom vodnog lica od 0,5 km<sup>2</sup> dok 80 % duljine evidentiranih tekućica i 2 % površine evidentiranih stajaćica otpada na vrlo mala vodna tijela koja su u neposrednom kontaktu s izvorima onečišćenja, posebice teškim metalima.

Istraživanje je obuhvatilo mikrosliv površine 1,4 ha unutar nizinskog dijela slivnog područja rijeke Vuke u razdoblju od 2014. – 2017., glavni recipijent kanal Drobnjak duljine 2.686 m. Odabir mikrosлива proveden je na temelju analiza uzorkovanog sedimenta na deset potencijalno onečišćenih lokacija. Njegova onečišćenost pokazuje određena odstupanja od drugih europskih i svjetskih kriterija, posebice u pogledu koncentracije bakra. Modeliranje pronosa sedimenta izazvanog realnim kišnim epizodama i kišama 25 i 50-godišnjeg povratnog razdoblja programskim paketom HEC-RAS pokazala su njegovu slabu mobilnost u melioracijskim kanalima ravničarskih područja, odnosno mogućnost pokretanja u izuzetnim hidrološkim uvjetima. Mali vodotoci/kanali su upravo oni na kojima onečišćenje brže ostavlja traga, a teže je vratiti ga u prirodno ili zadovoljavajuće stanje. Time melioracijski kanali postaju spremnici onečišćenja koji nisu detektirani postojećim monitoringom. Ona po

nekim od kriterija ulaze u kategoriju sedimenata koji se ne bi smjeli odlagati na poljoprivredno zemljište. Pored toga onečišćenja se uslijed slabe pokretljivosti sedimenta zadržavaju na području mikrosлива. Napravljene analize ukazuju na nužnost provođenja analiza prije odlaganja.

**Ključne riječi:** mali sliv, kanal, sediment, onečišćenje, teški metali, pokretljivost sedimenta

## **Abstract**

The increasing human activity related to land utilization through intensive agricultural production as well as increasing urbanization leads to the development of various anthropogenic pollutants in the catchments. The drainage system on agricultural areas and drainage drainage in open canal of individual drainage areas constitutes a unique system that collects all precipitation waters to the final recipient by collecting the pollutants generated on the respective surfaces and in their immediate vicinity.

The same activities generate certain spotted and scattered pollutants that in most cases surface runoff end in open channels as soon as the sediment problem is created in the form of depositing significant amounts of potentially contaminated material.

This dissertation analyzes the hydrological and hydraulic aspect of emergence and (non) initiation of the sediment in the melioration channels with the aim of formulating recommendations for further treatment and the process with large amounts of sediment extracted every year from the open canal network. Since the legislative framework regulating permitted sediment contamination as well as the management of invented material from the melioration channels in Croatia in development, this paper also strives to contribute to this aspect of problem solving.

One of the reasons is the fact that watercourse management plans cover watercourses with a catchment area of more than 10 km<sup>2</sup> and stand with water surface of 0.5 km<sup>2</sup>, while 80% of the length of recorded liquids and 2% of the recorded stumps are waste on very small water bodies that are in direct contact with sources of contamination, especially heavy metals.

The study included a "micro-catchment" area of 1.4 ha within the lowland part of the Vuka River basin area in the period from 2013 to 2017, the main recipient channel of Drobniak length 2.686 m. Micro-catchment selection was performed based on sediment analysis 10 potential polluted location. Its contamination shows some deviations from other European and world criteria, especially in terms of copper concentrations. Modeling of sediment pronouns caused by real rainfall and rainfall of 25 and 50 years of return period with the HEC-RAS program package showed its poor mobility in melioration channels of flatland areas, apropos the possibility of starting in exceptional hydrological conditions. Small watercourses / channels are precisely those in which pollution leaves a trail faster, and it is more difficult to return it to a natural or satisfactory state. Thus, reclamation channels become pollution tanks

that are not detected by the existing monitoring. According to some of the criteria, they are included in a category that should not be disposed of on agricultural land, and in addition, contamination due to poor mobility of sediments is kept in the area of micro-basin. The analyzes made indicate the necessity of carrying out analyzes before disposal.

**Key words:** small catchments, cannal, sediment, pollution, heavy metals, sediment mobility

## Sadržaj

Popis ilustracija

Popis tablica

1. Uvod.....	22
1.1. Sediment u melioracijskim kanalima ravničarskih područja.....	22
1.2. Polazišta.....	27
2. Zakonska regulativa i planska dokumentacija .....	28
2.1. Postojeća zakonska regulativa i pristup tretmanu sedimenta u RH.....	28
2.2. Postojeća planska dokumentacija .....	35
2.3. Relevantna zakonska regulativa drugih zemalja .....	41
3. Istraživanja nastanka i onečišćenja sedimenta .....	51
3.1. Vrste nanosa .....	54
3.2. Mehanizam pokretanja nanosa .....	55
3.3. Onečišćenost nanosa/ izvori onečišćenja.....	56
3.3.1. Riječni sediment .....	57
3.3.2. Sediment u akumulacijama .....	58
3.3.3. Sediment u kanalima .....	58
3.4. Melioracijska odvodnja .....	59
3.5. Osvrt .....	60
3.6. Karakteristike teških metala .....	61
4. Hipoteze i ciljevi istraživanja.....	63
5. Materijali i metode .....	65
5.1. Opis slivnog područja.....	65
5.2. Terenska mjerenja – uzorkovanja.....	66
5.3. Laboratorijske analize.....	76
5.4. Geodetske podloge .....	80
5.5. Analiza pojave erozije .....	81
5.6. Numerički model .....	82
5.6.1. Modeliranje otjecanja sa „mikro-sliva“putem HEC-HMS-a.....	82



5.6.2. Simulacija transporta sedimenta.....	89
6. Analiza rezultata i rasprava.....	93
6.1. Analiza rezultata kišne epizode 13.05.2014. – 20.05.2014. ....	93
6.2. Analiza rezultata kišne epizode 19.09.2013 – 02.10.2013. ....	97
6.3. Analiza rezultata kišne epizode 25-godišnjeg povratnog razdoblja .....	100
6.4. Analiza rezultata kišne epizode 50-godišnjeg povratnog razdoblja .....	104
6.5. Rasprava .....	107
7. Zaključak.....	113
8. Popis literature .....	115
Curriculum vitae.....	125



## **Popis ilustracija**

Slika 2.1. Shema temeljne zakonske regulative koja se bavi sedimentom u RH.....	29
Slika 2.2. Shematski prikaz planske dokumentacije u RH.....	36
Slika 3.1. Shema onečišćenja i pronosa nanosa .....	51
Slika 5.1. Lokacije uzorkovanja kanalskog sedimenta .....	67
Slika 5.2. Čvorište Frigis (04.07.2017.) .....	67
Slika 5.3. HEP (10.05.2017.) .....	68
Slika 5.4. Državna cesta D7 2+800, 4. dionica (04.05.2017.).....	68
Slika 5.5. ŽC 4085 Željeznička ulica (04.05.2017) .....	68
Slika 5.6. Separator Južna obilaznica (18.05.2017) .....	69
Slika 5.7. Kanal Brijest nasuprot farme (21.04.2017.).....	69
Slika 5.8. Brijest nasuprot farme (21.04.2017.) .....	69
Slika 5.9. Velika Osatina (25.04.2017.) .....	70
Slika 5.10. Kanal Zoljani (25.04.2017.).....	70
Slika 5.11. Karta „mikro sliva“ kanala Drobnjak.....	71
Slika 5.12. Izljev kanala Drobnjak u rijeku Vuku.....	71
Slika 5.13. Kanal Drobnjak, stac. 0+120.....	72
Slika 5.14. Kanal Drobnjak 0+800.....	72
Slika 5.15. Kanal Drobnjak, stac. 1+800.....	73
Slika 5.16. Kanal Drobnjak, stac. 1+900.....	73
Slika 5.17. Kanal Drobnjak, stac. 2+200.....	73
Slika 5.18. Kanal Drobnjak, 2+360.....	74
Slika 5.19. Karta lokacija uzorkovanja na kanalu Drobnjak.....	74
Slika 5.20. Kanal Mač .....	75
Slika 5.21. Spoj kanala Punovci-Gorjani i kanala Mač.....	76
Slika 5.22 Mehanički sastav tla - kriteriji i granične vrijednosti .....	79
Slika 5.23. Uzdužni profil kanala Drobnjak.....	80
Slika 5.24. Poprečni profil kanala Drobnjak, stac 1+800.....	81
Slika 5.25. Dnevne oborine ( meteorološka postaja Osijek , 2013-2017).....	83
Slika 5.26. Otjecanje sa sliva za kišnu epizodu 26.09.2013. -03.10.2013. ....	85
Slika 5.27. Otjecanje sa sliva za kišnu epizodu : 13.05.2014. – 20.05.2014. ....	85

Slika 5.28. Količina oborina na stanici Osijek u funkciji trajanja i ponavljanja oborina (PTP krivulje) .....	86	
Slika 5.29. Otjecanje sa sliva za zadanu oborinu 25-godišnjeg povratnog razdoblja .....	87	
Slika 5.30. Otjecanje sa sliva za zadanu oborinu 50-godišnjeg povratnog razdoblja .....	88	
Slika 5.31. Otjecanje sa sliva za zadanu oborinu 100-godišnjeg povratnog razdoblja .....	88	
Slika 6.1. Brzine duž kanala u vremenskim razmacima od 24 h .....	93	
Slika 6.2. Visina vodnog lica duž kanala u vremenskim razmacima od 24 h .....	94	
Slika 6.3. Promjena dna kanala	Slika 6.4. Promjena dna kanala .....	94
Slika 6.5. Promjena visine dna kanala	Slika 6.6. Promjena visine dna kanala .....	95
Slika 6.7. Promjena visine dna kanala	Slika 6.8. Promjena visine dna kanala .....	95
Slika 6.9. Promjena nivelete dna kanala .....		96
Slika 6.10. Uzdužna promjena volumena dna po frakcijama .....		96
Slika 6.11. Brzine duž kanala .....		97
Slika 6.12. Visina vodnog lica duž kanala .....		97
Slika 6.13. Uzdužna promjena volumena dna po frakcijama .....		98
Slika 6.14. Uzdužni profil promjena nivelete dna kanala .....		99
Slika 6.15. Relativne promjene nivelete dna kanala .....		99
Slika 6.16. Brzine duž kanala u vremenskim razmacima od 24 h .....		100
Slika 6.17. Visina vodnog lica duž kanala u vremenskim razmacima od 24 h .....		100
Slika 6.18. Uzdužni profil promjene nivelete dna kanala .....		101
Slika 6.19. Relativna promjena dna kanala .....		102
Slika 6.20. Kumulativna promjena volumena sedimenta dna po frakcijama .....		102
Slika 6.21. Uzdužna promjena volumena dna po frakcijama .....		103
Slika 6.22. Brzine duž kanala u vremenskim razmacima od 24 h .....		104
Slika 6.23. Visina vodnog lica duž kanala .....		104
Slika 6.24. Relativna promjena nivelete dna kanala po stacionažama .....		105
Slika 6.25. Uzdužni profil promjene dna kanala .....		105
Slika 6.26. Kumulativna promjena volumena dna po frakcijama .....		106
Slika 6.27. Uzdužna promjena volumena dna po frakcijama .....		107

## **Popis tablica**

Tablica 1.1 Prijedlog graničnih vrijednosti teških metala u sedimentu (Frančišković-Bilinski i dr., 2017) .....	25
Tablica 2.1. Standardi kakvoće za ocjenu kemijskog stanja površinskih voda, Popis prioriternih tvari ( Uredba o standardu kakvoće voda, Prilog 5.A) .....	31
Tablica 2.2. Maksimalno dopuštene koncentracije teških metala u poljoprivrednom zemljištu .....	34
Tablica 2.3. Maksimalno dopuštene koncentracije teških metala u obrađenom mulju.....	34
Tablica 2.4. Preporuke za određivanje kvalitete sedimenta (MacDonald i dr., 2000) .....	42
Tablica 2.5. Nizozemski sustav klasifikacije sedimenta .....	44
Tablica 2.6. MDK teških metala u sedimentu prema nizozemskim i kanadskim preporukama. ....	44
Tablica 2.7. Usporedbe postojećih preporuka za izmuljeni materijal i teške metale koje se primjenjuju u EU (Dalmacija, 2013).....	45
Tablica 2.8. Geokemijske osobine sedimenta i njihov značaj (Dalmacija, 2013).....	46
Tablica 2.9. Vrijednosti teških metala propisane Uredbom o graničnim vrijednostima kvalitete sedimenta u RS .....	47
Tablica 2.10. Konstante u ovisnosti o vrsti metala .....	48
Tablica 2.11. Vrijednosti teških metala propisane Uredbom o graničnim vrijednostima kvalitete sedimenta u RS prilikom odlaganja.....	48
Tablica 2.12. Način postupanja s izmuljenim sedimentom Republici Srbijij .....	49
Tablica 3.1. Količine iskopanog i izmuljenog materijala pod upravljanjem VGI Vuka, 2013. – 2017. godine .....	53
Tablica 5.1. Analiza teških metala odabranih lokacija.....	76
Tablica 5.2. Analiza teških metala u sedimentu na kanalu Drobnjak .....	77
Tablica 5.3 Analiza teških metala u sedimentu rijeke Vuke, 0-030 i 0+010 u odnosu na ušće kanala Drobnjak .....	78
Tablica 5.4. Odabrane kišne epizode 2013.-2017. ....	84
Tablica 5.5. Računske kišne epizode na osnovu 25, 50 i 100 godišnjih povratnih perioda....	86
Tablica 6.1. Promjene dna kanala po stacionažama .....	108



# 1. Uvod

## 1.1. Sediment u melioracijskim kanalima ravničarskih područja

Sve veća ljudska aktivnost vezana uz korištenje zemljišta putem intenzivne poljoprivredne proizvodnje kao i sve veće urbanizacije dovodi do razvoja različitih antropogenih uzročnika onečišćenja na slivu. Samim aktivnostima stvaraju se određena onečišćenja točkasta ili raspršena koja u većini slučajeva površinskim otjecanjem završavaju u otvorenim kanalima. Kanalska mreža na pojedinim slivnim područjima čini jedinstveni sustav koji sve prikupljene oborinske vode odvodi do krajnjeg recipijenta prikupljajući i sva onečišćenja nastala na pripadajućim površinama, pri čemu, zbog malih brzina tečenja dio onečišćenja ostaje u sedimentu. Osnovni izvori onečišćenja mogu se svrstati u tri skupine - onečišćenja od poljoprivrede, prometa i industrije.

Sve intenzivnija poljoprivredna proizvodnja, uz primjenu raznih zaštitnih sredstava po pojedinim kulturama uzrokuje značajan utjecaj kako na samo tlo, a samim tim i na podzemne i površinske vode. Analize utjecaja poljoprivredne proizvodnje kako na tlo tako i na vode prati se već dugi niz godina (Weston i dr., 2004, Zhang i dr., 2008., Romić i dr., 2014).

Osim toga, razvoj cestovne infrastrukture jedan je od glavnih čimbenika sveukupnog razvoja i kao takav u neprestanom je porastu. Istovremeno s povećanjem cestovnog prometa povećava se onečišćenje koje nastaje međusobnim djelovanjem vozila i ceste, onečišćuje se zrak, tlo, površinske i podzemne vode, ali i sediment koji ostaje u cestovnim kanalima (Buz i dr., 1997, Hubera i dr., 2016, Markiewicz i dr. 2017).

Većina oborinske odvodnje iz manje urbaniziranih naselja usmjerena je prema otvorenim oborinskim kanalima te većina onečišćenja opet završi u cestovnim i melioracijskim kanalima dok se samo manji dio prikuplja mješovitim sustavim odvodnje.

Pojava sedimenta u vodotocima je hidrološka i hidraulička pojava koja utječe na morfologiju vodotoka, kako prirodnih tako i umjetnih. Nizinska područja u pravilu nisu jako ugrožena erozijom, ipak se tisuće tona muljnog sedimenta godišnje izvade iz melioracijskih kanala (Ferrero, 2002). Kvaliteta, odnosno stupanj onečišćenosti sedimenta također se razlikuje u prirodnim i umjetnim vodotocima, npr. koncentracija teških metala višestruko je veća u umjetnim vodotocima (kanalima) nego u prirodnim vodotocima (Ferrato i dr., 2013). Godišnja akumulacija sedimenta u kanalima je velika, a povećava ju smanjeno održavanje

kanala, zadržavanje uslijed obrasta kanala vegetacijom i smanjena količina vode što u kvalitativnom smislu utječe na njegovu stabilnost i mogućnost pronosa u okoliš, posebice podzemne vode (Haetley i Dickinson, 2010). Slična je situacija i u Hrvatskoj i to osobito u njezinom kontinentalnom dijelu gdje je samo na području Vodnogospodarske ispostave za mali sliv „Vuka“ u 2016. godini izvađeno oko je 112 000 m<sup>3</sup> sedimenta i sve na području koje prema riziku od vodne erozije, spada u područje niskog rizika (Hrvatske vode, podaci o održavanju melioracijskih kanala).

O tim problemima posljednjih godina ima sve više istraživanja, posebice u Nizozemskoj i Italiji (Lawrence, 1998., Kalderman, 2000, 2001, Maggi, 2002). Onečišćujuće tvari koje dominiraju u sedimentu su fosfor i teški metali, a najveći uzročnici onečišćenja su promet i poljoprivreda, a koncentracije variraju ovisno o hidrološkim i hidrografskim karakteristikama sliva (trajanju i intenzitetu oborina, pojavnosti velikih voda i povezanosti s ostalom hidrografskom mrežom i uvjetima onečišćenja u njoj), lokalnim geografskim uvjetima i sl.

Svijest o potrebi praćenja i osiguravanja kvalitete vode prisutna je dugi niz godina i aktivnosti poduzete u posljednjih dvadeset godina doprinijele su poboljšanju uvjeta za održavanje kvalitete podzemnih voda. Upravo sve veća zabrinutost za očuvanjem vodenih ekosustava, zbog činjenice kako mnoge toksične tvari koje se u vodi pojavljuju samo u tragovima, dovela je do potrebe pristupanja sedimentu kao spremnicima onečišćujućih tvari. Isto tako, kao takvi spremnici mogu predstavljati i potencijalni izvor onečišćenja u vodenom ekosustavu uslijed promjena uvjeta u recipijentu (npr. tijekom anoksičnih uvjeta, poslije jakih intenzivnih oborina i sl.) i posljedično mogu biti izvor negativnih ekoloških posljedica.

Sedimenti s povišenim sadržajem teških metala mogu imati nepovoljan utjecaj na kvalitetu i upotrebljivost vode u kanalima kao i na stanje okoliša osobito poljoprivredne površine na koje se razastiru (Savić i dr., 2005), te mu se treba posvetiti pažnja prilikom odlaganja.

Istraživanjima u svijetu najviše je obuhvaćen problem onečišćenja teškim metalima u riječnom sedimentu (Szalinska, i dr., 2006, Pandey i dr. 2017), a zatim u akumulacijama (Avila-Perez i dr. 1999, Carneiro i dr., 2014). Istraživanja onečišćenja sedimenta u melioracijskim kanalima su rjeđa i uglavnom su to bila ciljana istraživanja vezana uz konkretne probleme na određenom području (Bellucci i dr., 2002, Krčmar i dr. 2007, 2008).

Pristupimo li sedimentu kao bitnom čimbeniku u okolišnim istraživanjima i monitoringu, budući da djeluje kao potencijalni spremnik niza opasnih tvari i svojevrsni vremenski zapis



onečišćenja, poznavanje njegovog sastava prilikom odlaganja izvan kanala isto tako predstavlja bitan čimbenik.

Kako u Hrvatskoj ne postoji regulativa koja se odnosi na odlaganje izmuljenog sedimenta s obzirom na sastav ili količinu, s materijalom se postupa u okvirima postojeće regulative, odlaže se unutar zaštitnog pojasa ili se tretira kao otpad.

Primjerice, pri održavanju cestovnih kanala, posebna pažnja se posvećuje održavanju cestovnih propusta, čijim se smanjivanjem protočnog profila uslijed taloženja sedimenta stvaraju problemi lokalnog plavljenja okolnih površina. Evidencija o količini izmuljenog materijala nije poznata, materijal se ili tretira kao otpad i predaje ovlaštenoj tvrtki ili se odlaže uz sam kanal.

Kvaliteta izmuljenog materijala se ne analizira niti je zakonski definiran način odlaganja s obzirom na količinu i kvalitetu izmuljenog materijala.

U svim razvijenim zemljama prisutan je problem onečišćenja sedimenta. Prva ispitivanja toksičnosti sedimenta napravljeni su u Sjevernoj Americi (SAD i Kanada) te je uspostavljena regulativa za provedbu monitoring i određivanje njegove kvalitete. U susjednoj Vojvodini napravljen je niz analiza vezanih uz kvalitetu sedimenta i sadržaja teških metala ( Ivančev-Tumbas i dr., 2004, Dalmacija i Rončević, 2013). Problem onečišćenosti sedimenta akumuliranog u kanalima postaje tema interesa znanstvenika osobito nakon donošenja Okvirne direktive o vodama EU (WFD 2000/60/EC) koja mijenja pristup na području upravljanja vodenim sustavima, te nalaže praćenje kvalitete sedimenata kao sastavnih dijelova akvatičnih sustava.

To otvara nekoliko novih problema: problem monitoringa, problem legislative u smislu dozvoljenih graničnih vrijednosti onečišćenja, problem odlaganja i problem remedijacije.

Kako je navedeno, problem odlaganja sedimenta izvađenog iz melioracijskih kanala u Hrvatskoj postoji, ali nema potrebnih podloga i istraživanja na temelju koje bi se mogla napraviti kvalitetna legislativa. Prihvaćenjem Okvirne direktive o vodama EU (WFD 2000/60/EC) preuzeta je i obaveza monitoringa površinskih voda i sedimenta prema kojoj svaka zemlja članica treba izvršiti identifikaciju zagađenih sedimenata budući da isti mogu predstavljati prepreku u uspostavljanju dobrog ekološkog statusa vodnog tijela. Zakon o vodama ( NN 153/09, 63/11, 130/11, 53/13, 14/14, 46/18), standard kakvoće voda definira kao koncentraciju određene onečišćujuće tvari ili skupine onečišćujućih tvari u vodi,

sedimentu ili bioti koje ne bi smjele biti prekoračene u cilju zaštite ljudskog zdravlja i vodnog okoliša. Hrvatske vode 2006. godine pokreću preliminarne aktivnosti na monitoringu sedimenta s dosta ograničenim brojem postaja. Do danas se broj postaja znatno povećao te su obuhvaćeni najznačajniji vodotoci RH. Planom upravljanja vodnim područjima 2016.-2021. definirana su stanja tijela površinskih voda kroz njegovo ekološko stanje/potencijal i kemijski sastav, ovisno koja je od tih dviju ocjena lošija. Kemijsko stanje, koje je interesantno za sam rad, izražava prisutnost prioriternih i drugih mjerodavnih onečišćujućih tvari u površinskoj vodi, sedimentu i bioti. Dokumentom „Izrada prijedloga graničnih vrijednosti za određene opasne tvari u sedimentu kopnenih površinskih voda“ (Frančišković-Bilinski i dr., 2017) dan je prijedlog graničnih vrijednosti za 7 teških metala i 1 metaloid u sedimentu kopnenih površinskih voda koji ide u pravcu sljedećega koraka u razvoju monitoringa sedimenta i odnosi se na procjenu njegovog onečišćenja. Pri tome termin "Površinske vode" označava kopnene vode, osim podzemnih voda; prijelazne vode i priobalne vode, osim u pogledu kemijskog statusa, za koji to uključuje i teritorijalne vode, dok termin "Kopnene vode" označava sve stajaće ili tekuće vode na površini kopna i sve podzemne vode na kopnenoj strani od temeljne linije od koje se mjeri širina teritorijalnih voda. U nedostatku važeće legislative navedeni prijedlozi vrijednosti koristit će se kao relevantni.

Trenutno se sa sedimentom postupa na način da ga se tretira kao otpad ili ga se odlaže unutar zaštitnog pojasa kanala, sve bez prethodnih analiza. Prijedlog graničnih vrijednosti dan u sklopu "Izrada prijedloga graničnih vrijednosti za određene opasne tvari u sedimentu kopnenih površinskih voda" prikazan je u tablici 1.1.

*Tablica 1.1 Prijedlog graničnih vrijednosti teških metala u sedimentu (Frančišković-Bilinski i dr., 2017)*

<b>Element</b>	<b>kadmij</b>	<b>olovo</b>	<b>nikal</b>	<b>živa</b>	<b>bakar</b>	<b>krom</b>	<b>cink</b>	<b>arsen</b>
<b>mg kg<sup>-1</sup></b>	0,6	31	47	0,25	28	57	90	10

U Hrvatskoj ovaj prijedlog čini značajniji pomak, jer su, kako se i navodi u samom zaključku prijedloga, predložene granične vrijednosti dobra osnova za buduću legislativu u tom području. Isto tako se navodi kako je poželjno narednih 5 godina pratiti trendove vrijednosti koncentracija elemenata u sedimentima hrvatskih rijeka na svim dosada praćenim postajama koje ne udovoljavaju predloženim kriterijima. Predlaže se također provođenje još jedne detaljne evaluacije nakon čega je moguća i korekcija graničnih vrijednosti.

Održavanja kanala se provode za sve to vrijeme bez propisanih vrijednosti za kvalitetu sedimenta pri čemu će do revidiranja važećih vodopravnih akata za točkaste izvore onečišćenja i uspostave istraživačkog monitoringa, izumljeni sediment iz melioracijskih kanala biti odlagan na poljoprivredne površine bez prethodne kontrole.

## **1.2. Polazišta**

Kako u Republici Hrvatskoj ne postoji važeća legislativa vezana uz odlaganje riječnih i ostalih sedimenta u primjeni, u nastavku je prikazan pregled postojeće domaće legislative koja je u fazi formiranja i na razini planskih dokumenata, te EU i drugih zemalja kao i iskustva zemalja koja provode praćenja onečišćenja sedimenta duži niz godina.

Bitno je za naglasiti, budući da će se rad baviti manjim vodnim tijelima, kako su analizama u Planu upravljanja vodnim područjima obuhvaćene tekućice sa slivnom površinom većom od 10 km<sup>2</sup> i stajaćice s površinom vodnog lica od 0,5 km<sup>2</sup>. 80 % duljine evidentiranih tekućica i 2% površine evidentiranih stajaćica otpada na vrlo mala vodna tijela za koje se ne provodi tipizacija ni ocjenjivanje prema odredbama Okvirne direktive o vodama. Za sva takva tijela ocjenjivanje se vrši prema standardima koji vrijede za veće vodno tijelo s kojim su u površinskom kontaktu ili koji vrijede za najbliže ili najprimjerenije tijelo. Ocjenjivanje na manjim vodnim tijelima na osnovu monitoringa nije u skorom planu te, sva događanja na području nekog podsliva neće biti evidentirana ukoliko se zadrže unutar istoga. Mali vodotoci, uključujući i kanale, su upravo oni na kojima onečišćenje brže ostavlja traga, a teže je vratiti ga u prirodno ili zadovoljavajuće stanje.

Time su definirana osnovna polazišta:

- Antropogeni utjecaji na slivu, sve ljudske aktivnosti vezane uz korištenje zemljišta i voda od izgradnje i održavanja do poljoprivredne proizvodnje stvaraju određena onečišćenja točkasta i raspršena koja u većini slučajeva površinskim otjecanjem završavaju u otvorenim kanalima.
- Nastanak i pronos sedimenta na malim slivovima kao i njegovo odlaganje predstavlja veliki problem, osobito na malim slivovima pod izrazitim antropogenim onečišćenjem.
- Prema važećoj regulativi najmanja prostorna jedinica je 10 km<sup>2</sup>, čime se zanemaruju manje površine koje su direktno pod utjecajem onečišćenja i nisu predmet monitoringa, osim u slučaju točkastih onečišćenja
- Monitoring sedimenta na vodotocima ne daje realnu sliku onečišćenog sedimenta.
- Potrebno je definirati model koji bi pokazao kakav je pronos onečišćenog sedimenta iz kanala nižeg reda, do kanala višeg reda i konačnog recipijenta i njegovo zadržavanje u malom slivu, osjetljivom i ranjivom području.

## **2. Zakonska regulativa i planska dokumentacija**

### **2.1. Postojeća zakonska regulativa i pristup tretmanu sedimenta u RH**

Melioracijski kanali izmuljuju se prema planu održavanja pojedinih vodnogospodarskih ispostava. Često se izmuljivanju kanala pristupa sukladno ukazanoj potrebi, odnosno prilikom nastupanja zamuljenja u toj mjeri da pojedini cijevni propusti izazivaju uspore i onemogućuju otjecanje vode ili se vrše u sklopu redovnog održavanja kanalske mreže. Ne postoji monitoring kod pojedinih slivova kojima bi mogao definirati vremensku i količinsku dinamiku izmuljivanja. Prema dosadašnjoj praksi i iskustvu, u kanalima se tijekom četiri do pet godina nataloži cca 20-30 cm sedimenta i takvom dinamikom se i vrši izmuljivanje.

Nakon izmuljivanja, izmuljeni materijal se odlaže se na površinu uz rub kanala, što je slučaj kod melioracijskih kanala u poljoprivrednim područjima. Praksa kod cestovnih kanala je takava da se pod pretpostavkom onečišćenja izmuljenog materijala, uglavnom odvozi na odlagalište sukladno zakonskoj regulativi, bez prethodne provjere kvalitete izmuljenog materijala.

Promatrajući kanalski sediment i zakonsku regulativu sukladno kojoj se u praksi tretira isti, u nastavku će se dati osvrt na dijelove u skladu s kojim se postupa sa sedimentom ili gdje se uopće spominje. Kvaliteta kanalskog sedimenta na kojem se rad temelji nije predmet niti jednog pravilnika niti zakona, osvrt se veže na riječni sediment. Sav monitoring koji je propisan, propisan je u cilju monitoringa sedimenta u vodotoku i zakonska regulativa se ne bavi sedimentom nakon što je uklonjen iz kanala.

Problem kanalskog sedimenta je dvojak. Jedan je problem njegove kvalitete s obzirom na stanje vodnog tijela, a drugi je problem daljeg postupanja s izmuljenim materijalom. Na slici 2.1. prikazana je shema temeljne zakonske regulative Republike Hrvatske koja se direktno ili indirektno bavi problemom sedimenta općenito.



Slika 2.1. Shema temeljne zakonske regulative koja se bavi sedimentom u RH

Zakonski propisi u smislu pravilnika kojim se definiraju granične vrijednosti za ocjenu kvalitete izmuljenog sedimenta u hrvatskom zakonodavstvu su u fazi pripreme i izrade, temeljem važeće zakonske regulative.

- **Zakonom o vodama** (NN153/09, 63/11, 130/11, 56/13, 14/14) standard kakvoće voda (Čl.3) definiran je kao koncentracija određene onečišćujuće tvari ili skupine onečišćujućih tvari u vodi, sedimentu ili bioti koje ne bi smjele biti prekoračene u cilju zaštite ljudskog zdravlja i vodnog okoliša. Ovakva definicija sediment svrstava u medij kojem se treba pratiti kakvoća.

Sukladno članku 40. Zakona o vodama neki od ciljeva zaštita voda od onečišćenja su:

- očuvanje života i zdravlja ljudi,
- zaštita vodnih ekosustava i drugih o vodi ovisnih ekosustava,
- zaštita prirode,
- smanjenje onečišćenja i sprječavanja daljnjeg pogoršanja stanja voda,
- zaštita i unapređenje stanja površinskih voda, uključivo i priobalne vode te podzemnih voda, kao i radi uspostave prijašnjeg stanja gdje je ono bilo povoljnije od sadašnjeg,
- omogućavanje neškodljivog i nesmetanog korištenja voda za različite namjene.

Zakonom o vodama definirani su radovi na održavanju voda, između ostalih i održavanje građevina za osnovnu melioracijsku odvodnju. Održavanje obuhvaća:

- čišćenje, tehničko i vegetativno održavanje građevina i pojasa uz građevine,
- zemljane radove na manjim izmjenama na kanalskoj mreži,
- održavanje izljeva ispusta drenažnih cijevi,
- održavanje građevina za sprječavanje i otklanjanje erozija i sprječavanje djelovanja bujica.

Svi radovi na održavanju izvode se sukladno općim i tehničkim uvjetima koje donose Hrvatske vode. Program radova održavanja izrađuju Hrvatske vode prije donošenja Plana upravljanja vodama, samo radovi održavanja smatraju se jednostavnim radovima prema posebnom propisu koji uređuje jednostavne građevine i radove.

Prilikom izmuljivanja kanala, izmuljeni materijal se odlaže u pojasa za održavanje. Uz građevine detaljne melioracijske odvodnje, a tako i uz građevine za navodnjavanje, pojas u širini od 3 m od vanjskog ruba te građevine služi održavanju. Poljoprivredna proizvodnja koja se obavlja u pojasa za održavanje obavlja se na rizik vlasnika. Zakon o vodama, Članak 124., navodi kako se održavanje građevina treba obavljati u dogovoru s vlasnikom (korisnikom) koji je dužan omogućiti pristup u dobroj vjeri i razumnom roku. U slučaju nepostizanja dogovora, radovi se izvode na način kojim se čini najmanja šteta vlasniku (korisniku).

Na temelju članka 41. stavka 1. Zakona o vodama donesena je:

- ***Uredba o standardu kakvoće voda (NN 73/13, 151/14, 78/15 i 61/16)*** kojom se „propisuje standard kakvoće voda za površinske vode, uključivo i priobalne vode i vode teritorijalnog mora te podzemne vode, posebni ciljevi zaštite voda, kriteriji za utvrđivanje ciljeva, zaštite voda, uvjeti za produženje rokova za postizanje ciljeva zaštite voda, elementi za ocjenjivanje stanja voda, monitoring stanja voda i izvještavanje o stanju voda.“

Uredbom su definirani posebni ciljevi zaštite voda kao i kriteriji za utvrđivanje manje strogih ciljeva i privremeno pogoršanje stanja. Uredbom je propisana potreba provođenja monitoringa sedimenta te se u 3. točki članka 22 navodi kako se određuje učestalost praćenja prisutnosti tvari navedenih u točkama 1. i 2. ovoga stavka u bioti i/ili sedimentima.

U članku 33. Uredbe navodi se kako se prioritetne tvari koje se navode u Prilogu 5 uredbe, koje pokazuju tendenciju akumuliranja u sedimentima i/ili bioti, prate dugoročna kretanja koncentracija na temelju stanja voda sukladno člancima 28. do 32. iste uredbe. Sa ciljem osiguravanja pouzdanih analiza dugoročnih trendova utvrđuje se učestalost praćenja sedimenta i/ili biote. Praćenje treba obavljati svake tri godine, ako se na temelju tehničkih znanja i stručne procjene ne utvrdi neko drugo razdoblje.

Prioritetne tvari su tvari ili skupine tvari iz Priloga 5.A Uredbe koje predstavljaju značajan rizik za vode, uključujući i rizik za vode koje se zahvaćaju za piće. Za prioritetne tvari se planiraju mjere s ciljem postupnog ograničenja njihovog ispuštanja, emisija i rasipanja, Među tim tvarima su utvrđene „prioritetne opasne tvari“, označene oznakom x za koje se planiraju mjere zabrane ili ograničenja ispuštanja, emisija i rasipanja.

*Tablica 2.1. Standardi kakvoće za ocjenu kemijskog stanja površinskih voda, Popis prioritetnih tvari ( Uredba o standardu kakvoće voda, Prilog 5.A)*

Broj	CAS broj <sup>(1)</sup>	EU broj <sup>(2)</sup>	Naziv prioritetne tvari <sup>(3)</sup>	Utvrđena kao prioritetna opasna tvar
(1)	15972-60-8	240-110-8	Alaklor	
(2)	120-12-7	204-371-1	Antracen	X
(3)	1912-24-9	217-617-8	Atrazin	
(4)	71-43-2	200-753-7	Benzen	
(5)	ne primjenjuje se	ne primjenjuje se	Bromirani difenileter <sup>(4)</sup>	X <sup>(5)</sup>
	32534-81-9	ne primjenjuje se	Pentabromodifenileter (kongeneri pod brojevima 28, 47, 99, 100, 153 i 154)	
(6)	7440-43-9	231-152-8	Kadmij i njegovi spojevi	X
(7)	85535-84-8	287-476-5	Kloroalkani, C10-13 <sup>(4)</sup>	X
(8)	470-90-6	207-432-0	Klorofenvinfos	
(9)	2921-88-2	220-864-4	Klorpirifos (klorpirifos-etil)	
(10)	107-06-2	203-458-1	1,2-dikloroetan	
(11)	75-09-2	200-838-9	Diklorometan	
(12)	117-81-7	204-211-0	Di(2-etilheksil)ftalat (DEHP)	
(13)	330-54-1	206-354-4	Diuron	
(14)	115-29-7	204-079-4	Endosulfan	X
(15)	206-44-0	205-912-4	Fluoranten <sup>(6)</sup>	
(16)	118-74-1	204-273-9	Heksaklorobenzen	X



(17)	87-68-3	201-765-5	Heksaklorobutadien	X
(18)	608-73-1	210-158-9	Heksaklorocikloheksan	X
(19)	34123-59-6	251-835-4	Izoproturon	
(20)	7439-92-1	231-100-4	Olovo i njegovi spojevi	
(21)	7439-97-6	231-106-7	Živa i njezini spojevi	X
(22)	91-20-3	202-049-5	Naftalen	
(23)	7440-02-0	231-111-14	Nikal i njegovi spojevi	
(24)	25154-52-3	246-672-0	Nonilfenol	X
	104-40-5	203-199-4	(4-nonilfenol)	X
	1806-26-4	217-302-5	Oktilfenol	
(25)	140-66-9	ne primjenjuje se	(4-(1,1',3,3'-tetrametilbutil)fenol)	
(26)	608-93-5	210-172-5	Pentaklorobenzen	X
Broj	CAS broj (1)	EU broj (2)	Naziv prioritetne tvari (3)	Utvrđena kao prioritetna opasna tvar
(27)	87-86-5	231-152-8	Pentaklorofenol	
(28)	ne primjenjuje se	ne primjenjuje se	Poliaromatski ugljikovodici	X
	50-32-8	200-028-5	(benzo(a)piren)	X
	205-99-2	205-911-9	(benzo(b)fluoranten)	X
	191-24-2	205-883-8	(benzo(g,h,i)perilen)	X
	207-08-9	205-916-6	(benzo(k)fluoranten)	X
	193-39-5	205-893-2	(indeno(1,2,3-cd)piren)	X
(29)	122-34-9	204-535-2	Simazin	
(30)	ne primjenjuje se	ne primjenjuje se	Tributilkositrovi spojevi	X
	36643-28-4	ne primjenjuje se	(Tributilkositar kation)	X
(31)	12002-48-1	234-413-4	Triklorobenzeni	
(32)	67-66-3	200-663-8	Triklorometan (kloroform)	
(33)	1582-09-8	216-428-8	Trifluralin	

<sup>(1)</sup> CAS: Chemical Abstracts Service.

<sup>(2)</sup> EU broj: Europski popis postojećih komercijalnih tvari, (Einecs), ili Europski popis novih kemijskih tvari (Elincs).

<sup>(3)</sup> U slučajevima kad su izabrane skupine tvari, tipične reprezentativne pojedinačne tvari navode se kao indikativni pokazatelji (u zagradama i bez broja). Za te skupine tvari indikativni se pokazatelji moraju utvrditi metodom analize.

<sup>(4)</sup> Te skupine tvari obično uključuju znatan broj pojedinačnih spojeva. Indikativne pokazatelje trenutno nije

moгуće navesti.

<sup>(5)</sup> Samo pentabromodifenileter (CAS broj 32534-81-9).

<sup>(6)</sup> Fluoranten je na popisu naveden kao pokazatelj drugih, opasnijih poliaromatskih ugljikovodika.

Sukladno članku 47. Zakona o vodama i odredbama ove Uredbe poduzimaju se mjere kako bi se osiguralo da se koncentracije tvari iz stavka 1. ovoga članka znatno ne povećavaju u sedimentu i/ili relevantnoj bioti.

Temeljem Zakona o vodama Članka 34, sukladno kojem su propisani Planski dokumenti upravljanja vodama donošeni su Plan upravljanja vodama za razdoblje od 2013.-2015., te Plan upravljanja vodnim područjima 2016.-2021.

➤ ***Pravilnik o zaštiti poljoprivredno zemljišta od onečišćenja 39/2013 (NN 9/2014)***

Pravilnikom se utvrđuju tvari koje se smatraju onečišćivačima poljoprivrednog zemljišta, njihove najviše dopuštene količine u tlu, mjere sprječavanja onečišćenja zemljišta, s ciljem da se zemljište zaštititi od onečišćenja i degradacije i održi u stanju koje ga čini povoljnim staništem za proizvodnju zdravstveno ispravne hrane, radi zaštite zdravlja ljudi, životinjskog i biljnog svijeta, nesmetanog korištenja, zaštite prirode i okoliša.

Kako bi se osigurala zaštita zemljišta od onečišćenja, provodi se zabrana, sprječavanje i ograničavanje unošenja onečišćujućih tvari u zemljište kao i poduzimanje drugih mjera za njegovo čuvanje.

Pravilnikom su definirane onečišćujuće tvari, a to su teški metali (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb i Zn) i potencijalno toksični esencijalni elementi, organske onečišćujuće tvari (pesticidi, industrijske kemikalije, nusproizvodi izgaranja i industrijskih procesa) i patogeni organizmi.

Izvori onečišćenja su: industrijska proizvodnja i usluge, industrijski otpad, gradski otpad, naftna industrija, rudarstvo, elektrane, skladišta, vojna aktivnost, promet, transportni izljevi, poljoprivredna djelatnost, incidentne situacije i ostalo.

Pravilnik određuje maksimalno dopuštene količine onečišćujućih tvari u poljoprivrednom zemljište. Tablica 2.2. prikazuje maksimalno dopuštene koncentracije teških metala u poljoprivrednom zemljištu.

Tablica 2.2. *Maksimalno dopuštene koncentracije teških metala u poljoprivrednom zemljištu*

<b>Teški metali mg kg<sup>-1</sup></b>	<b>kadmij</b>	<b>krom</b>	<b>bakar</b>	<b>živa</b>	<b>nikal</b>	<b>olovo</b>	<b>cink</b>
<b>Pjeskovito tlo</b>	0-0,5	0-40	0-60	0-0,5	0-30	0-50	0-60
<b>Praškasto- ilovasto tlo</b>	0,5-1	40-80	60-90	0,5-1	30-50	50-100	60-150
<b>Glinasto tlo</b>	1-2	80-120	90-120	1-1,5	50-75	100-150	150-200

➤ ***Pravilnik o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi (NN 38/08)***

Zakonska regulativa posebno obrađuje odlaganje mulja iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda pri korištenju istoga u poljoprivredi Pravilnikom o gospodarenju muljem iz uređaja za pročišćavanje otpadnih voda kada se mulj koristi u poljoprivredi. Ovim Pravilnikom definiraju se vrijednosti dopuštenih sadržaja teških metala u obrađenom mulju kada se isti koristi u poljoprivredi ( Tablica 2.3).

Tablica 2.3. *Maksimalno dopuštene koncentracije teških metala u obrađenom mulju*

<b>Teški metali mg kg<sup>-1</sup> S.T.</b>	<b>kadmij</b>	<b>bakar</b>	<b>nikal</b>	<b>olovo</b>	<b>cink</b>	<b>živa</b>	<b>krom</b>
<b>Dopuštena koncentracija</b>	5	600	80	500	2000	5	500

Određena su praćenja s obzirom na promjene karakteristika samih otpadnih voda, analize mulja svakih šest mjeseci, kao i način samih analiza. U Hrvatskoj nije rasprostranjena praksa odlaganja mulja s komunalnih uređaja za pročišćavanje na poljoprivredna zemljišta.

➤ ***Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/3, 73/17)***

Zakonom o održivom gospodarenju otpadom utvrđuju se mjere za sprječavanje štetnog djelovanja otpada na ljudsko zdravlje i okoliš. Definiraju se načini smanjenja količina otpada u nastanku i/ili proizvodnji, te se uređuje gospodarenja otpadom bez uporabe rizičnih postupaka po ljudsko zdravlje i okoliš, uz korištenje vrijednih svojstava otpada (Članak 1.)

Odredbe ovoga Zakona ne primjenjuju se, u mjeri u kojoj je to propisano drugim propisima, između ostalog ni na sedimente kojima se bavi rad. Tako se zakon ne odnosi na sedimente koji se vade ili premještaju unutar korita i inundacijskih područja površinskih vodotoka i drugih voda radi njihova uređenja ili provedbe zaštite od štetnog djelovanja voda ili ublažavanja posljedica suša ili regeneracije zemljišta ako se dokaže da su ti sedimenti

neopasni. Pod pretpostavkom da se radi o neopasnom otpadu, koji ne posjeduje niti jedno od opasnih svojstava određenih Dodatkom III zakona o održivom gospodarenju otpadom. Kako ne postoji regulativa prema kojoj bi se provela klasifikacija izumljenog kanalskog sedimenta, isti se ne svrstava u opasan otpad s toksičnim karakteristikama. Isto tako, prema ovome, niti sediment cestovnih kanala ne pripada otpadu jer se radi o održavanju vodotoka.

Prema istom članku, odredbe Zakona, Članak 3., stavak 3., ne primjenjuju se niti na neonečišćeno tlo i druge materijale iz prirode iskopane tijekom građevinskih aktivnosti ukoliko je nedvojbeno da će se taj materijal za građevinske svrhe koristiti u svojem prirodnom obliku na gradilištu s kojeg je iskopan, te na višak iskopa koji sukladno zakonu kojim se uređuje rudarstvo predstavlja mineralnu sirovinu. Ukoliko iskopani sediment, nastao prilikom održavanja cestovnih kanala, promatramo kao građevinski otpad, prema Zakonu o održivom gospodarenju otpadom, govorimo o posebnoj kategoriji otpada. Sediment koji se ukloni s dna kanala moguće je odlagati uz same kanale ukoliko ima svojstvo neopasnog otpada.

Kako je prethodno navedeno, izmuljeni sediment odlaže se u pojasu za održavanje ili se tretira kao otpad, ukoliko se vizualnim pregledom na licu mjesta ocjeni da pripada u kategoriju otpada, prvenstveno sediment iz prometnih kanala.

## **2.2. Postojeća planska dokumentacija**

Temeljem Zakona o vodama (NN br. 153/09, 63/11, 130/11, 56/13 i 14/14) donesena je važeća Strategija upravljanja vodama (2009) na osnovu koje se donose i s kojom se usuglašavaju Planovi upravljanja vodnim područjima i donose sa svakih 6 godina.

Planom se objedinjuju obaveze direktiva Europske unije vezanih uz zaštitu okoliša. Za svako vodno područje provedene su analize njegovih značajki (Šlehta, i dr. 2008) i pregled utjecaja ljudskog djelovanja na stanje površinskih i podzemnih voda, daje se prikaz značajki vodnih područja, kao polazišta za planiranje ciljeva, mjera i programa monitoringa za plansko razdoblje do kraja 2015. godine. Slika 2.2. prikazuje shemu planske dokumentacije Republike Hrvatske koja se direktno ili indirektno bavi problemom sedimenta.



Slika 2.2. Shematski prikaz planske dokumentacije u RH

Uvođenje ekoloških mjerila u upravljanje vodama je ključni postulat proizašao iz nastojanja za ekološkom obnovom vodnog okoliša i vraćanjem voda u stanje što je moguće bliže prirodnom stanju.

Obaveze i normativna pravila za ocjenjivanje stanja voda preuzeti su iz Okvirne direktive o vodama i odnose se na vode iznad zadanog veličinskog praga: rijeke sa slivnom površinom iznad 10 km<sup>2</sup> jezera s površinom vodnog lica iznad 0,5 km<sup>2</sup>, vodonosnike iz kojih je moguće zahvatiti u prosjeku i više od 10 m<sup>3</sup> na dan ili opskrbiti više od 50 ljudi, odnosno koji u značajnoj mjeri utječu na neki površinski ekosustav. Manje rijeke i jezera odnosno vodonosnici manjih izdašnosti nisu obuhvaćeni Okvirnom direktivom o vodama i o njima nije potrebno izvještavati, ali i ono mogu biti predmet analize i planiranja, ako je pokaže da su bitni sa stanovišta upravljanja i gospodarenja vodama.

Usljed antropogenih razloga, moguća je dodatna podjela pojedinih prirodno izdvojenih vodnih tijela na manja vodna tijela, koja su potpuno jasno određena i u smislu stvarnoga stanja, rizika, ciljeva koji se planiraju postići i mjera koje su za to primjerene. Uobičajeni sekundarni kriteriji za izdvajanje vodnih tijela su namjena određenih voda, izloženost antropogenim opterećenjima i utjecajima (osobito hidromorfološke promjene), status zasićenosti i slično.

Hrvatske vode u ožujku 2016. objavljuju „Metodologiju monitoringa i ocjenjivanja hidromorfoloških pokazatelja“, sukladno članku 1. stavku 2. Uredbe o standardu kakvoće voda (NN73/13).

Prema tome dokumentu, hidromorfološke značajke glavni su preduvjet razvoja biotičkih zajednica u potocima i rijekama. Za rijeke je svojstven dinamičan okoliš koji se neprestano mijenja zbog promjena u potoku i pronosu sedimenta. Važni rubni ujeti za riječne ekosustave su upravo te promjene i posljedične fizičke strukture riječnog korita, obala i obalnih pojaseva. Ključna uloga u određivanju granica vodnog tijela i određivanju znatno promjenjivih vodnih tijela leži upravo na hidromorfološkim značajkama.

Hidromorfološki monitoring uključuje sljedeće elemente: količina i dinamika vodonog toka, veza s podzemnim vodama, kontinuitet rijeke, varijacije u širini i dubini tekućice, struktura i podloga korita tekućice, struktura obalnog pojasa.

Za svaki hidromorfološki element kakvoće (količina i dinamika vodenog toka, veza s podzemnom vodom, longitudinalni kontinuitet rijeke, kanaliziranja, varijacija širine i dubine rijeke, struktura i sediment dna rijeke, struktura obalnog pojasa) izvršena je procjena hidromorfoloških promjena nastala uslijed fizičkih zahvata koji su evidentirani na pojedinome vodnom tijelu i, s obzirom na veličinu te promjene nastala uslijed fizičkih zahvata koji su evidentirani na pojedinom vodnom tijelu i, s obzirom na veličinu te promjene, izvršena je klasifikacija stanja vodnog tijela prema hidromorfološkom elementu. Veličina hidromorfološke promjene na razini vodnog tijela jednaka je srednjoj vrijednosti promjena svih dionica pri čemu je težinski faktor duljina dionice. Opće hidromorfološko stanje vodnog tijela određeno je najnižom od ocjena za sve obuhvaćene hidromorfološke elemente kakvoće.

Stanje voda – stanje površinskih voda opisuje se na razini vodnih tijela. Ukupna ocjena određenog vodnog tijela površinske vode određena je njegovim ekološkim i kemijskom sastavom, ovisno o tome koja od dviju ocjena je lošija.

Na osnovi kakvoće strukture i funkcioniranja vodnih ekosistava određuje se ekološko stanje površinske vode koje se ocjenjuje se na temelju relevantnih bioloških, fizikalno kemijskih i hidromorfoloških elemenata kakvoće. Prema ukupnoj ocjeni ekoloških elemenata kakvoće,

vodna tijela se klasificiraju u pet klasa ekološkog stanja: vrlo dobro, dobro, umjereno, loše i vrlo loše.

Prethodni osvrt na Plan upravljanja vodnim područjima dan je jer su u istome pojavljuje riječni sediment, odnosno određivanje kemijskog stanja vodnog tijela se oslanja i na prisutnost onečišćujućih tvari i u sedimentu. Plan upravljanja u skladu je s Uredbom o standardu kakvoće voda, opisan prethodnim poglavljem. Prema navodima u dokumentu važećom legislativom je predviđeno praćenje štetnih tvari u sedimentima kroz monitoring stanja voda.

Kemijsko stanje vodnog tijela površinske vode izražava prisutnost prioriternih tvari i drugih mjerodavnih onečišćujućih tvari u površinskoj vodi, sedimentu i bioti. Radi se o prioriternim tvarima prema Dodatku X. Okvirne direktive o vodama (ODV) i drugim onečišćujućim tvarima proizašlim iz Direktive o opasnim tvarima i njenih poddirektiva, sukladno Dodatku IX. ODV ili propisanim na nacionalnoj razini, u Prilogu 4 Uredbe o standardu kakvoće voda. Prema koncentraciji pojedinih onečišćujućih tvari, površinske vode se klasificiraju u dvije klase: dobro stanje ili nije dostignuto dobro stanje. Dobro kemijsko stanje odgovara uvjetima kada vodno tijelo postiže standarde kakvoće za sve prioritne tvari i druge mjerodavne onečišćujuće tvari. Prema ukupnoj ocjeni elemenata kakvoće, vodna tijela se klasificiraju u pet klasa: vrlo dobro, dobro, umjereno, loše i vrlo loše.

Sustavni monitoring kakvoće voda koji po broju pokazatelja koji se prate, odnosno broju i rasporedu mjernih mjesta praćenja odgovara biološkoj, fizikalno-kemijskoj, kemijskoj, hidrološkoj i morfološkoj raznolikosti voda na vodnom području te predstavlja osnovu za posuzdano cjenjivanje i klasifikaciju voda.

Opći cilj zaštite vodnog okoliša, vezano uz površinske vode, je dostizanje najmanje dobrog ekološkog i kemijskog stanja za sva vodna tijela površinskih voda i ne dopuštanje pogoršanja već dostignutog stanja bilo kojeg vodnog tijela površinske i podzemne vode.

Monitoring sedimenta u Hrvatskoj za sada se uglavnom odnosi na riječni sediment, što je obrađeno u dokumentu „Uvođenje monitoringa riječnih sedimenata u Hrvatskoj“, (Institut Ruđer Bošković, 2015). U navedenom radu analiziran je dosadašnji monitoring koji se provodi u RH s preporukama za unapređenje kojima je obuhvaćen i prijedlog novih mjernih

postaja za monitoring sedimenata, izbor prioriternih ili specifičnih tvari za monitoring kao i prijedlog učestalosti uzorkovanja i ispitivanja. U 2017. godini nadzorni i operativni monitoring je proveden na 26 lokacija. Navedeni rad se također poziva na Dokument European sediment network (SEDNET, 2004) gdje se preporuke o učestalosti uzorkovanja i ispitivanja sedimenta u programima monitoringa u pojedinim europskim zemljama. Prilikom određivanja ciljeva monitoringa određuju se kvantitativni ciljevi kao i frekvencija uzorkovanja. Uobičajena frekvencija uzorkovanja je od jednom do tri puta godišnje za velike rijeke i estuarije gdje se očekuje velika stopa sedimentacije. Za prirodna jezera i obalna područja s niskim stopama sedimentacije preporučena frekvencija opažanja je jednom u 6 godina. U Hrvatskoj nema puno istraživanja bilance sedimenata u rijekama i brzine sedimentacije i erozije, a prva istraživanja su se počela odvijati u okviru Međunarodne komisije za sliv rijeke Save, te SEDNET-a. Objavljene su smjernice prema uvođenju održivog menadžmenta sedimenata na primjeru sliva rijeke Save (SEDNET, 2013).

Prema navedenom, u spomenutom elaboratu SEDNET-a, parametre opterećenja sedimenata u Hrvatskoj prati Hidrološki odsjek DHMZ-a, te su ova mjerenja suspendiranog sedimenta dio redovitog hidrološkog monitoringa. Ovaj monitoring se provodi svakodnevno na 10 postaja, od kojih su 4 na rijeci Savi, a 6 na njezinim pritokama. Mjerenja uključuju točkasta mjerenja koncentracije sedimenta, izračun opterećenja vodotoka sedimentom, mjerenja profila koncentracije sedimenta i distribuciju veličine zrna suspendiranog sedimenta (periodično).

Kao bitan navodi se dokument koji je Europska komisija izdala 2010. godine „COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE (2000/60/EC) - Guidance Document No: 25 – Guidance on chemical monitoring of sediment and biota under the Water Framework Directive“. U sklopu ovog dokumenta definiran je monitoring kemijskih tvari u sedimentu. Između ostaloga, u ovom poglavlju je detaljno razrađena strategija uzorkovanja, te izbor postaja uzorkovanja, kao i frekvencija uzorkovanja, izbor frakcije, itd. Prema istome mogu postojati dvije različite strategije uzorkovanja, probabilistički (difuzni izvori) i ciljani (na bazi ranijih znanja). Ciljani pristup je pogodan u slučajevima kada su granice lokacije dobro definirane, a također je pogodan za provedbu inicijalnog skrininga, kako bi se lakše identificiralo kritične lokacije.



Parametri koji se prate na pojedinim, do sada uspostavljenim postajama je različit od postaje do postaje. Za rad je zanimljivo praćenje teških metala koji se navode u Pravilniku o odlaganju na poljoprivredna zemljišta. Hrvatske vode su i u dotadašnjem monitoringu sedimenta analizirali veći broj metala od četiri koja se nalaze na popisu prioriteta tvari na kojem se nalaze samo Cd, Ni, Pb i Hg. Iako ostali analizirani metali nisu navedeni kao prioriteta tvar, oni predstavljaju ozbiljan problem u vodenom okolišu na nizu lokacija.

Analizama u Planu upravljanja vodnim područjima obuhvaćene su tekućice sa slivnom površinom većom od 10 km<sup>2</sup> i stajaćice s površinom vodnog lica većom od 0,5 km<sup>2</sup>. 80 % duljine evidentiranih tekućica i 2 % površine evidentiranih stajaćica otpada na vrlo mala vodna tijela za koja se ne provodi tipizacija ni ocjenjivanje prema odredbama Okvirne direktive o vodama. Ova definicija bitna je za ovaj rad, jer to znači da se u skorijoj budućnosti neće ni provoditi ocjenjivanje na većini melioracijskih kanala. Za sva takva tijela ocjenjivanje se vrši prema standardima koji vrijede za veće vodno tijelo s kojim su u površinskom kontaktu. Ukoliko nije u površinskom kontaktu, preuzimaju se standardi koji vrijede za najbliže ili najprimjerenije tijelo.

Gustoća hidrografske mreže vodnog područja Dunav iznosi 0,3 km/km<sup>2</sup> ako se računaju vodotoci sa slivnom površinom većom od 10 km<sup>2</sup>. Ukoliko se uzimaju u obzir svi evidentirani vodotoci tada gustoća iznosi 1,6 km/km<sup>2</sup> što direktno pokazuje značajan udio manjih vodotoka na slivu i doprinos u udjelu.

Otjecanja s određenih područja su različita sukladno prirodnim činiteljima koji sudjeluju u formiranju otjecanja. Najmanje otjecanje je u nizinama istočne Slavonije (oko 20%) zbog relativno malih intenziteta oborina, malih padova slivova i relativno velike evapotranspiracije u ljetnim mjesecima.

Programa mjera, obuhvaćenih Planom upravljanja, čine procijenjeno stanje voda i propisani ciljevi zaštite voda s rokovima do kojih ciljevi trebaju biti postignuti. Program mjera primjenjuje se na sve vodotoke, bez obzira na njihovu veličinu.

Planom su obuhvaćene i mjere kontrole točkastih izvora onečišćenja. Granične vrijednosti se propisuju za pojedine onečišćujuće tvari ili skupine onečišćujućih tvari, uzimajući u obzir najbolje raspoložive tehnike (u slučaju izdavanja okolišnih dozvola).

Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda određeni su uvjeti za ispuštanje komunalnih otpadnih voda iz sustava javne odvodnje i tehnoloških otpadnih voda za

postrojenja za koje nije predviđeno ishođenje okolišne dozvole (granične vrijednosti emisija se propisuju i pri izdavanju vodopravnih dozvola i u postupku ishođenja okolišne dozvole), odnosno Pravilnikom je predviđeno dodatno propisivanje uvjeta za ispuštanje tehnoloških otpadnih voda za niz drugih industrija za koje je to nužno i opravdano. Korisnici kojima je odobreno ispuštanje otpadnih voda dužni su pratiti količinu i kakvoću ispuštenih otpadnih voda i o tome redovito izvješćivati Hrvatske vode (Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/13, 43/14, 27/15 i 3/16) Također, propisana je naknada za zaštitu voda, koja se plaća ovisno o količini i karakteristikama ispuštenih otpadnih voda, sukladno Zakonu o financiranju vodnoga gospodarstva.

Paralelno s izradom Plana monitoringa za 2016. godinu, izrađen je elaborat – Izrada prijedloga graničnih vrijednosti za određene opasne tvari u sedimentu kopnenih površinskih voda (Frančišković-Bilinski, 2017). Elaborat daje prijedlog graničnih vrijednosti za 8 kemijskih elemenata (7 teških metala u 1 metaloid): Cd, Pb, Ni, Hg, Cu, Cr, Zn i As, kako je elaborirano u uvodnom poglavlju.

### **2.3. Relevantna zakonska regulativa drugih zemalja**

U svim razvijenim zemljama prisutan je problem stvaranja i onečišćavanja sedimenta u melioracijskim kanalima, kao i odlaganja izvađenog onečišćenog sedimenta. Prvi testovi onečišćenja sedimenta napravljeni su u Sjevernoj Americi (SAD i Kanada), te je uspostavljena regulativa za monitoring i kvalitetu sedimenta (Dalmacija, 2013, Frančišković-Bilinski 2015). Za europsko područje karakteristično je zasebno razvijanje strategija monitoringa po pojedinim zemljama. Okvirna direktiva o vodama mijenja pristup na području upravljanja vodenim sustavima, te nalaže praćenje kvalitete sedimenta kao sastavnih dijelova akvatičnih sustava i način upravljanja izmuljenim sedimentom. Zbog karakteristika izmuljenog materijala važeći propisi nalažu rukovanje s izmuljenim materijalom na ekološki prihvatljiv način s ciljem sprječavanja širenja onečišćenja u okoliš (Dalmacija, 2013).

U SAD-u je proveden monitoring od 1990. -1999. na osnovu čega je USEPA-a izradila skicu direktiva za sediment koji neće imati negativan utjecaj na akvatični život i zdravlje čovjeka. Usvojene su tri grupe mogućeg negativnog djelovanja na život čovjeka i akvatični svijet: I – vjerojatan negativan utjecaj; II - moguć negativan utjecaj i III – nema negativnog utjecaja.

Kemijska karakterizacija sedimenta uključila je nacrt kriterija za kvalitetu sedimenta (SQCs-sediment quality criteria), vrijednosti efekta umjerenog utjecaja (ERMs-effects range median), nivoe mogućeg efekta (PELs-probable effect level), nivoe praga toksičnog efekta (TETs-toxic effect threshold), nivo ozbiljnog efekta (SEL-severe effect level) i PEL-HA28 - vjerojatan utjecaj za *Hyaella azteca* (probable effect level for *Hyaella azteca*). Ovi parametri su izvedeni na osnovu 1657 uzoraka iz 92 objavljenih izvještaja i obimnih studija niza istraživača i istraživačkih centara koje je objedinio MacDonald (MacDonald i dr., 2000, US EPA, 2001). ( tablica 2.4)

Tablica 2.4. Preporuke za određivanje kvalitete sedimenta (MacDonald i dr., 2000)

TEŠKI METALI (mg kg <sup>-1</sup> )	PEL	SEL	TET	ERM	PEL-HA28
<b>Kadmij</b>	3,53	10	3	9	3,2
<b>Krom</b>	90	110	100	145	120
<b>Bakar</b>	197	110	86	390	100
<b>Olovo</b>	91,3	250	170	110	82
<b>Nikal</b>	36	75	61	50	33
<b>Cink</b>	315	820	540	270	540

Prema kanadskom zakonodavstvu definirane su dvije vrijednosti: niža vrijednost predstavlja privremene preporuke koje su dobivene teorijskim putem i iznad kojih je moguć utjecaj na vodene organizme, dok je druga, viša vrijednost, ona vrijednost iznad koje je utjecaj na akvatične organizme vjerojatan.

Prema Okvirnoj direktivi o vodama EU svaka zemlja članica bila je dužna postići dobar status europskih voda do 2015. godine kroz sustav upravljanja i planiranja na nivou riječnih slivova. Svaka zemlja članica bila je dužna izvršiti identifikaciju onečišćenih sedimenata koji zahtijevaju remedijaciju, te je bilo potrebno poduzeti potrebne aktivnosti sve s ciljem postizanja dobrog ekološkog statusa vodnog tijela. Također, problem sedimenta mora se i može rješavati na lokacijama na kojima je narušen ekološki status zbog onečišćenog (degradiranog) sedimenta koji između ostaloga može predstavljati sekundarni izvor onečišćenja.

Prema EU legislativi sediment nakon izumljivanja uglavnom se tretira kao otpad. Ukoliko bi se strogo primjenjivala Europska direktiva o otpadu (75/442/EEC), bez hidrološkog i ekološkog sagledavanja, velike količine sedimenata, bez obzira na stupanj onečišćenja, ne

moгу biti premještene u drugu vodenu sredinu. Ukoliko se sediment promatra s hidrološkog i ekološkoga aspekta, čak i onaj koji je previše onečišćen kako bi bio premješten u drugu vodenu sredinu, ne mora automatski postati opasan otpad. Postoje mišljenja da zbog karakteristika i ekološke uloge sedimenta u prirodnim vodama, primjena regulative koja se odnosi na otpad nije u potpunosti primjenjiva i odgovarajuća za sedimente.

Europska direktiva o deponijama (1999/31/EC) regulira odlaganje i izumljenoga materijala na način da prije odlaganja treba proći predtretman jer nije dozvoljeno odlaganje tekućeg otpada što dodatno povećava troškove odlaganja.

Alternativno rješenje je odlaganje na deponije koje bi trebale biti konstruirane na način da se sprječava širenje onečišćenja u okoliš i zahtijevaju pažljivo upravljanje i stalan monitoring. Ukoliko izumljeni sediment nema status otpada, i dokaže se da nije zagađen, odlaganje se može vršiti na poljoprivrednim zemljištima, upotrijebiti za građevinske radove ili odlaganje duž malih vodotoka. U slučaju da su zadovoljeni uvjeti kvalitete izumljeni sediment je moguće premještati i u površinske vode.

Aktivnosti predviđene u okvirima legislative usmjerene su prema sprječavanju širenja onečišćenje prilikom izumljivanja i odlaganja samoga sedimenta kao i prema postupcima remedijacije.

Nizozemski sustav kvalifikacije sedimenta je baziran na tri razine opasnosti na osnovi podataka toksičnosti i ekotoksičnosti. Prva razina opasnosti je zanemarivo onečišćenje – izvedene referentne vrijednosti. Drugi nivo je maksimalno dozvoljeno onečišćenje – izvedene maksimalno dozvoljene koncentracije, odnosno koncentracije pri kojima nema štetnih efekata na ekosustav i ljude. Treća razina onečišćenja predstavlja izuzetno veliku opasnost. Ova razina onečišćenja odgovara interventnoj vrijednosti, čije prekoračenje u skladu s nizozemskim pravilnikom o zaštiti zemljišta zahtjeva remedijaciju, i iznad koje se sediment smatra izuzetno zagađenim. Ova razina pretpostavlja da je 50 % vrsta u ekosustavu potencijalno ugroženo, a u obzir je uzeta i maksimalno dozvoljena opasnost za ljude. Prekoračenje srednje vrijednosti referentne i interventne vrijednosti za bilo koji parametar, predstavlja indikaciju ozbiljnog zagađenja sedimenta koji zahtjeva nastavak istraživanja (Dalmacija, 2013).

Nizozemski sustav klasifikacije sedimenata (Ministry of transport and Public Works, 1994; Vierde Nota Waterhuishouding Directorate-General for Environmental Protection, 2000) i prikazan je u tablici 2.5., a njegova usporedba s kanadskim sustavom u tablici 2.6.

Tablica 2.5. Nizozemski sustav klasifikacije sedimenta

Klasa	Nivo opasnosti	Napomena
0	<ciljana vrijednost	Sediment se može koristiti bez posebnih mjera zaštite.
1,2	>ciljana vrijednost < srednja vrijednost	Neznatno onečišćen sediment. Odlaganje bez mjera zaštite u pojasu od 20 m.
3	>verifikacijska vrijednost < vrijednost koja traži intervenciju	Onečišćeni sediment. Nije dozvoljeno odlaganje. Nužno čišćenje ili čuvanje u deponiju.
4	>vrijednost koja traži intervenciju	Izuzetno onečišćen sediment. Obavezna remedijacija. Nužno čišćenje ili čuvanje u deponiju.

Tablica 2.6. MDK teških metala u sedimentu prema nizozemskim i kanadskim preporukama.

Parametar	Sediment (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Nizozemska ciljana vrijednost	Nizozemska interventna vrijednost	Kanadska teorijski moguća vrijednost	Kanadska empirijski vjerojatna vrijednost
Kadmij	0,8	12	0,6	3,5
krom	100	380	37,3	90
bakar	36	190	35,7	197
olovo	85	530	35	913
nikal	35	210	-	-
cink	140	720	123	315

U okolnostima ne postojanja jedinstvene metodologije procjene kvalitete sedimenta na europskom području, pojedine zemlje razvijaju samostalne metodologije u kojima su većinom propisane viša i niža vrijednost onečišćenja što proizlazi iz različitosti prirodnog okruženja te različitih metodologija kojima se određuju kriteriji kvalitete. Uspostavljeni kriteriji kvalitete razlikuju se i u odnosu na ispitivanje sadržaja teških metala u ukupnom uzoku ili u pojedinim frakcijama, Tablica 2.7.

Tablica 2.7. Usporedbe postojećih preporuka za izmuljeni materijal i teške metale koje se primjenjuju u EU (Dalmacija, 2013)

Teški metal	Ciljane vrijednosti ( 1.faza djelovanja)		Granične vrijednosti ( 2.faza djelovanja)	
	<2mm	<63 $\mu$ m ili 20 $\mu$ m	<2mm	<63 $\mu$ m ili 20 $\mu$ m
<b>Kadmij</b>	0,4-2,5	1-2,5	2,4-14	5-12,5
<b>Krom</b>	40-300	150-200	120-5000	750-1000
<b>Bakar</b>	20-150	40-100	60-1500	200-400
<b>Živa</b>	0,15-0,6	0,6-1	0,8-10	3-5
<b>Nikal</b>	20-130	50-100	45-1500	250-400
<b>Olovo</b>	50-120	100-120	110-1500	500-600
<b>Cink</b>	130-700	350-500	365-10000	1750-3000

U ovisnosti o koncentraciji, višoj ili nižoj, poduzimaju se i određene aktivnosti. Koncentracija onečišćenja ispod granične vrijednosti izmuljeni materijal se uklanja iz vodotoka bez mjera zaštite. Ukoliko je vrijednost onečišćenja između prve i druge vrijednosti potrebna su daljnja istraživanja kao i odlaganje s posebnim mjerama zaštite. Daljnjim istraživanjem, uzimajući u obzir geokemijske karakteristike moguće je donijeti zaključak o opasnostima za sam okoliš. U slučaju prekoračenja više vrijednosti pristupa se uklanjanju predmetnog sedimenta iz vodotoka.

Posebnu pažnju potrebno je posvetiti geokemijskom sastavu sedimenta, jer se pokazalo da kapacitet sedimenta prema vezivanju onečišćujućih tvari varira upravo u odnosu na geokemijske osobine. Prema kapacitetu vezivanja toksičnih tvari varira i stupanj onečišćenja, tako se pokazalo da mnogi polutanti pokazuju veći afinitet ka pojedinim, uglavnom finijim frakcijama sedimenta, glini i organskom mulju (prahu), dok se frakcija pijeska uglavnom može smatrati malim rezervoarom kako organskih, tako i neorganskih polutanata ( tablica 2.8).

Tablica 2.8. *Geokemijske osobine sedimenta i njihov značaj (Dalmacija, 2013)*

<b>Geokemijske osobine sedimenta</b>	<b>Značaj</b>
Granulometrijski sastav: - pijesak (2000-63 $\mu\text{m}$ ) - organski mulj (63-2 $\mu\text{m}$ ) - glina (<2 $\mu\text{m}$ )	Ukazuje na brzinu sedimentacija, potencijal za resuspenziju i akumulaciju polutanata. Mali kapacitet za akumulaciju polutanata. Visok kapacitet za akumulaciju organskih anorganskih polutanata, potencijal za resuspenziju. Visok kapacitet za akumulaciju teških metala, potencijal za resuspenziju
Gustoća	Konsolidacija izmuljenog materijala, odnos in situ volumena i volumena nakon deponiranja
Organska tvar	Kapacitet za akumulaciju organskih polutanata i pojedinih teških metala ( živa, kadmij)
Željezo, mangan	Veliki kapacitet za vezivanje organskih i anorganskih polutanata, uključujući fosfor
Oksidacijsko-redukcijski potencijal	Ukazuje na postojanje aerobnih/anaerobnih uvjeta, utječe na akumulaciju teških metala i fosfora

U susjednoj Vojvodini se duži niz godina provode analize sedimenta radi suočavanja s problemom onečišćenja i iznalaženja načina za otklanjanjem problema. Na temelju sveobuhvatnog prikaza kvalitete površinskih voda i sedimenta s novim pristupima procjeni rizika teških metala po okoliš ( Dalmacija i Rončević, 2013), donesena je Uredba o граниčnim vrijednostima onečišćujućih materijala u površinskim vodama, podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje („Sl.glasnik Republike Srbije“, br. 50/2012). Kao osnova za sve dalje aktivnosti i prema njoj definirane su tri граниčne vrijednosti ( tablica 2.9):

- (1) ciljna vrijednost predstavlja граниčnu vrijednost za koncentraciju onečišćujuće tvari u sedimentu ispod koje su negativni utjecaji na okoliš zanemarivi i ona predstavlja dugoročni cilj kvalitete sedimenta,
- (2) maksimalno dozvoljena koncentracija predstavlja граниčnu vrijednost za koncentraciju onečišćujuće tvari u sedimentu iznad koje su negativni utjecaji na okoliš vjerojatni. Ukoliko je prekoračena maksimalno dozvoljena koncentracija za bar jednu onečišćujuću tvar u zapremini od 25 m<sup>3</sup> sedimenta na nekoj lokaciji, neophodno je inicirati istraživački monitoring u okviru koga bi se utvrdilo postoje li negativni ekotoksični efekti na rezidencijalnu biotu;
- (3) remedijacijska vrijednost predstavlja граниčnu vrijednost iznad koje postoji neprihvatljiv rizik za akvatičnu sredinu ili rizik prenošenja onečišćenja putem akvatične sredine. Ukoliko je prekoračena remedijacijska vrijednost za bar jednu onečišćujuću tvar u zapremini od 25 m<sup>3</sup> na nekoj lokaciji, neophodno je razmotriti opcije dislokacije i/ili remedijacije sedimenta.

Tablica 2.9. *Vrijednosti teških metala propisane Uredbom o graničnim vrijednostima kvalitete sedimenta u RS*

Teški metal	jedinica	ciljana vrijednost	max	remedijacijska vrijednost
<b>Kadmij</b>	mg kg <sup>-1</sup>	0,8	6,4	12
<b>Olovo</b>		85	310	530
<b>Nikal</b>		35	44	210
<b>Živa</b>		0,3	1.6	10
<b>Bakar</b>		36	110	190
<b>Krom</b>		100	240	380

Vrijednosti se odnose na standardni sediment koji se sastoji od 10 % organske tvari (OM) i 25 % gline. Kako bi se dobila prava vrijednost potrebno je raditi korekciju s obzirom na izmjerene sadržaje gline i organske tvari u pojedinom sedimentu. Korekcija se vrši prema korekcijskim faktorim i formuli u nastavku:

$$GV_K = GV_{ST} \frac{A + B\% \text{ gline} + C\% \text{ OM}}{A + 25B + 10C}$$

gdje su:

$GV_K$  –korigirana granična vrijednost za određeni sediment kada se u obzir uzme sadržaj gline i sadržaj organske tvari;

$GV_{ST}$  – granična vrijednost za standardni sediment sa 25% gline i 10% organske tvari; % gline – izmjereni sadržaj gline (mineralne frakcije < 2 μm) u datom sedimentu izražen u postotcima u odnosu na masu suhog sedimenta; % OM – izmjereni sadržaj organske tvari u datom sedimentu izražen u postotcima u odnosu na masu suhog sedimenta; A, B i C – konstante koje ovise o vrsti metala ( tablica 2.10.).



Tablica 2.10. Konstante u ovisnosti o vrsti metala

Parametar	Konstanta		
	A	B	C
<b>Arsen</b>	15	0,4	0,4
<b>Kadmij</b>	0,4	0,007	0,021
<b>Krom</b>	50	2	0
<b>Bakar</b>	15	0,6	0,6
<b>Živa</b>	0,2	0,0034	0,0017
<b>Olovo</b>	50	1	1
<b>Nikal</b>	10	1	0
<b>Cink</b>	50	3	1,5

Isti pravilnik propisuje i koncentracije teških metala prilikom izmuljenja, odnosno odlaganja.

Tablica 2.11. Vrijednosti teških metala propisane Uredbom o graničnim vrijednostima kvalitete sedimenta u RS prilikom odlaganja

element	jedinica	Ciljana vrijednost	Granična vrijednost	Verifikacijska vrijednost	Remedijacijska vrijednost
<b>Kadmij</b>	mg/kg <sup>-1</sup>	0,8	2	7,5	12
<b>Olovo</b>		85	530	530	530
<b>Nikal</b>		35	35	450	210
<b>Živa</b>		0	0.5	1,6	10
<b>Bakar</b>		36	36	90	190
<b>Krom</b>		100	380	380	380

Propisane aktivnosti vezane uz koncentraciju onečišćenja, usklađene sa svjetskom praksom, su sljedeće:

Tablica 2.12. Način postupanja s izmuljenim sedimentom Republici Srbijij

Klasa	Kriterij	Način postupanja sa izmuljenim sedimentom
0	$\leq$ ciljana vrijednost	koncentracije onečišćujućih tvari u sedimentu su na nivou prirodnog fona. Sedimenti mogu biti dislocirani bez posebnih mjera zaštite.
1	$>$ ciljana vrijednost i $\leq$ vrijednost limita	Sediment je neznatno onečišćen. Prilikom dislokacije dozvoljeno je odlaganje bez posebnih mjera zaštite u pojasu do 20 m u okolini vodotoka.
2	$>$ vrijednost limita i $\leq$ verifikacijski nivo	
3	$>$ verifikacijski nivo $\leq$ remedijacijska vrijednost	sediment je onečišćen. Nije dozvoljeno njegovo odlaganje bez posebnih mjera zaštite. Neophodno je čuvanje u kontroliranim uvjetima uz posebne mjere zaštite kako bi se spriječilo rasprostiranje onečišćujućih tvari u okoliš
s4	$>$ remedijacijska vrijednost	izuzetno onečišćeni sedimenti. Obavezna je remedijacija ili čuvanje materijala u kontroliranim uvjetima uz posebne mjere zaštite kako bi se spriječilo rasprostiranje onečišćujućih tvari u okoliš.

Zakonska i planska regulativa elaborirana u prethodnom poglavlju zasnovana je na europskim direktivama koje se ukratko navode.

1. Direktiva 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. listopada 2000. o uspostavi okvira za djelovanje Zajednice u području vodne politike (Okvirna direktiva o vodama) (SL L 327, 22. 12. 2000.), izmijenjena i dopunjena:

– Odlukom br. 2455/2001/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 20. studenoga 2001. o popisu prioritetnih tvari u području vodne politike i o izmjeni Direktive 2000/60/EZ (Tekst značajan za EGP) (SL L 331, 15. 12. 2001.),

– Direktivom 2008/105/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2008. o standardima kvalitete okoliša u području vodne politike i o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage Direktiva Vijeća 82/176/EEZ, 83/513/EEZ, 84/156/EEZ, 84/491/EEZ, 86/280/EEZ i izmjeni Direktive 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća (SL L 348, 24. 12. 2008.) – članak 10.;

2. Direktiva 2008/105/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća o standardima kakvoće u području vodne politike i o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage Direktiva Vijeća 82/176/EEZ, 83/513/EEZ, 84/156/EEZ, 84/491/EEZ, 86/280/EEZ, i izmjeni Direktive 2000/60/EZ Europskog parlamenta i Vijeća (SL, L 348, 24. 12. 2008.);

3. Direktiva 2006/11/EZ Europskoga parlamenta i Vijeća od 15. veljače 2006. o onečišćenju uzrokovanom ispuštanjem određenih opasnih tvari u vodni okoliš Zajednice (Kodificirana verzija) (Tekst značajan za EGP) (SL L 64, 4. 3. 2006.);

4. Direktiva Vijeća 91/692/EEZ od 23. prosinca 1991. o standardiziranju i racionaliziranju izvještaja o provedbi pojedinih direktiva koje se odnose na okoliš (SL L 377, 31. 12. 1991.);

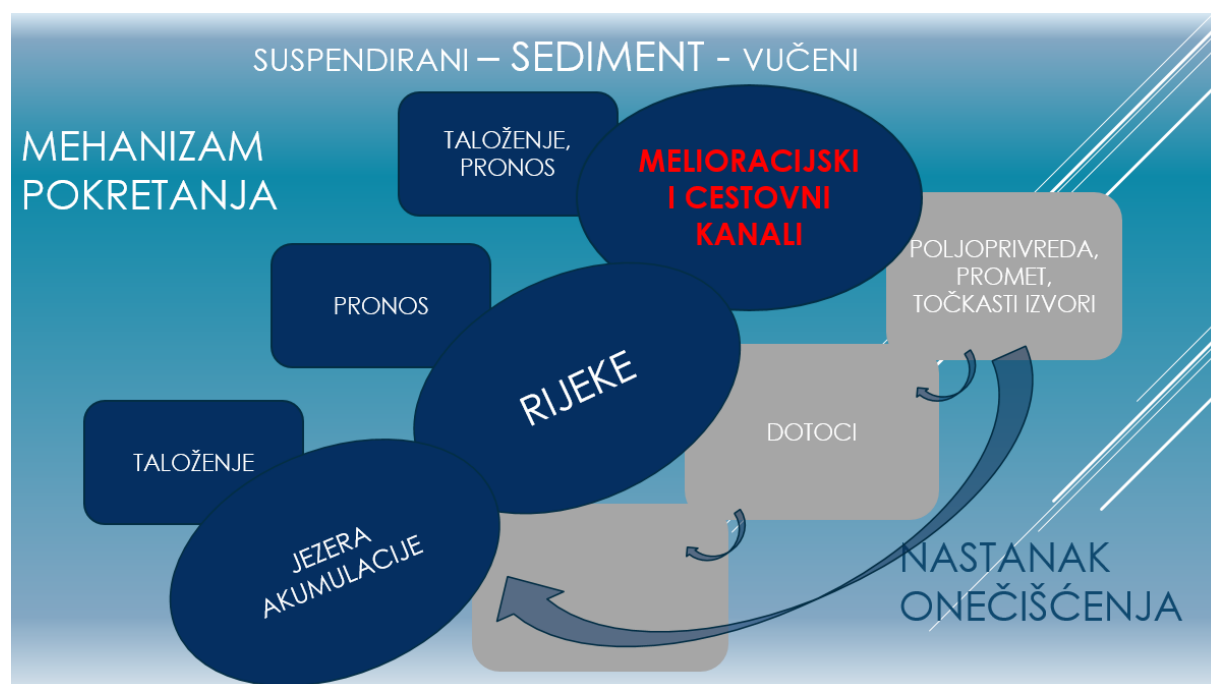
5. Direktiva Vijeća 91/676/EEZ od 12. prosinca 1991. o zaštiti voda od onečišćenja uzrokovanog nitratima iz poljoprivrednih izvora (SL L 375, 31. 12. 1991.) i

6. Direktiva Vijeća 91/271/EEZ od 21. svibnja 1991. o pročišćavanju komunalnih otpadnih voda (SL L 135, 30. 5. 1991.).

### 3. Istraživanja nastanka i onečišćenja sedimenta

Pojava sedimenta u vodotocima je hidrološka i hidraulička pojava koja utječe na morfologiju vodotoka, kako prirodnih tako i umjetnih (Ferrero, 2002). Porastom sveopćeg razvoja susrećemo se i sa sve više izvora onečišćenja i samim time unos teških metala u ekosustav u cjelini postaje sve izraženiji. Nakon dospijevanja u vodne sustave teški metali pokazuju tendenciju vezanja na suspendirane tvari i akumuliranja u sedimentu. (Krčmar, 2010).

Uzimajući u obzir činjenicu kako više od 50 % svjetske populacije živi u urbanim sredinama u kojim se sve više stvaraju nepropusne površine i regulirani vodotoci čime se utječe na hidrološke osobine kao i na kvalitetu sedimenta koji se ispiru sa okolnih površina, razumijevanje procesa koji se odvijaju u takvim uvjetima postavlja se kao globalno pitanje. Mnogobrojni pritisci onečišćenja manifestiraju se kao velika opterećenja čime stvaraju direktan štetan utjecaj na zdravlje ljudi i ekosustav. Veliku pažnju treba posvetiti upravo mogućim izvorima onečišćenja, te ustrojiti bolje praćenja i to na način da se u globalnom pristupu problemu uključe stručnjaci iz svih područja, od prirodnih do društvenih, s ciljem praćenja nastanka, transporta te planiranja upravljanja (Kevin i dr., 2009.).



Slika 3.1. Shema onečišćenja i pronosa nanosa

Ovisno o slivnom području s kojega dolazi, pripadajućih topografskih, hidroloških, morfoloških i meteoroloških prilika, hidrolomorfoloških karakteristike prijamnika prema kojem gravitira kao i o vrsti onečišćenja koje se dominantno javlja, nanos/sediment možemo promatrati kako je shematski prikazano na slici 3.1. Pri tome postoje bitne razlike u nastanku onečišćenja i pronosu nanosa u prirodnim vodotocima, akumulacijama i umjetnim kanalima. Ispiranjem zemljišta ili umjetno stvorenih površina u urbaniziranim područjima formira se nanos koji dolazi u prijamnike gdje se formira sediment (Manz, 2007, Weston i dr., 2004, Zhang i dr., 2008, Romić i dr., 2014). Kao prvi prijamnici tu su melioracijski, ali i cestovni kanali u kojima se odvija proces pronosa nanosa i taloženja. Kao krajnji prijamnik nekog slivnog područja u nastavku se može pojaviti akumulacija. Kako se u akumulacijama ne događaju procesi tečenja, mehanizam koji se javlja u smislu pokretanja nanosa je dominantno je taloženje. U nastavku se pojavljuju rijeke kao krajnji prijamnici u kojima su protoci izraženiji i gdje se kao dominantan mehanizam pokretanja nanosa javlja pronos nanosa uslijed tečenja.

Upravo iz navedenih razlika u mehanizmima pokretanja nanosa, koji će u nastavku biti detaljnije obrazloženi, za navedene prijamnike dotoka sa slivnog područja ne mogu se primijeniti iste zakonitosti pokretanja nanosa. Promatrajući onečišćenja koja dotječu u prijamnike, u ovisnosti o mehanizmima pokretanja ista će se brže ili sporije, zadržavati ili transportirati.

Dosadašnja istraživanja kvalitete sedimenta pokazala su da onečišćeni sedimenti koji sadrže polutante u koncentracijama koje prelaze kriterije kvalitete, ako oni postoje, ne izazivaju uvijek toksične efekte u testovima toksičnosti niti na razini zajednice bentosa, što je posljedica smanjene biodostupnosti uslijed interakcije polutanata sa aktivnim fazama sedimenta. Ponekad je u istraživanjima uočeno suprotno, tj. sedimenti koji zadovoljavaju kriterije kvalitete izazivaju negativne efekte zbog sinergistijskog efekta prisutnih polutanata ili uslijed prisustva polutanata koji se ne određuju. Zbog ovih problema, upotreba kriterija kvalitete za ocjenu kvalitete sedimenta je često nedovoljan pristup u postupku procjene rizika. Istraživanja su pokazala da primjena različitih kriterija za procjenu rizika omogućava usporedbe i daje bolji pregled stanja kvalitete sedimenta za konkretnu lokaciju, ali isto tako može dati i neke proturječne zaključke (Prica i dr., 2008, Krčmar i dr., 2008, Krčmar i dr., 2013).

Ovako dobiveni rezultati govore da nisu svi detektirani metali biodostupni i da se samo na osnovu ukupnog sadržaja metala može procijeniti stvarna opasnost (Velimirović i dr. 2011, Krčmar i dr., 2012), ali su indikator za daljnja istraživanja.

Istraživanja su pokazala da vrlo često, zbog specifičnih uvjeta vezanih za neku lokaciju, fizičke i kemijske osobine sedimenta ne mogu odrediti direktni biološki efekt na promatranoj lokaciji. Ako postoje bilo kakve sumnje da takvi efekti postoje, neophodno je provesti istraživački monitoring u cilju procjene stvarne opasnosti za akvatičnu sredinu.

Nema mnogo objavljenih istraživanja o kanalskim sedimentima na kanalima bez stalnog protoka, puno ih je više provedeno na prirodnim rijekama. Ipak, objavljeni rezultati istraživanja koja su provedena na nizinskom području, koja u pravilu nisu jako ugrožena erozijom, pokazuju da se tisuće tona muljnog sedimenta godišnje izvade iz melioracijskih kanala (Ferrero, 2002). Godišnja akumulacija sedimenta u kanalima je velika, a povećava ju smanjeno održavanje kanala, zadržavanje vegetacije i smanjena količina vode što u kvalitativnom smislu utječe na stabilnost nanosa i mogućnost pronosa u okoliš, posebice podzemne vode (Haetley, Dickinson, 2010). Slična situacija je i u Hrvatskoj i to u njezinom kontinentalnom dijelu gdje je samo na području Vodnogospodarske ispostave za mali sliv „Vuka“ u 2016. godini izvađeno (izmuljeno) oko 112 000 m<sup>3</sup> sedimenta i sve na području koje prema riziku od vodne erozije, spada u područje niskog rizika (Hrvatske vode, podaci o održavanju melioracijskih kanala).

*Tablica 3.1. Količine iskopanog i izmuljenog materijala pod upravljanjem VGI Vuka, 2013. – 2017. godine*

<b>godina</b>	<b>Količina (m<sup>3</sup>)</b>
<b>2013.</b>	69 220,00
<b>2014.</b>	75 518,00
<b>2015.</b>	38 815,00
<b>2016.</b>	116 719,00
<b>2017.</b>	184 036,00

Radovi održavanja kod osnovne melioracijske odvodnje i zaštita od štetnog djelovanja voda su jedna od osnovnih djelatnosti Hrvatskih voda. Prema informacijama iz objavljenih radova zaključeno je kako bi se onečišćenja teškim metalima mogla očekivati kako na cestovnim, tako i na melioracijskim kanalima. Lokacije uzorkovanja za potrebe ovog rada su odabrane

na način da su cestovni kanali odabrani ciljano uz prometnije ceste, dok su uzorci u melioracijskim kanalima uzeti na način da se dobije uvid u šire područje, ali uz praćenje lokacija trenutnog tehničkog održavanja kanala.

Kako melioracijski kanali, prema Zakonu o vodama (NN 46/18), pripadaju vodnim građevinama od interesa za Republiku Hrvatsku u poglavlju 3.4. prikazana osnovna podjela i namjena melioracijskih kanala.

### 3.1. Vrste nanosa

Najčešće izučavan i kroz literaturu definiran određenim zakonitostima je riječni nanos. Režim riječnog nanosa podrazumijeva nastanak, pronos i taloženje nanosa. Nanos je po svojoj prirodi hidrološka i hidraulička kategorija te predstavlja krutu fazu u tečenju otvorenih vodotoka.

Vrste riječnog nanosa dijelimo na: vučeni, lebdeći (suspendirani) i plivajući.

**Vučeni nanos** se formira procesom dubinske erozije slivnog područja, postranom erozijom korita erozijom dna korita vodotoka u gornjem i srednjem toku (što je najizraženije kod velikih voda), odronima obale u srednjem toku kao i meandriranjem u donjem toku. Karakterizira ga krupniji granulometrijski sastav materijala koji se kreće po dnu.

Uz vučeni nanos vežemo pojmove:

- Nanos u pokretu (kg/ms) - masa nanosa po širini korita i jedinici vremena
- Kretanje vučeng nanosa (kg/s) - masa nanosa koji se transportira u jedinici vremena
- Količina vučenog nanosa (kg ili m<sup>3</sup>)- koja je transportirana u nekom vremenskom razdoblju (godina).

**Lebdeći nanos** pretežno nastaje površinskom erozijom slivnog područja koji u vodotok biva donesen uslijed jakih kiša kao i erozijom samog vodotoka, postrana i dubinska erozija. Lebdeći nanos se također formira i ispuštanjem otpadnih voda i drugih onečišćenja u vodotok, raspadanjem plivajućih tvari, te brušenjem vučenog nanosa. Karakteriziran je sitnim i uniformnim granulometrijskim sastavom. Dijeli se na tranzitni, koji se transportira s vodom, i koritiformirajući, koji se povremeno kreće kao suspenzija, a povremeno se taloži, sudjelujući na taj način u formiranju riječnog korita.

Pojmovi vezani uz lebdeći nanos:

- Koncentracija ili sadržaj ( $\text{mg/l}$ ,  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$ ) – masa nanosa u jedinici volumena vode
- Pronos nanosa ( $\text{g/s}$ ,  $\text{kg/s}$ ), masa nanosa koja protječu jedinici vremena
- Količina lebdeće tvari- masa ili volumen nanosa koji je protekao u nekom vremenskom razdoblju (godina)

Vučeni i koritiformirajući lebdeći nanos bitno utječu na hidrauličke otpore tečenju u prirodnim vodotocima. Režim vučenog i lebdećeg nanosa u nekom vodotoku se kao hidrološka kategorija definira:

- (a) granulometrijskim sastavom nanosa i
- (b) količinom nanosa koji u određenom razdoblju prođe promatranim riječnim profilom (pronosom nanosa), odnosno bilancom nanosa na određenoj dionici ili na jednom profilu u određenom razdoblju.

Bilanca nanosa je temeljni parametar s kojim se definira režim vučenog i lebdećeg nanosa kao hidrološke kategorije u prirodnim vodotocima. Do elemenata s kojima se određuje hidrološki režim riječnog nanosa dolazi se isključivo terenskim istražnim radovima (mjerenjima) i obradom podataka prikupljenih mjerenjima. Težište kod definiranja režima nanosa kao hidrauličke kategorije je u transportnoj sposobnosti vodotoka, odnosno na mehanici kretanja nanosa.

### 3.2. Mehanizam pokretanja nanosa

Pronos nanosa definiran je kao masa nanosa (vučenog i/ili suspendiranog) koja biva pronošena kroz promatrani (hidrometrijski) presjek vodotoka u jedinici vremena; ima dimenziju mase u jedinici vremena ( $\text{kg/s}$  ili  $\text{t/s}$ ). Granica između lebdećeg i vučenog nanosa ovisi o turbulenciji i veličini zrna.

Vučenje nanosa nastaje djelovanjem pokretne sile ( $S$ ) kod većih protoka. Sile koje djeluju na zrno nanosa na dnu su: vlastita težina, uzgon, reakcija podloge, tlak te usisno djelovanje zbog obalnog utjecaja. Kretanje nanosa počinje kada pokretna sila premaši granično naprezanje  $\tau_{\text{gra}}$ .

Dinamika kretanja vučenog nanosa u velikoj mjeri utječe na stabilnost korita. Jednadžbe pronosa nanosa baziraju se na različitim temeljima. U nastavku su navedeni neki od pristupa:



- Pristup posmičnog naprezanja (DuBoys, Shields, Einstein, Mayer-Peter Muller, Einstein Brown, Parker i dr.)
- energetski pristup (Engelund Hansen, Ackers White, Yang, Lauresen)
- parametarski pristup (Colby)

S obzirom na praktičnu primjenu jednadžbi za proračun pronosa nanosa, jednadžbe se dijele na:

- jednadžbe pronosa vučenog nanosa (DuBoys, Shields, Einstein, Mayer-Peter Muller (1948), Einstein Brown, Parker i dr.)
- jednadžbe pronosa suspediranog nanosa (Einstein)
- jednadžbe pronosa materijala dna (koritiformirajućeg nanosa) - Colby, Engelund Hansen, Ackers White, Yang).

Navedeni su samo neki od autora koji su uspostavili zakonitosti pronosa nanosa. Kako se radi o problemu čija važnost se sve više spoznaje, konstantno se događaju i nove varijacije navedenih postupaka kao i novi postupci. Budući da se radi o vrlo složenim fizikalni procesima, razvijanje novih modela nužna je pojava.

### **3.3. Onečišćenost nanosa/ izvori onečišćenja**

Kvaliteta, odnosno stupanj onečišćenosti sedimenta razlikuje se u prirodnim i umjetnim vodotocima, npr. koncentracija teških metala višestruko je veća u umjetnim vodotocima (kanalima) nego u prirodnim vodotocima (Ferrnato, i dr. 2013).

O tim problemima posljednjih godina ima sve više istraživanja, posebice u Nizozemskoj i Italiji (Maggi 2002, Kalderman 2000, 2001). Onečišćujuće tvari koje dominiraju u sedimentu su fosfor i teški metali, najveći uzročnici onečišćenje su promet i poljoprivreda, a koncentracije variraju ovisno o hidrološkim i hidrografskim karakteristikama (trajanju i intenzitetu oborina, pojavnosti velikih voda i povezanosti s ostalom hidrografskom mrežom i uvjetima onečišćenja u njoj), lokalnim uvjetima i sl. Problem predstavlja i odlaganje onečišćenog nanosa nakon njegovog vađenja iz kanala. Prema veličini koncentracije, određuje se mogućnost odlaganja sedimenta na poljoprivredne površine za što u mnogim zemljama ne postoje propisane granične vrijednosti, a Hrvatska je među tim zemljama.

Istovremeno, izostanak kontrole koncentracije teških metala unutar određenog slivnog područja, zemljišta i vode, može predstavljati potencijalni ekološki i sanitarni rizik (Cleber i dr., 2016.).

Tijekom ispitivanja migracije teških metala u otpadnom materijalu i neposrednoj blizini tla pod utjecajem opasnog otpada, uočena je značajna migracija koncentracije teških metala u dubinu, čime predstavljaju opasnost za podzemne vode (Osibanjo, 2009). Osim na podzemne vode, akumulacija teških metala u tlu može imati utjecaj na okoliš u cjelini koji je važan na bioraspodjelivost i mobilnost akumuliranih teških metala (Zhang, 2006).

Koncentracija teških metala varira i unutar sezonskih razdoblja, najviša koncentracija javlja se tijekom sušnog razdoblja (Yingqun, 2015). Isto su tako uočene sezonske varijacije koncentracije teških metala u područjima direktno izloženim onečišćenjima industrijskih područja, što ukazuje na potrebu intenzivnijih praćenja i daljnjih istraživanja (Chu N. Kien, 2018).

Analizama podrijetla onečišćenja teškim metalima u rijekama moguće je zaključiti kako su onečišćenja bakrom, niklom, arsenom i kromom bila povezana s antropogenim aktivnostima, prilikom ispuštanja djelomično pročišćenih ili nepročišćenih otpadnih voda (Erol i dr., 2016). Istraživanja antropogenih utjecaja na onečišćenost kanala Begej u Srbiji, (Dalmacija i dr, 2006) su pokazala izrazito onečišćenje s kromom, bakrom, kadmijem i cinkom, pri čemu je indicirano antropogeno podrijetlo ovih onečišćujućih tvari.

Jednom kada teški metali uđu u vodni ekosustav, apsorbiraju ih suspendirane tvari i ultimativno su vezane za sediment. Prilikom narušavanja stanja sedimenta teški metali prelaze u potonu vodu te uzrokuju promjene u ekosustavu (Hu i dr. 2017).

### **3.3.1. Riječni sediment**

Istraživanjima u svijetu najviše su obuhvaćena istraživanja onečišćenja teškim metalima u riječnom sedimentu ( Szalinska i dr., 2006, Pandey i dr., 2017).

Česta su istraživanja kojima se skreće se pozornost na potrebu kontrole točkastih izvora onečišćenja kao na primjeru vodotoka Tatarnica (Savić, i dr.2015) gdje sadržaj teških metala ne prelazi granične vrijednosti, dok uzorci vode ukazuju na povremena odstupanja od 10 do 25 %.

Kako je akumuliranje teških metala u sedimentu prepoznato kao problem, prije svega na većim vodotocima, tako se za rijeke razvijaju i modeli koji se i testiraju na određenim dionicama modeliranih vodotoka za koje postoje relevantna mjerenja. Utjecaj pronosa teških metala u vodotocima ovisan je o hidrodinamici, transportu suspendiranih čestica kao i o razdiobi između transportnog i koritoformirajućeg nanosa. Matematički modeli koji se bave ovom problematikom, koji opisuju kretanje teških metala u sedimentu, u obzir uzimaju hidrodinamiku i morfologiju rijeka, erozijske sedimentacijske procese i procese sorpcije i desorpcije kako bi se identificirali najznačajniji parametri i procesi od utjecaja na velike rijeke. (Garneau i dr., 2015).

### **3.3.2. Sediment u akumulacijama**

Taloženje u akumulacijama složen je proces koji ovisi o dotocima iz vodotoka koji gravitiraju akumulaciji (Sumi i dr., 2009), te bez upotrebe odgovarajućih tehnika postaju značajni spremnici u sedimentu uzvodnih dionica, sa značajnim smanjenim transportom sedimenta nizvodno od akumulacija (Zhang i dr., 2014)

Istraživanja koncentracije teških metala u akumulacijama, u uvjetima intenzivnog ljudskog djelovanja, pokazala su visoku onečišćenost sedimenta. Isto tako, studije pokazuju kako je toksičnost sedimenta uzrokovana teškim metalima vezana uz njegovu krutu fazu, te kako pokretljivost pojedinih teških metala nije ista. Najveću pokretljivost pokazuje cink, srednja pokretljivost uočena je kod bakra, nikla i kadmija, te slaba pokretljivost kod kroma i olova. (Baran, 2015).

### **3.3.3. Sediment u kanalima**

Odvodni kanali, kao važni sustavi za poljoprivredu i vodno gospodarstvo izloženi su različitim točkastim i raspršenim onečišćenjima koja se nakupljaju u sedimentu i čija se koncentracija u istom povećava i može nepovoljno utjecati na okoliš u kanalima i njihovom neposrednom okruženju (Savić i dr., 2013.). Unatoč tim spoznajama, istraživanja onečišćenja sedimenta u melioracijskim kanalima su rjeđa i uglavnom se vežu za konkretne probleme na određenom području (Bellucci i dr., 2002).

Ravničarska područja podrazumijevaju i relativno gustu mrežu melioracijskih kanala. Održavanje takvih melioracijskih sustava podrazumijeva i redovito održavanje u koje je uključeno i izmuljivanje nastalog sedimenta koji pod utjecajem raznih točkastih i raspršenih

onečišćenja mogu imati negativan utjecaj na kvalitetu vode u kanalima, na neposredan okoliš kao i na poljoprivredne površine na koje se odlaže prilikom izmuljenja. (Savić i dr., 2005).

Lokalni uvjeti promatranog područja, pored samih izvora točkastih onečišćenja, utječu na razinu onečišćenosti. Provodeći ispitivanja potencijalne lokalne mreže srednjeg Banata, autori dolaze do zaključka kako je povišeni sadržaj nekih metala geokemijskog podrijetla dok su neki antropogenog podrijetla, i iako imaju povišen sadržaj, on je daleko manji od vrijednosti koje predviđaju remedijaciju sedimenta (Ninkov i dr., 2012).

Karakteristike lokalnih uvjeta obuhvaćaju i stanje obraslosti kanala, te je modeliranje pokretanja sedimenta u kanalima s dnom obraslim raslinjem i bez obraslosti pokazalo značajno smanjenje pokretanja sedimenta u obraslim kanalima (Lopez, 1998).

Duža kišna razdoblja dovoljna su za pokretanje istaloženog sedimenta iako u kanalu nižeg reda nema kontinuiranog protoka prema glavnom kanalu (Maggi, 2002).

Sedimenti s povišenim sadržajem teških metala mogu imati nepovoljan utjecaj na kvalitetu i upotrebljivost vode u kanalima kao i na stanje okoliša, osobito poljoprivredne površine na koje se razastiru (Savić i dr., 2005.), te mu se treba posvetiti pažnja prilikom odlaganja.

### **3.4. Melioracijska odvodnja**

Melioracijski kanali su građevine namijenjene melioracijskoj odvodnji te su podijeljeni na melioracijske građevine I., II., III i IV. reda. Melioracijske građevine IV. reda – parcelni ili detaljni kanali neposredno prikupljanju vodu s poljoprivrednih površina i najosjetljiviji su na onečišćenja.

Protoci koji se javljaju u tim kanalima dolaze neposredno od površinskog otjecanja izazvanog oborinama i pod utjecajem su raspršenih i mogućih točkasti opterećenja u vidu izljeva otpadnih voda. Tečenjem vode pokreće se dijelom i mulj s dna kanala, odnosno nanos tj. formirani sediment. Kako bi građevine melioracijske odvodnje u svakom trenutku u potpunosti vršile svoju ulogu, odvodna melioracijska mreža u svim vremenskim uvjetima i godišnjim dobima treba osigurati projektirani režim protoka. Koliko je redovno održavanje bitno ukazuje i podatak kako samo jedna izostala košnja može smanjiti kapacitet kanala za 20-30 % (Kos, 1991), što ukazuje na potrebu planiranja određene dinamike održavanja, prilagođene lokacijskim uvjetima. Redovitim održavanjem kanala provodi se košnja vegetacije po pokosima i samom dnu kanala, te uklanjanje mulja sa dna kanala. Samim uklanjanjem mulja odstranjuje se i preostala vegetacija zaostala prilikom košnje. Ukoliko se

navedene radnje održavanja ne provode redovito, protočnost kanala može se smanjiti do 30 % (Kos, 1991).

Zamuljenje, stvaranje sedimenta u dnu melioracijskih kanala formira se prilikom odvođenja viška vode s obradivih površina uslijed čega dolazi do povlačenja određene količine erozijom obrušenog materijala (Marin, 1991) što u konačnici rezultira promjenom samog profila melioracijskog kanala.

### **3.5. Osvrt**

Ovaj kratki prikaz provedenih istraživanja koja se odnose na kanalski sediment pokazuju da je dominantni predmet istraživanja nastanak onečišćenja uzrokovanih raspršenim ili točkastim izvorima onečišćenja.

Po geometriji, odvodni melioracijski kanali odgovaraju kanalima za navodnjavanje gdje se pokretljivost sedimenta prati iz razloga osiguravanja potrebne protočnosti (Zenebe, 2015). U malim kanalima sustava navodnjavanja, deponiranje sedimenta koji po granulaciji odgovara finom pijesku i prahu, a koji su uz to i malih uzdužnih padova, prepoznato je kao problem te su se pronalazile metode kako kvantificirati količinu promjena na poprečnim i uzdužnim presjecima kanala (Lawrence, 1998).

Akumulacija sedimenta i mulja u kanalima sustava za navodnjavanje neželjena su pojava. Provedene su studije na „Nazilli irrigation system“ gdje se, između ostalog, izučava utjecaj pada kanala na transport sedimenta, te su se dale preporuke za kanale malih uzdužnih padova, u njihovim topografskim uvjetima, padova manjih od 0,0004, kojima takvi kanali imaju prioritet prilikom čišćenja, odnosno izumljenja (Koc, 2014)

Istraživanja nastanka sedimenta i pokretljivost provedena na kanalima za navodnjavanje dijelom se mogu primijeniti i na kanale za melioracijsku odvodnju, s tim što se onečišćenja u kanalima za navodnjavanje ne očekuju u mjeri koliko su prisutna u odvodnim melioracijskim kanalima.

Sama pokretljivost sedimenta u melioracijskim kanalima u kojima protok nije stalan je još uvijek dosta neistražen fenomen, te ovo istraživanje nastoji doprinijeti istraženosti ovoga problema.

### **3.6. Karakteristike teških metala**

Karakteristike teških metala (preuzeto iz Frančišković-Bilinski, S.; Ereš, Z.; Bilinski, H., Uvođenje monitoringa riječnih sedimenata u Hrvatskoj, (2017).

**Kadmij (Cd)** je sjajni, bijelo-srebrni, rastezljiv metal, koji je lako oblikovati. U prirodi kadmij dolazi uvijek u asocijaciji s cinkom, te ga se dovoljno dobiva kao nus-produkt u proizvodnji cinka. Može ga se naći i u pesticidima. U ljudski organizam najviše ga se unosi kroz hranu, a osobito su bogati kadmijem jetra, gljive, školjke, dagnje, kakao u prahu i sušene alge. Znatno su izloženi i ljudi koji žive u blizini opasnih odlagališta otpada, te tvornica koje otpuštaju kadmij u zrak, a osobito je štetna metalna industrija. Jedan od glavnih izvora kadmija u okolišu je proizvodnja umjetnih fosfatnih gnojiva i njihova primjena. Kadmij se jako absorbira na organsku tvar u tlima, a osobito je opasna njegova koncentracija u tlu, odakle dolazi u biljke, te tako ulazi u hranidbeni lanac. U vodnim ekosustavima kadmij se može akumulirati u školjkama, rakovima i ribama.

**Krom (Cr)** je uzročnik brojnih štetnih učinaka na zdravlje: kožni osipi, želučani problemi i čirevi, problemi s disanjem, slabljenje imunološkog sustava, oštećenje bubrega i jetre, karcinom pluća, a moguća je i smrt. Kod kroma izuzetno je bitno njegovo oksidacijsko stanje, budući da o njemu ovisi njegova toksičnost. Glavni izvor antropogenog onečišćenja kromom je iz kemijske, kožne i tekstilne industrije. Uslijed ovih aktivnosti povećavaju se koncentracije kroma u vodama. Gorenjem ugljena krom završava pretežno u zraku, a kroz odlaganje otpada najviše završava u tlima. Krom iz zraka u konačnici opet završava u vodama i tlu. U vodi se krom obično adsorbira na sedimentu i postane nepokretan, a samo se mali dio kroma otapa u vodi.

**Bakar (Cu)** se između ostalog koristi u poljoprivredi kao zaštitno sredstvo, osobito u vinogradarstvu i voćarstvu. Bakar može ući u zrak i izgaranjem fosilnih goriva, u zraku ostaje dulje vremena, a nakon toga kišom završava u tlima. Bakar može u okoliš doći i prirodnim procesima i ljudskim aktivnostima, a povećane koncentracije najviše se nalaze oko rudnika, industrijskih pogona, te odlagališta otpada. U organizam se bakar može unijeti udisanjem, jelom i pićem. Bakar je i esencijalni element važan za ljudsko zdravlje, ali naravno u malim količinama, dok velike količine počinju uzrokovati ozbiljne zdravstvene probleme. Bakar teško ulazi u podzemne vode, budući da se čvrsto vezuje na organsku tvar i minerale kada uđe

u tlo. U površinskim vodama može se daleko pronositi, bilo na česticama suspendirane tvari, bilo kao slobodni ioni. Bakar se može intenzivno akumulirati u biljkama i životinjama, a na tlima bogatima bakrom samo ograničeni broj biljaka može preživjeti. Iz ovog razloga blizu tvornica koje okoliš onečišćuju bakrom nema velike biljne raznolikosti. Bakar može dovesti i do potpunog prekida mikrobiološke aktivnosti u tlu.

**Olovo (Pb)** se pojavljuje i prirodno, međutim većina olova u okolišu je rezultat ljudskih aktivnosti. Jedan od najvećih izvora olova bio je iz upotrebe benzina s olovom, međutim ono je danas uglavnom posve izbačeno iz goriva, tako da se situacija u blizini prometnica znatno popravila. Olovo je jedan od četiri metala koji imaju najštetniji učinak na ljudsko zdravlje. Olovo se akumulira u vodenim organizmima, kao i onima na tlu bogatom olovom. Ovi organizmi će osjetiti efekte trovanja olovom, a osobito su osjetljive školjke, kojima štode već vrlo niske koncentracije olova. Znatno je utjecaj i na fitoplankton, koji je važan izvor kisika. Organizmi u tlu su isto jako pogođeni utjecajem olova. Osobita opasnost olova je u tome što se akumulira u čitavom hranidbenom lancu.

**Živa (Hg)** se u prirodi rijetko nalazi kao čisti metal, najčešće ju nalazimo u obliku rude cinabarit (HgS), koje najviše ima u Španjolskoj, Rusiji, Italiji, Kini i Sloveniji. Živa u okoliš može dospjeti prirodnim putem, kao rezultat raspadanja minerala u stijenama i tlu, a također iz antropogenih izvora. Najvažniji antropogeni izvori žive su izgaranje fosilnih goriva, rudarske aktivnosti, proizvodni procesi u metalurgiji, spaljivanje krutog otpada, upotreba gnojiva, ispuštanje otpadnih voda. Sva živa koja dospje u okoliš na kraju završi u tlima ili površinskim vodama. Živa se akumulira u hranidbenim lancima, osobito u ribama, tako da koncentracije žive u ribi obično znatno premašuju koncentracije u vodi.

**Nikal (Ni)**, u prirodnoj pojavnosti u okolišu ima vrlo niske koncentracije, a do njegove povišene koncentracije dolazi uslijed različitih ljudskih aktivnosti. Od biljaka najviše ga ima u čaju, a također su čokolada i masnoće poznati po visokom udjelu nikla. Najveći unos nikla u organizam se odvija preko povrća uzgojenoga na onečišćenom tlu. U malim količinama nikal je esencijalan element, međutim u većima postaje toksičan. Najviše nikla se u okoliš ispušta putem termoelektrana i spalionica smeća. Te čestice se putem kiše talože na tlo, a treba dosta vremena da se nikal ukloni iz atmosfere. Nikal može isto završiti u površinskim vodama putem otpadnih voda. Veći dio čestica nikla koje su oslobođene u okoliš adsorbiraju se na sediment ili čestice tla i postaju ne-mobilne. Međutim, u kiselom okolišu, nikal postaje više mobilan i često se oslobađa u podzemnu vodu.

## **4. Hipoteze i ciljevi istraživanja**

### **Hipoteza doktorske disertacije je sljedeća:**

Manja vodna tijela definirana su statusom većih što ne odražava realno stanje jer se onečišćenja zadržavaju u melioracijskim kanalima (mikroslivovima). Onečišćenja, u ovom slučaju teški metali, dospjeli raspršenim i točkastim izvorima, te vodnom erozijom izazvanom površinskim otjecanjem dolaze do melioracijskih kanala i ostaju u sedimentu. Njihova mobilnost je vrlo slaba, te se pokreću pri izuzetnim hidrološkim uvjetima. Sediment koji se iz melioracijskih kanala vadi redovitim održavanjem prije odlaganja na poljoprivredne površine potrebno je kategorizirati i na osnovu toga ga i odlagati.

### **Ciljevi rada su sljedeći:**

- Istraživanje treba fokusirati na male slivove i manja vodna tijela. Prema Planu upravljanja vodnim područjima obuhvaćene su tekućice sa slivnom površinom većom od 10 km<sup>2</sup> i stajaćice s površinom vodnog lica od 0,5 km<sup>2</sup> dok 80 % duljine evidentiranih tekućica i 2 % površine evidentiranih stajaćica otpada na vrlo mala vodna tijela za koje se ne provodi tipizacija ni ocjenjivanje prema odredbama Okvirne direktive o vodama. Za sva takva tijela ocjenjivanje se vrši prema standardima koji vrijede za veće vodno tijelo s kojim su u površinskom kontaktu ili koji vrijede za najbliže ili najprimjerenije vodno tijelo. Ocjenjivanje na manjim vodnim tijelima na osnovu monitoringa nije u skorom planu te sva događanja koja se odvijaju na području nekog podsliva neće biti evidentirana ukoliko se zadrže unutar istoga. Mali vodotoci/kanali su upravo oni na kojima onečišćenje brže ostavlja traga, a teže je vratiti ga u prirodno ili zadovoljavajuće stanje.
- Pokazati da je sediment u melioracijskim kanalima bitan čimbenik u istraživanjima i monitoringu okoliša te da je poznavanje njegovog sastava prilikom odlaganja izvan kanala isto tako predstavlja bitan čimbenik
- Pokazati da se onečišćenje nastalo na slivu melioracijskog kanala zadržava dulje vrijeme



- Pokazati važnost utjecaja hidroloških karakteristika sliva, prvenstveno oborinskog režima na nastanak i mobilnost sedimenta u ravničarskim predjelima s niskim rizikom od vodne erozije
  
- Dati preporuke za daljnji tretman sedimenta izvađenog iz melioracijskog kanala ovisno o njegovom stupnja onečišćenja

## **5. Materijali i metode**

### **5.1. Opis slivnog područja**

Mali sliv rijeke Vuke može se u hidrografskom smislu podijeliti u direktni sliv rijeke Vuke, te u manji dio sliva koji je hidrotehničkim zahvatima odvojen i pripada slivu rijeke Drave, odnosno na sliv rijeke Drave i na sliv rijeke Dunava. Omeđen je rijekom Dravom na sjeveru, rijekom Dunav na istoku, te na zapadu vododjelnicom sa slivom Karašica-Vučice. Obuhvaća dijelove i Osječko-Baranjske i Vukovarsko-srijemske županije.

Ukupna površina slivnog područja iznosi 1 759 km<sup>2</sup> (175 937 ha), dok je površina sliva same rijeke Vuke 1 035 km<sup>2</sup>. Prema općim topografskim karakteristikama, na južnom i jugozapadnom dijelu nalazi se brdski dio sliva, koji prema sjeveru prelazi u široki nizinski dio. Radi obrane od štetnog djelovanja voda izgrađen je gusti sustav odvodnih kanala s pripadajućim građevinama.

Glavni recipijent područja je rijeka Vuka koja u nizinskom dijelu, na kojem se odvijalo istraživanje, ima vrlo mali pad. Izvor rijeke Vuke nalazi se na području akumulacije Borovik izvedena 1978. godine.

Zbog iznimno malih padova, osobito u donjem toku tijekom vremena se formirao veliki broj meandara na kojima su tijekom 20. stoljeća izgrađeni brojni prokopi (Dobra Voda kod Vukovara duljine 2 km, Laslovo duljine 1 km, Antin duljine 4 km, Dopsin 1 km i Hrastin 3 km). Ušće Vuke nalazi se na 1333+050 rkm rijeke Dunav.

Klimatska obilježja prostora sliva na području Osječko-baranjske županije dio su klime šireg područja Istočne Hrvatske, gdje prevladava umjereno-kontinentalna klima koju karakteriziraju intenzivne i česte promjene vremena.

Osnovne karakteristike ovog tipa klime su srednje mjesečne temperature zraka više od 10°C, tijekom više od četiri mjeseca godišnje te srednje temperature najtoplijeg mjeseca ispod 22°C. Kod ovog tipa klime ne postoje izrazito suhi mjeseci, a oborina je više u toplom dijelu godine. Na cijelom području Županije izražena je homogenost klimatskih prilika, što je posljedica reljefnih obilježja (pretežito ravničarski reljef).

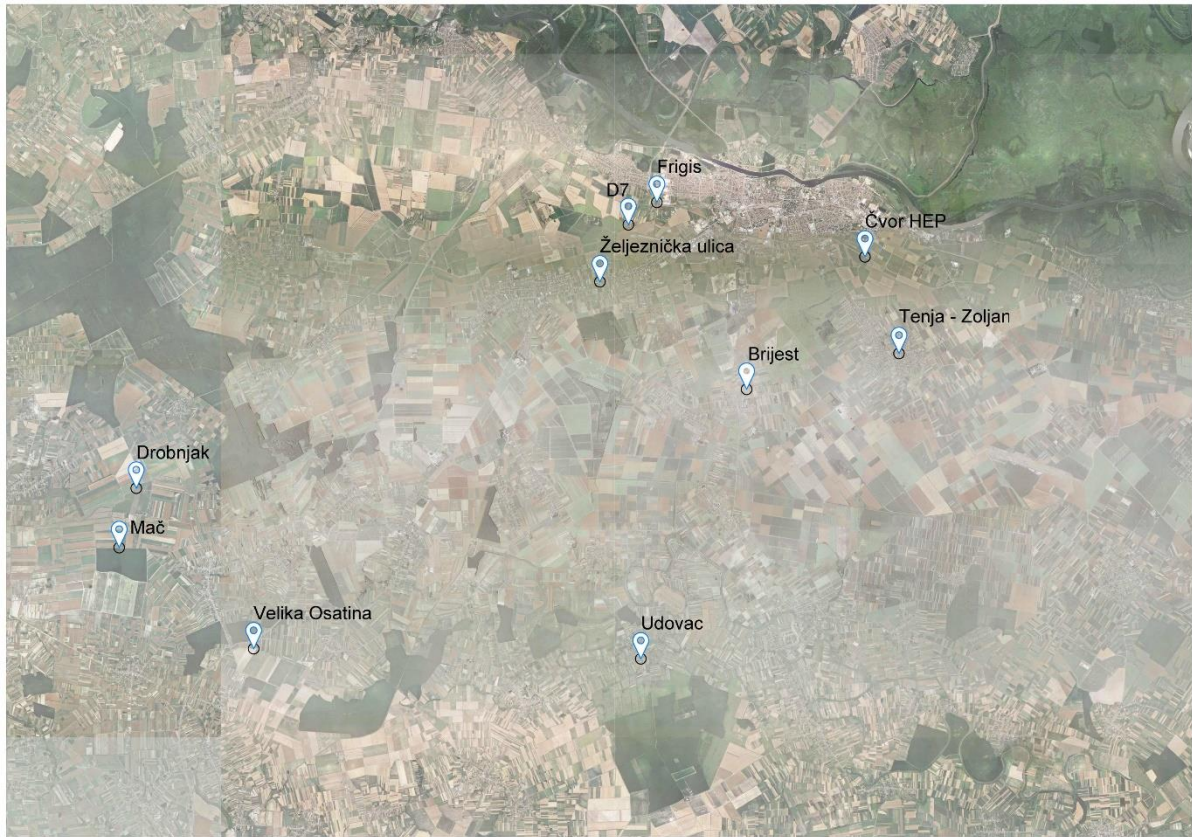
Srednja godišnja amplituda temperature, između najhladnijeg i najtoplijeg mjeseca iznosi za Osijek 21,9°C, što je odlika kontinentalnih klimatskih prilika. Prosječna količina oborine na prostoru Županije kreće se od 566 mm (Brestovac – Belje), do 753 mm (Donji Miholjac). U godišnjem hodu oborine javljaju se dva para ekstrema. Glavni maksimum javlja se početkom ljeta (najčešće u VI. mjesecu), a sekundarni krajem jeseni, u XI. mjesecu. Glavni minimum oborine je sredinom jeseni u X. mjesecu, a sekundarni krajem zime ili početkom proljeća, u II. i III. mjesecu.

Na slivu rijeke Vuke javlja se 18 tipova tala, od čega devet tipova tala pripada automorfnom, osam hidromorfim i jedan tip tla skupini subakvalnih tala ( Studija Vodnogospodarsko uređenja sliva r. Vuke“, Institut IGH, d.d., 2011.).

Prema namjeni površina slivnog područja, najzastupljenije su poljoprivredne površine koje pokrivaju čak 70 % ukupne površine sliva. Od toga su 64 % oranične površine, nakon njih po zastupljenosti su šume i vodotoci 26 %. Antropogene površine su tek na 6. mjestu (Dadić, 2016.).

## **5.2. Terenska mjerenja – uzorkovanja**

Terenska istraživanja su provedena u razdoblju od listopada 2016. godine do prosinca 2017. godine u 3 serije na više lokacija slivnog područja rijeke Vuke (Slika 5.1). U prvoj seriji uzorci su prikupljeni na dostupnim lokacijama koje su bile u planu održavanja za 2017. godinu, a pod upravljanjem su VGI Vuka. Osim iz melioracijskih kanala, uzorci su uzeti i uz prometnije ceste slivnog područja.



*Slika 5.1. Lokacije uzorkovanja kanalskog sedimenta*

U provedene tri serije, uzorkovanja su izvršena na 10 lokacija ( slike 5.2. do 5.12.) odnosno analizirano je ukupno 20 uzoraka s ciljem utvrđivanja opće slike onečišćenosti kanalskog sedimenta.



*Slika 5.2. Čvorište Frigis (04.07.2017.)*



*Slika 5.3. HEP (10.05.2017.)*



*Slika 5.4. Državna cesta D7 2+800, 4. dionica (04.05.2017)*



*Slika 5.5. ŽC 4085 Željeznička ulica (04.05.2017)*



*Slika 5.6. Separator Južna obilaznica (18.05.2017)*



*Slika 5.7. Kanal Brijest nasuprot farme (21.04.2017.)*



*Slika 5.8. Brijest nasuprot farme (21.04.2017.)*

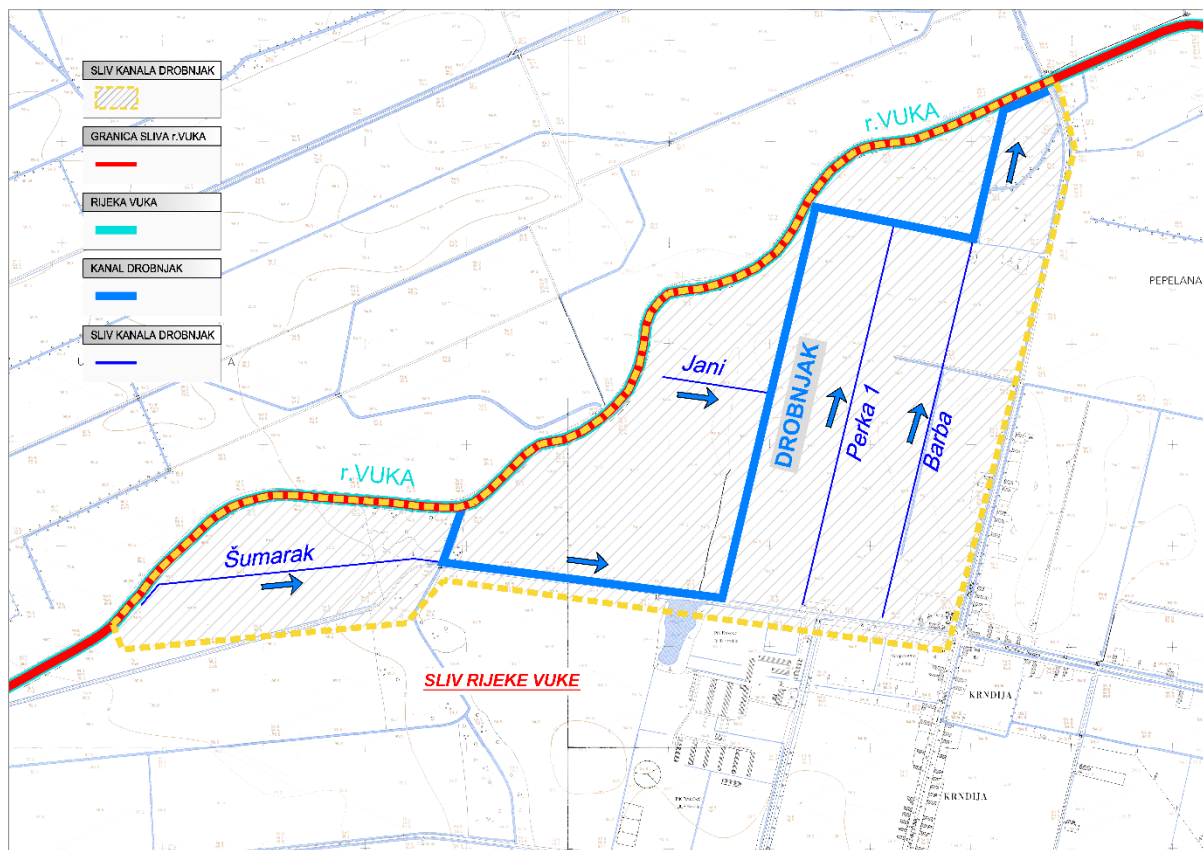


*Slika 5.9. Velika Osatina (25.04.2017.)*



*Slika 5.10. Kanal Zoljani (25.04.2017.)*

Sljedeći korak je bio pronaći ciljano područje koje se može promatrati kao „mikro“ sliv unutar slivnog područja rijeke Vuke na kojem se sa što većom sigurnošću mogu definirati svi utjecaji koji se odražavaju na pronos onečišćenja. Odabran je kanal Drobnjak, koji se nalazi u blizini farme i pripada direktnom slivu rijeke Vuke ( Slika 5.11.). Za kanal Drobnjak postoje geometrijski podaci i podatci o provedenom tehničkom održavanju 2014. godine prilikom kojega je izvršeno geodetsko snimanje (prije i poslije izmuljenja kanala), te je evidentirana izvađena količina mulja. Provedeno je i geodetsko snimanje zatečenog stanja.



Slika 5.11. Karta „mikro sliva“ kanala Drobňjak

Na kanalu Drobňjak ne provode se sustavna mjerenja niti opažanja, ne postoji stalan protok i isti se javlja u vrijeme većih oborina, izazvan površinskim otjecanjem. Pojave uspora u kanalu, za vrijeme trajanja velikih voda rijeke Vuke nema zbog postavljenog žabljeg poklopca na ušću kanala u rijeku Vuku (slika 5.12.) i preusmjeravanja toka u kanal paralelan s rijekom Vukom.



Slika 5.12. Izljev kanala Drobňjak u rijeku Vuku





*Slika 5.13. Kanal Drobnjak, stac. 0+120*



*Slika 5.14. Kanal Drobnjak 0+800*



*Slika 5.15. Kanal Drobnjak, stac. 1+800*



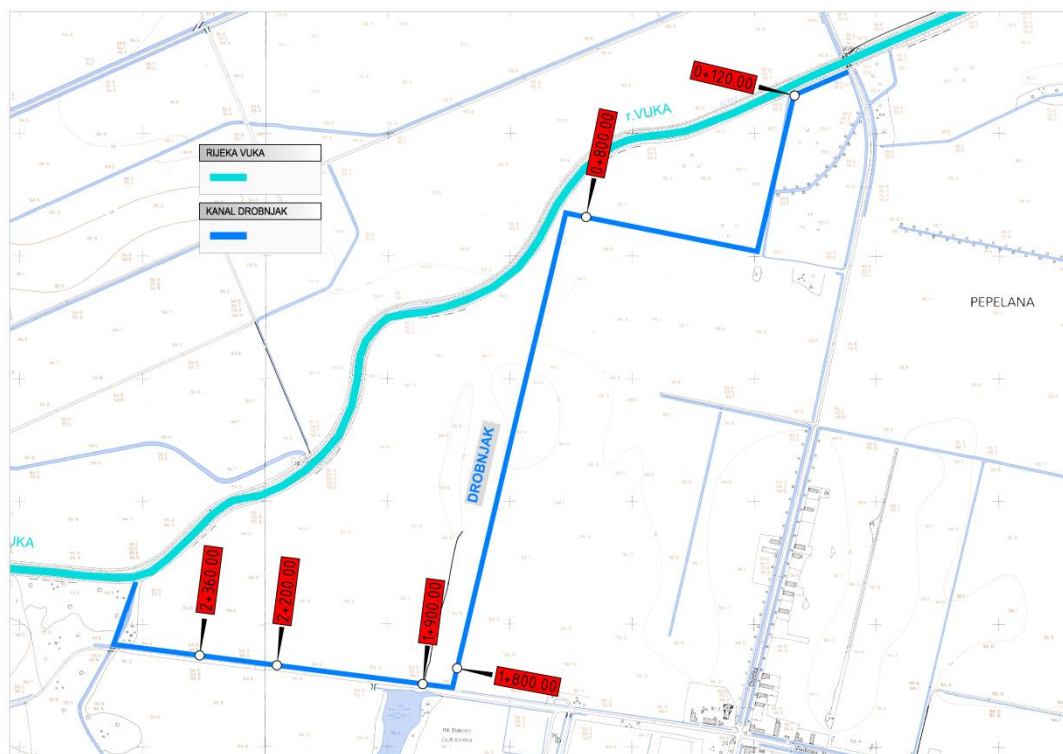
*Slika 5.16. Kanal Drobnjak, stac. 1+900*



*Slika 5.17. Kanal Drobnjak, stac. 2+200*



Slika 5.18. Kanal Drobňjak, 2+360



Slika 5.19. Karta lokacija uzorkovanja na kanalu Drobňjak

Na kanalu Drobňjak dužine 2 686 m uzeto je 6 uzoraka za koje je izvršena analiza koncentracije teških metala. Sa ciljem uvida u transport onečišćenog sedimenta u recipijente, uzorci su uzeti na rijeci Vuki 30 m uzvodno od mjesta izljeva i 10 m nizvodno od mjesta izljeva kanala Drobňjak.

Kako bi se provjerila pretpostavka o dominantnom antropogenom utjecaju na onečišćenje odabranog kanala, analizirani su uzorci nanosa iz kanala Mač koji se nalazi u neposrednoj blizini kanala Drobnjak, (slika 5.1, i slika 5.19). Kanal Mač, kanal II reda, pripada istom slivnom području s dominantnom poljoprivrednom upotrebom okolnih površina. Lociran je južno od postojeće farme i kanala Drobnjak bez registriranih točkastih izvora onečišćenja, uljeva se u kanal Gorjani-Punitovci. Uzorci uzeti na tri lokacije na kanalu Mač te neposredno nakon uljeva kanala Mač u kanal Gorjani-Punitovci.

Izvršeno je i geodetsko snimanje kanala Mač (2017.), na kojemu je provedeno izmuljenje 2016. godine, kontrolne točke snimanja nisu pokazale odstupanja od izvedenog stanja.



*Slika 5.20. Kanal Mač*

Rezultati laboratorijskih analiza na kanalu Mač i prijamnom kanalu Punitovci - Gorjani ne ukazuju na prisutnost povećanih vrijednosti teških metala, čime je potvrđen antropogeni utjecaj na kanalu Drobnjak, jer bi u slučaju geokemijskog porijekla teških metala isti bili prisutni i u sedimentu okolnih kanala. Iz razloga ne evidentiranog onečišćenja na kanalu Mač kao niti odstupanja u uzdužnom profilu, nanos sedimenta se nije stigao formirati u godinu dana, modeliranja na tom kanalu nisu rađena.



Slika 5.21. Spoj kanala Punovci-Gorjani i kanala Mač

### 5.3. Laboratorijske analize

Istraživanja su provedena na način da se uzimao površinski sloj sedimenta u kanalima, debljine 0-20 cm, spremao u najlonske vrećice, obilježavao, te isti dan dostavljao na analizu u Zavod za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije.

Analize su provedene metodama prema HRN EN ISO 15586:2008 (G) kadmij, olovo, bakar, krom ukupni, nikal, AAS 019 REV 0 (01.01.2015), a rezultati prikazani u tablici 5.1. Ocjena kvalitete sedimenta je napravljena prema Uredbi o graničnim vrijednostima kvalitete sedimenta u Republici Srbiji. Usporedba je napravljena s navedenom uredbom bog sličnosti strukture tala i geografsko-reljefnih karakteristika (Tablica. 2.9)

Tablica 5.1. Analiza teških metala odabranih lokacija

	jedinica	VELIKA OSATINA 30+150	ZOLJANI TENJA	BRIJEST	čvor HEP	ŽELJEZN. ULICA	D7 2+800	FRIGIS	UDOVAC
Cd	mg kg <sup>-1</sup>	0,62	0,22	0,22	0,36	0,22	0,19	0,19	0,58
Pb		15,6	22,8	17,3	139	21,8	15,6	11,6	14,3
Ni		27,8	27,1	36,9	34,8	40,2	24,7	16,9	39,6
Hg		0,14	0,12	0,15	0,12	0,12	0,1	0,07	0,17
Cu		362	22,2	247	25,5	1543	14,6	8,11	27,3
Cr		50,6	47,6	53,8	53,1	48,7	46,7	28,7	55,7

Iz tablice 5.1. je vidljivo da se u uzorcima uzetim u Željezničkoj ulici i melioracijskom kanalu Velika Osatina pojavljuju značajnije koncentracije bakra (Cu), puno veće (crvena boja) od

bilo kojeg kriterija opisanog u poglavlju 2. Oba kanala nalaze se u područjima s evidentnim značajnim antropogenim utjecajem. Kanal u Željezničkoj ulici nalazi se uz županijsku ceste 4085 na kojoj se odvija intenzivan promet. Kanal Velika Osatina na području gdje je uzet uzorak, nalazi se u neposrednoj blizini svinjogojske farme. Koncentracije olova, nikla i kroma pokazuju neznatno povećanje koncentracije (žuta boja) u odnosu na ranije opisane kriterije, dok su kadmij i živa unutar dopuštenih granica. Kako je već navedeno, nakon uzimanja uzoraka u širem području, odabran je kanal Drobnjak koji je okružen poljoprivrednim površinama i gdje je bio pretpostavljen utjecaj otpadnih voda farme, a samim tim i prisustvo teških metala u sedimentu. Analize koncentracije teških metala u kanalu Drobnjak su pokazale rezultate u Tablici 5.2.

Tablica 5.2. Analiza teških metala u sedimentu na kanalu Drobnjak

kanal Drobnjak		stacionaža					
element	jedinica	2+500	2+200	1+900	1+800	0+800	0+120,00
Cd	mg kg <sup>-1</sup>	0,15	0,38	0,51	0,47	0,25	0,18
Pb		18,5	19,1	8,9	11,8	19,9	20,9
Ni		41,6	50,5	29,6	31,6	41,5	48,3
Hg		0,17	0,24	0,87	0,35	0,18	0,24
Cu		40,9	485	1239	1489	139	89,5
Cr		75,9	78,3	38,4	44	69,6	85,6

Tablica 5.2. pokazuje da su u uzorcima uzetim duž kanala Drobnjak ponovo značajno povišene koncentracije bakra (crvena boja). Kadmij i olovo ne premašuju dopuštene vrijednosti, a nikal, živa i krom imaju različite vrijednosti koncentracije, od dopuštenih do neznatno povećanih ( žuta boja). Prekoračenja su izraženija u sredini kanala ( od stac. 2+200 do stac. 1+800) i prema ušću, odnosno kraju kanala. Opet su za granične vrijednosti uzete u obzir sve preporuke kriterija opisanih u poglavlju 2., ocjena sedimenta je napravljena prema Uredbi o graničnim vrijednostima kvalitete sedimenta (Tablica. 2.9). Sediment prema analizi pripada klasi izuzetno onečišćenoga sedimenta za koji je obavezna remedijacija ili čuvanje materijala u kontroliranim uvjetima uz posebne mjere zaštite kako bi se spriječilo rasprostiranje onečišćujućih materijala u okoliš.

Izvršena analiza ukazuje na opravdanost uvođenja kontrole izmuljenog materijala iz melioracijskih kanala kako bi se u što skorije vrijeme spriječilo odlaganje uz ili na poljoprivredne površine materijala koji po prisutnosti bakra (Tablica 2.2.) višestruko premašuje dozvoljene vrijednosti.

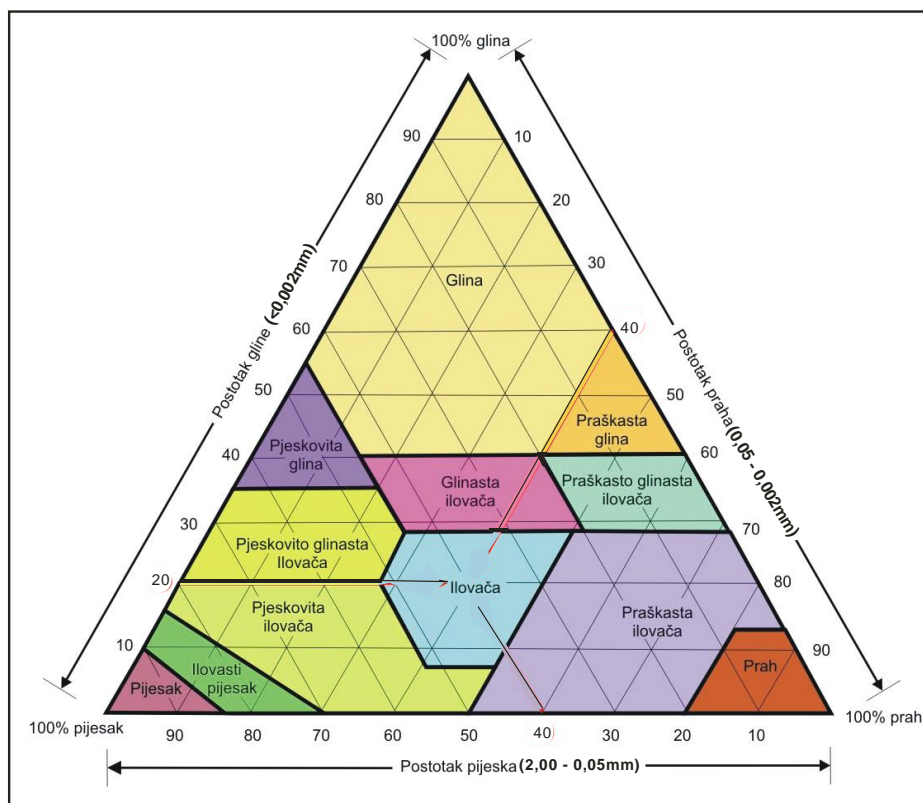
Kako su usvojenim vrijednostima u važećoj legislativi zemalja koje provode kontrolu onečišćenja sedimenta prethodila dugogodišnja istraživanja, a usporedbom interventnih vrijednosti Nizozemske i Srbije u slučaju odlaganja izmuljenoga materijala razlike ne postoje, usvajanjem istih interventnih vrijednosti (Tablica 2.6 i 2.9.) spriječilo bi se nekontrolirano odlaganje onečišćenog i vrlo onečišćenog sedimenta.

Tablica 5.3 Analiza teških metala u sedimentu rijeke Vuke, 0-030 i 0+010 u odnosu na ušće kanala Drobnjak

rijeka Vuka		Stacionaža	
element	jedinica	-30	10
Kadmij	mg/kg <sup>-1</sup>	0,23	0,23
Olovo		14,30	17,80
Nikal		42,00	45,00
Živa		0,30	0,20
Bakar		18,50	19,70
Krom		52,00	77,80

Analizirani sediment rijeke Vuke 30 m uzvodno i 10 m nizvodno od ušća promatranog kanala Drobnjak u rijeku Vuku, pokazuje vrijednost koncentracije nikla blizu maksimalno dopuštene, a koncentracije ostalih teških metala su u granicama ciljanih.

Izvršena je analiza mehaničkog sastava tla, odnosno uzorka sedimenta, s lokacije kanala Drobnjak koja je korištena kao referentna za sve proračune koje iziskuju poznavanje sastava sedimenta ( Tablica 5.3.). Analiza je izvršena u Zavodu za agroekologiju Poljoprivrednog fakulteta u Osijeku. Za interpretaciju mehaničkog sastava tla korišteni su kriteriji i granične vrijednosti prema Soil Survey Manual, 1951 ( Slika 5.22.). Provedena analiza bila jeneophodna kako bi se raspolagalo s podacima granulometrijskog sastava uzorka za potrebe izračuna transporta sedimenta.



Slika 5.22 Mehanički sastav tla - kriteriji i granične vrijednosti

Tablica 5.3. Mehanički sastav sedimenta u kanalu Drobnjak

Uzorak	Dubina	Sadržaj mehaničkih čestica (%)					Teksturna oznaka
		Krupni pijesak	Sitni pijesak	Krupni prah	Sitni prah	Glina	
1080	-	3,8	17,54	34,78	28,67	15,21	Prašasta ilovača

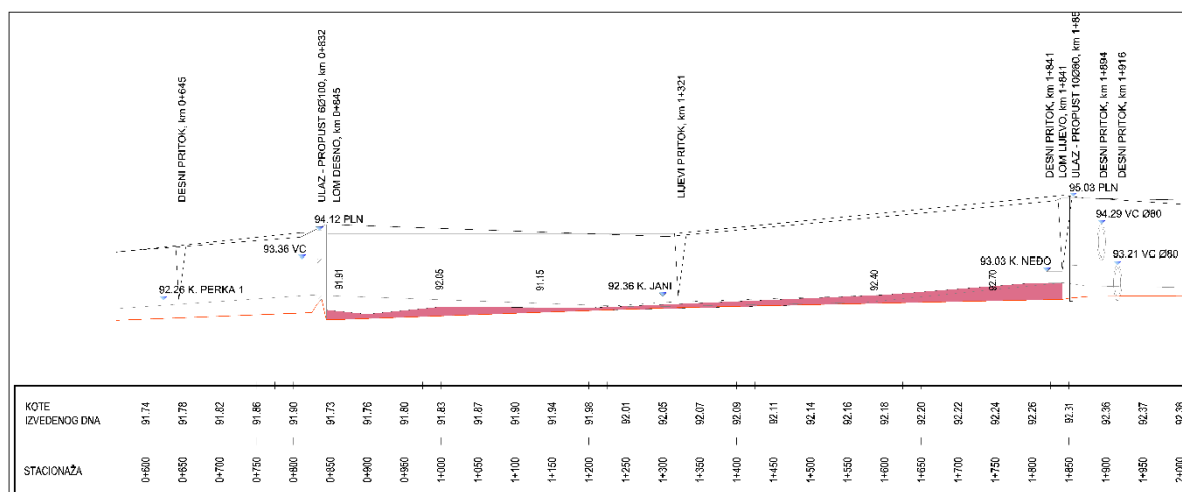
Prema postotku gline, uzorak ukazuje na potrebu korekcije s obzirom na izmjereni sadržaj gline i organske tvari u sedimentu jer se propisane vrijednosti prethodno analiziranih pravilnika odnose na standardni sediment s 10 % organske tvari i 25 % gline.



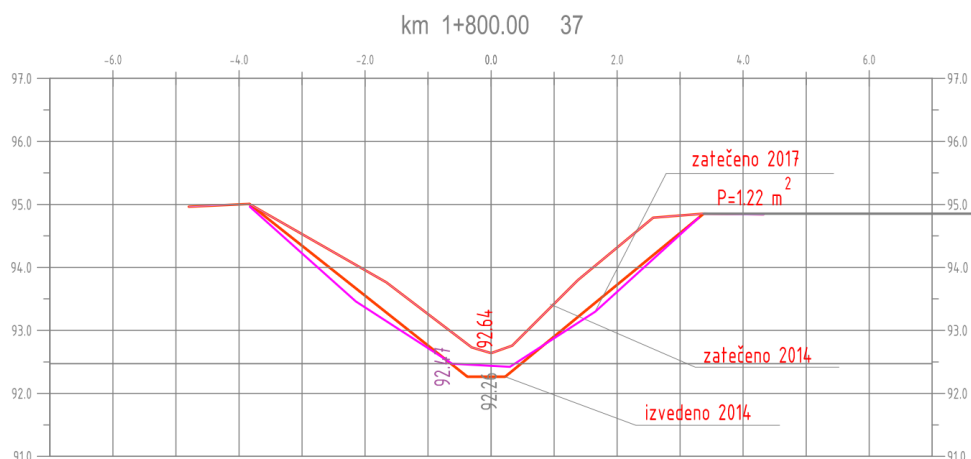
## 5.4. Geodetske podloge

Iz baze podataka Hrvatskih voda preuzeto je “nulto stanje” kanala Drobňjak, nakon izmuljivanja 2014. godine. Godine 2018. izvršeno je geodetsko snimanje uzdužnog profila kanala i poprečnih profila, kako bi se dobio uvid u geometrijske promjene dna kanala, odnosno u debljinu sloja novonastalog sedimenta u odnosu na snimak pri posljednjem tehničkom odražavanju 2014. godine. Geodetski snimak kanala također je potreban kao ulazni podatak za modeliranje otjecanja i stvaranje sedimenta.

Slika 5.23. prikazuje smanjenje dubine kanala, promjene nastale na uzdužnom profilu kanala vidljive su cijelom dužinom kanala, pri čemu je relativno ujednačena vrijednost sedimentacije na dionici stac. 1+800 – 0+800 gdje je evidentirana promjena u visini do cca 30 cm u odnosu na prvobitno stanje. Sedimentacija je vidljiva i na poprečnom presjeku kanala na stacionaži 1+800 na kojoj se vide promjene nastale u razdoblju od 2014., od posljednjeg čišćenja do 2017. godine ( Slika 5.24.).



Slika 5.23. Uzdužni profil kanala Drobňjak



Slika 5.24. Poprečni profil kanala Drobnjak, stac 1+800

## 5.5. Analiza pojave erozije

Istočna Slavonija pripada području niske erodibilnosti, ( Husnjak, 2000.) .

Kako se na analiziranom izdvojenom „mikro-slivu“ ne raspolaže s podacima o intenzitetu erozijskog procesa, odabrana je Gavrilovićeva metoda za procjenu intenziteta i produkciju erozijskog nanosa. Gavrilovićeva metoda, poznata je i kao metoda potencijala erozije, (Erosion Potential Method –EMP), (1960.), te se ista koristi diljem svijeta, od Hrvatske i okolnih zemalja do Irana i Čilea. (Dragičević, i dr. 2016.). Jednadžba glasi:

$$W_a = T \cdot P_a \cdot \pi \sqrt{Z^3} \cdot F \quad (5.1)$$

$W_a$ - ukupna godišnja produkcija erozijskog nanosa ( $m^3$ /godišnje)

T – temperaturni koeficijent (-)

$P_a$ - srednja godišnja količina oborina (mm)

Z- koeficijent erozije (-)

F – površina analiziranog područja ( $km^2$ )

Provedenim proračunom bi na području analiziranog mikrosлива nastajalo oko 180 m<sup>3</sup>/ godišnje sedimenta. Ukoliko bi se kompletna produkcija nanosa formirala na dnu kanala, povišenje dna kanala iznosilo bi cca 12 cm/god.

Budući da za navedeno područje ne postoje mjereni podaci, jedine informacije kojima se raspolaže su iz redovnog održavanja kanala II. reda na kojima se svakih četiri do pet godina vrši izmuljenje i prema informacijama sa terena u tom vremenskom razdoblju se na dnu formira sedimenta u visini od 20-30 cm, odnosno cca 0,12 m<sup>3</sup>/m' u vremenskom razdoblju od pet godina.

## **5.6. Numerički model**

Poznavanje oborinskog režima predstavlja osnovu za proračun maksimalnih protoka kanala. Zbog nepostojanja mjenjenih podataka za predmetni mikrosliv, nije se raspolagalo podacima o količini otjecanja. Stoga je za definiranje odnosa oborina i površinskog otjecanja primijenjen je model HEC HMS kojim su poznati podaci o dnevnim oborinama ( meteorološka postaja Osijek) transformirani u otjecanje, s ciljem dobivanja mjerodavne količine dotoka nastalog uslijed oborina na promatranom području.

### **5.6.1. Modeliranje otjecanja sa „mikro-sliva“ putem HEC-HMS-a**

Za izradu modela razmatranoga slivnoga područja potrebno je postaviti i međusobno povezati tri cjeline podatka potrebnih da bi proračun bio učinkovit: model slivnoga područja, meteorološki model i kontrolni model.

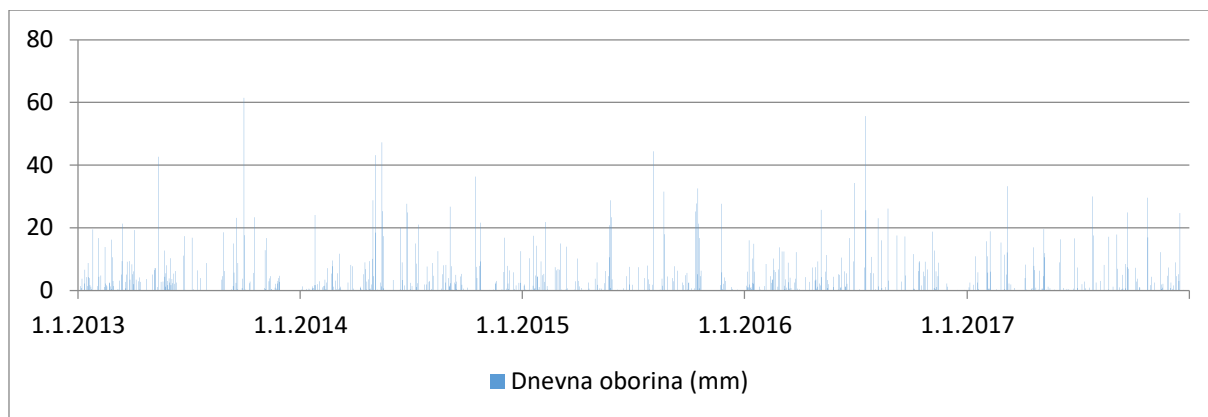
Modeliranje je provedeno sljedećim redosljedom:

Model slivnoga područja napravljen je unošenjem parametara potrebnih za proračun koji ovise o odabranoj metodi proračuna infiltracijskih gubitaka, te transformacije otjecanja po slivu. Sam programski paket koristi odvojene modele za prezentaciju svake komponente procesa otjecanja koje uključuju: modele proračuna volumena otjecanja, modele koji računaju izravno otjecanje po površini, modele baznog otjecanja i modele tečenja u kanalima. Navedeni modeli daju odgovore na pitanja što se događa s vodom koja je pala na tlo: volumen pale oborine, količinu infiltrirane oborine kroz poroznu površinu, količinu oborine oteklu s porozne i nepropusne površine; te što se događa s vodom koja otječe po površini.

Oborina koja je pala na nepropusnu površinu u potpunosti doprinosi otjecanju, a oborina na propusnim površinama se infiltrira i predstavlja gubitak. Za simulaciju gubitaka infiltracijom korištena je SCS metoda, usvojeni CN iznosi 78,40. Za proračun infiltracijskih gubitaka je

odabrana metoda Soil Conservation Service (SCS) otjecajnih krivulja, ovisna je parametru koji varira u zavisnosti o vrsti tla, njegovu korištenju, načinu obrade, stanju i prethodnoj vlažnosti.

U proračun transformacije oborina u površinsko otjecanje korištena je također SCS metoda, korištenjem dnevnih podataka o količinama oborina i vrijeme zakašnjenja od 100 min.



*Slika 5.25. Dnevne oborine (meteorološka postaja Osijek, 2013-2017)*

Oborine su odabrane prema kriteriju prethodne vlažnosti i trajanju kišne epizode. Tako su kao relevantne kišne epizode za modeliranje transporta sedimenta odabrane dvije: prva kišne epizoda od 26.9-3.10.2013. i druga od 13.5.20.5.2014. (Tablica 5.4.).

U meteorološki model unesena je dnevna oborina odabranih vremenskih razdoblja. Kontrolni model obuhvaća vrijeme trajanja simulacije koja uključuje početni i završni datum kao i vremenski korak proračuna.

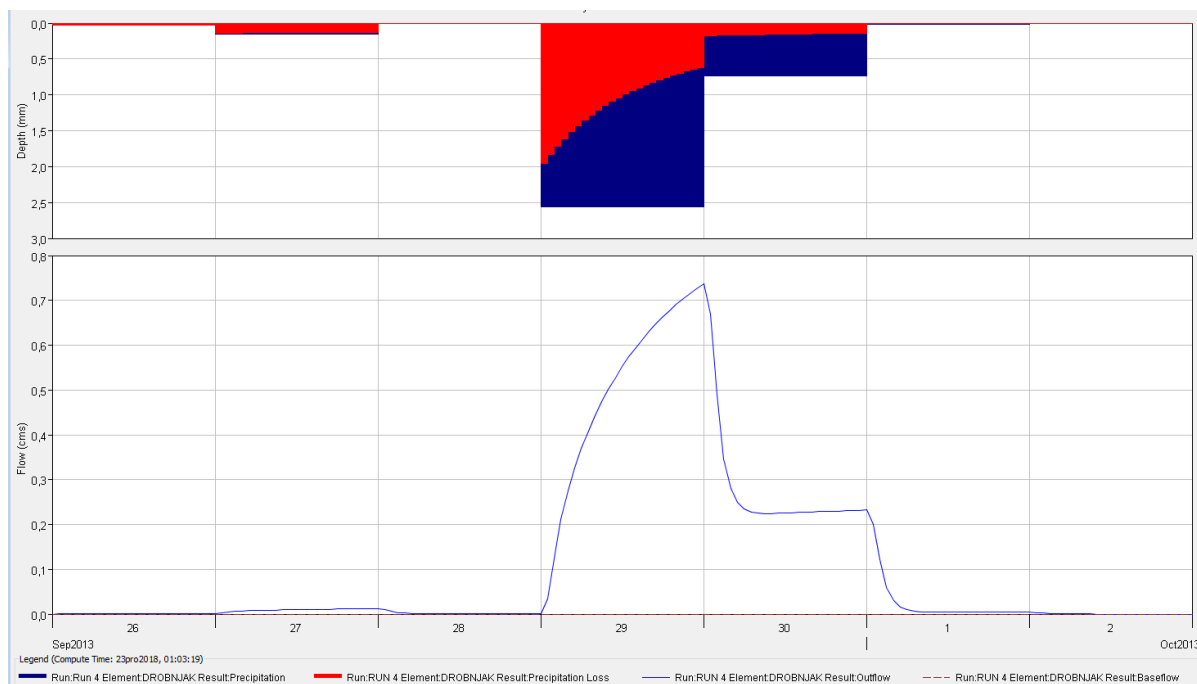
Za svaku godinu napravljene su simulacije za po dvije kišne epizode koje su odabrane po karakterističnom trajanju, intenzitetu, te trajanju sušnog razdoblja koje je prethodilo (Slika 2.25). Kišna razdoblja su najduže trajala do 12 dana u kontinuitetu sa količinom do 10 - godišnjeg povratnog razdoblje (Slika 5.27.) Kako se radi o oborinama koje rezultiraju sličnim protocima na promatranome slivu, u nastavku se daje prikaz rezultata dva odabrana niza koji su uzeti kao reprezentativni s obzirom na trajanje i intenzitet.

Tablica 5.4. Odabrane kišne epizode 2013.-2017.

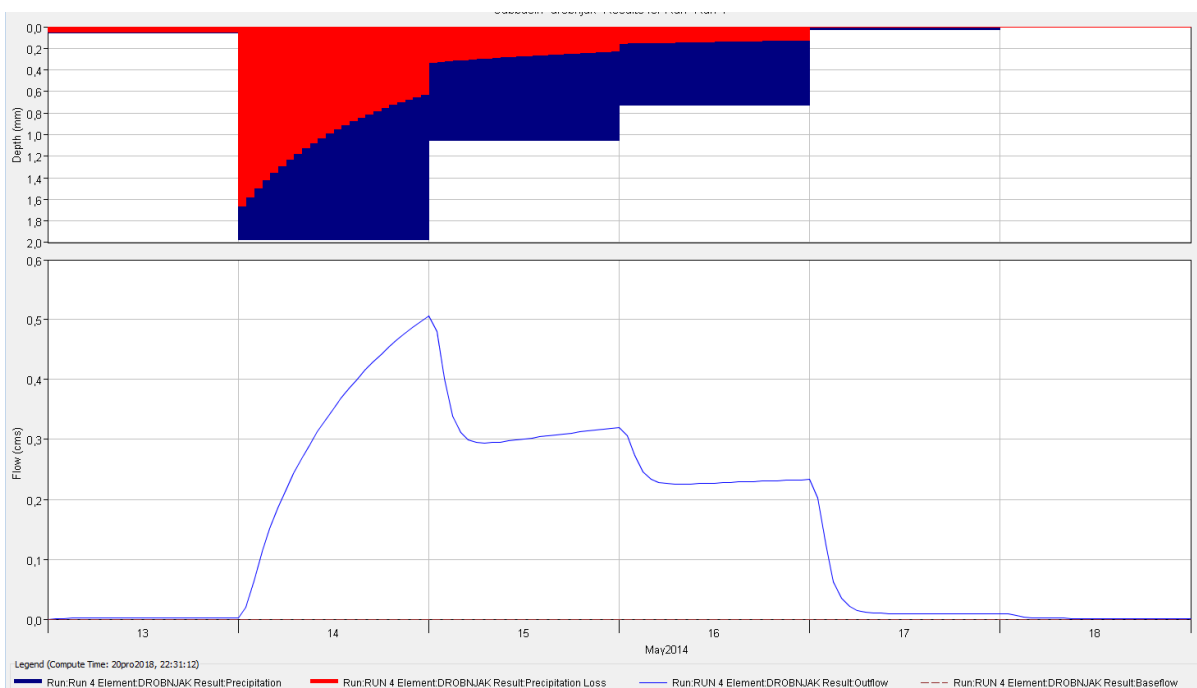
redni broj	simulacija datum od	simulaciia datum do	vrijeme trajanja oborine	max	min
			dana	mm	mm
1.	12.05.2013.	14.06.2013.	25	12,8	0,1 (0)
2.	26.09.2013.	03.10.2013.	8	61,5	0,3 (0)
3.	13.05.2014.	20.05.2014.	7	47,3	0,1(0)
4.	01.09.2014.	08.09.2014.	7	26,7	0,3 (0)
5.	21.05.2015.	28.09.2015.	7	28,8	0,8
6.	14.10.2015.	21.10.2015.	7	32,6	0,7
7.	02.01.2016.	18.01.2015.	14	16	0,5
8.	14.07.2016.	19.07.2016.	4	55,6	0,1
9.	01.02.2017.	09.02.2017.	8	18,9	0,3
10.	06.09.2017.	23.09.2017.	6	24,9	0,7(0)

Za stvarni utjecaj površinskog otjecanja na pojavu protoka potrebno bi bilo analizirati i prethodnu zasićenost tla što u ovom modelu nije analizirano. Problemu se pristupilo na način da su odabrana vremenska razdoblja u kojima se pojavila oborina najjačih intenziteta i najduljeg trajanja, s pretpostavljenih 10 % površine koja 100 % sudjeluje u otjecanju. Kako su simulacije pokazivale vrlo slične rezultate u nastavku je dan prikaz rezultata onih koje se dale najveće protoke.

Na slikama 5.25. i 5.26. prikazana su otjecanja odabranih kišnih epizoda koje su ocijenjene kao relevantne s obzirom na njihovo trajanje i intenzitet. To su kišne epizode od 26.9.2013.-3.10.2013.godine i od 13.5.2014. do 20.5.2014.godine.

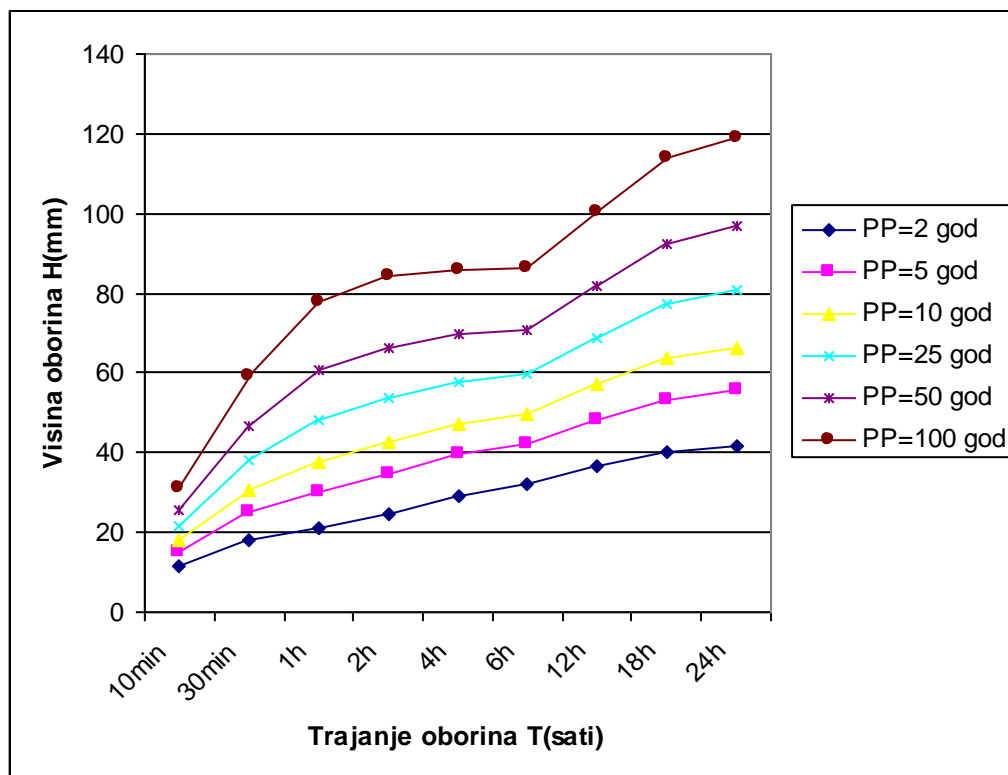


Slika 5.26. Otjecanje sa sliva za kišnu epizodu 26.09.2013. -03.10.2013.



Slika 5.27. Otjecanje sa sliva za kišnu epizodu : 13.05.2014. – 20.05.2014.

Prema podacima o oborina opažanih na meteorološkoj postaji Osijek definirane su PTP krivulje („Višenamjenski kanal Dunav-Sava : Hidrološko-hidraulička obrada slijeva Vuke“-knjiga 2.1 ), prikazani u „Idejnom projektu uređenja Poganovačko-Krvičkog kanala u Josipovcu, 2008).



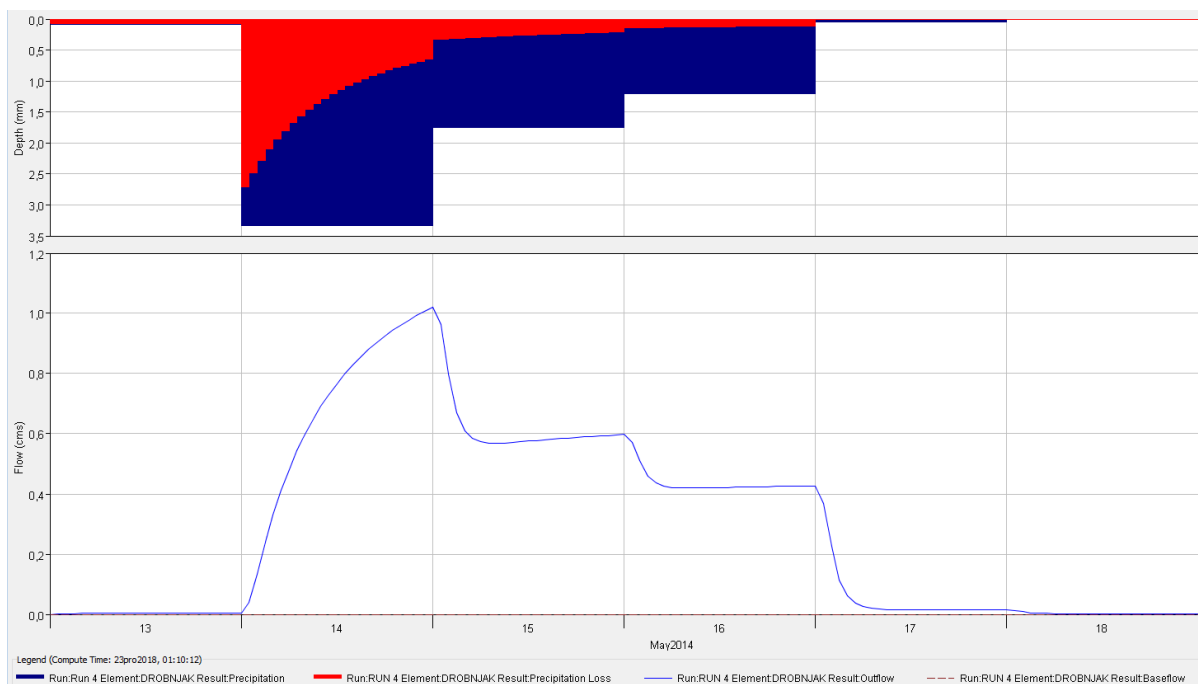
Slika 5.28. Količina oborina na stanici Osijek u funkciji trajanja i ponavljanja oborina (PTP krivulje)

Prema prikazanim oborinama, u promatranom vremenskom razdoblju 2013- 2017. na slivu su se javile oborine 2, 5 i 10-godišnjeg povratnog razdoblja. S ciljem dobivanja protoka u kanalu prilikom pojave 25,50 i 100- godišnjeg povratnog razdoblja, napravljena je računaska kiša s intenzitetom pojedinih povratnih razdoblja na način da je preslikana na niz dana iz svibnja 2014.

Tablica 5.5. Računske kišne epizode na osnovu 25, 50 i 100 godišnjih povratnih perioda

	Povratno razdoblje		
	25	50	100
13_05_2014	0	0	0
14_05_2014	2,42	2,9	3,75
15_05_2014	80,7	96,6	119
16_05_2014	42,8	51,2	63,1
17_05_2014	29,86	35,74	44,03
18_05_2016	1,614	1,93	2,38
19_05_2014	0,16	0,19	0,24

Simulacija otjecanja kišne epizode 25-godišnjeg razdoblja za oborinu u trajanju od 24 sata daje cca 30% veći protok u odnosu na stvarnu oborinu promatranog razdoblja ( Slika 5.29.).

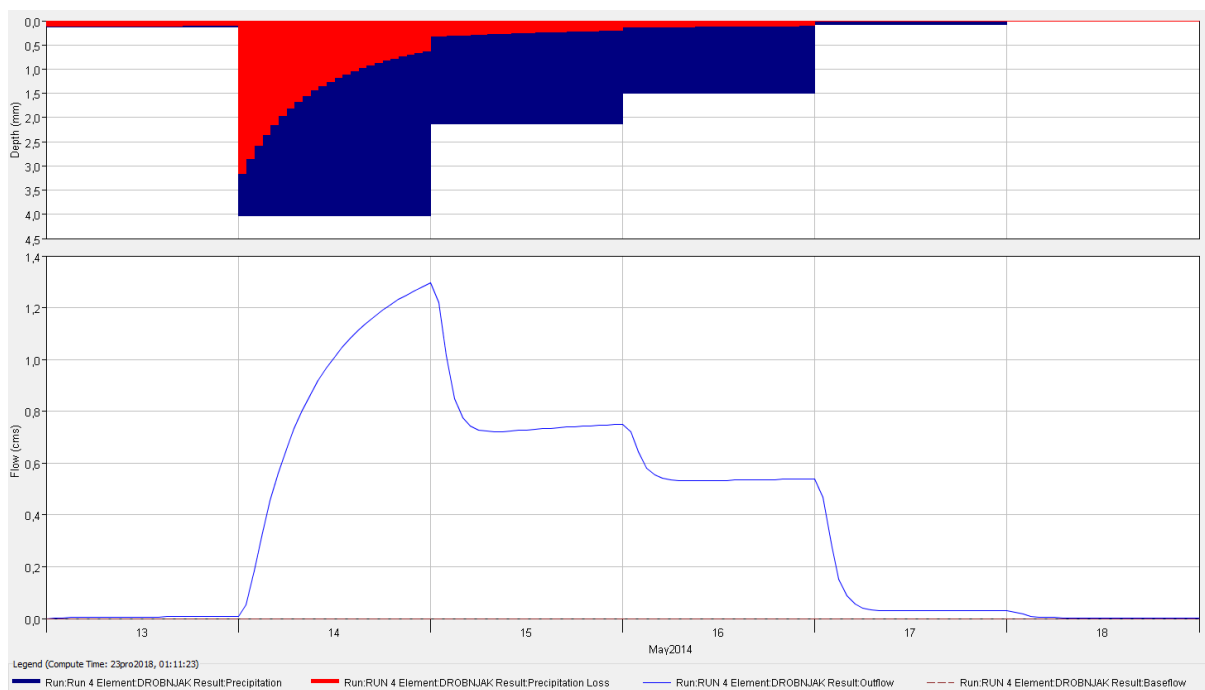


Slika 5.29. Otjecanje sa sliva za zadanu oborinu 25-godišnjeg povratnog razdoblja

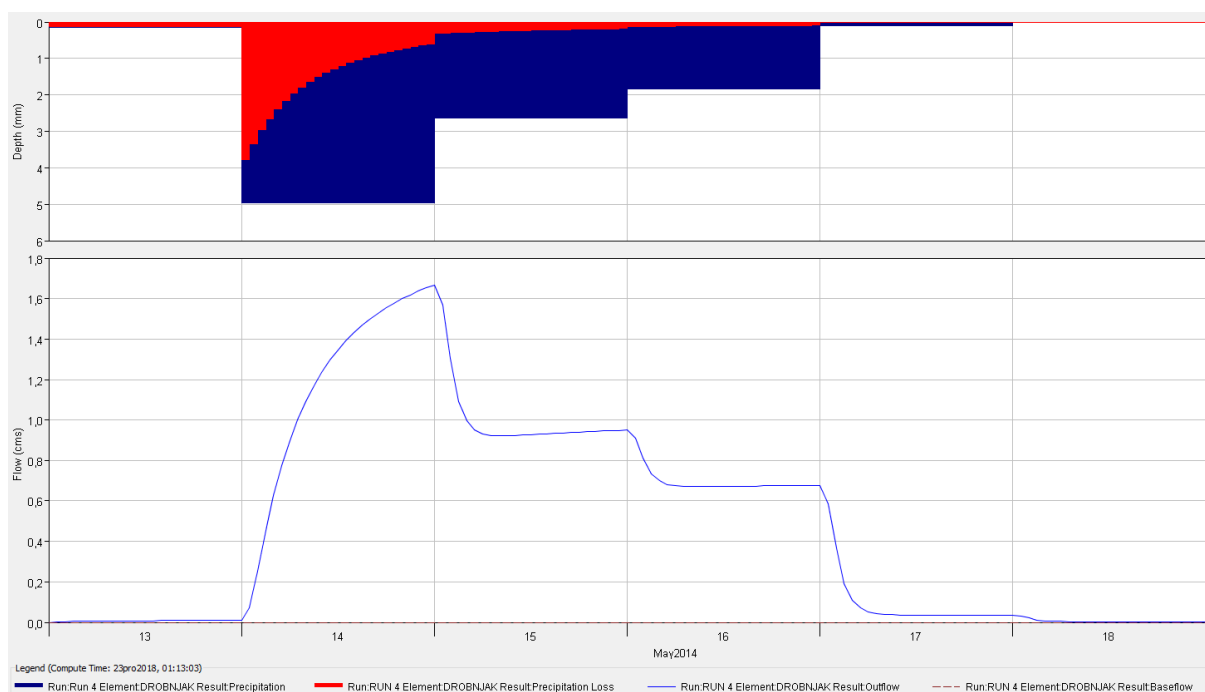
Simulacija otjecanja kišne epizode 50-godišnjeg razdoblja za oborinu u trajanju od 24 sata daje cca 45% veći protok u odnosu na stvarnu oborinu promatranog razdoblja ( Slika 5.29.).

Simulacija otjecanja kišne epizode 100-godišnjeg razdoblja za oborinu u trajanju od 24 sata daje cca 55% veći protok u odnosu na stvarnu oborinu promatranog razdoblja ( Slika 5.31.).





Slika 5.30. Otjecanje sa sliva za zadanu oborinu 50-godišnjeg povratnog razdoblja



Slika 5.31. Otjecanje sa sliva za zadanu oborinu 100-godišnjeg povratnog razdoblja

Dobiveni rezultati otjecanja koristit će se za modeliranje simulacije transporta sedimenta kao podloga za analizu povezanosti pokretanja kanalskog sedimenta s količinom vode u kanalu, odnosno povezanosti brzine vode u kanalu s mehanizmom pokretanja sedimenta.

### **5.6.2. Simulacija transporta sedimenta**

HEC-RAS je računalni program razvijen od strane američkog Ministarstva obrane, Army Corps of Engineers koji je razvio Hidrološki centar. Ovaj softver omogućuje proračun/simulaciju jednodimenzionalnog kontinuiranog protoka, jednodimenzionalnog nestacionarnog proračunavanja protoka, sedimentnog prijenosa / izračunavanja pronosa nanosa i modeliranja temperature vode / kvalitete vode.

Opće postavke sustava modeliranja zasnivaju se na tome da je HEC-RAS integrirani sustav softvera dizajniran za interaktivnu uporabu u okruženju s više zadataka. Sustav se sastoji od grafičkog korisničkog sučelja (GUI), zasebnih komponenti analize, mogućnosti pohranjivanja podataka i upravljanja, grafike i objekata za izvješćivanje. Model zahtjeva podatke o geometriji kanala, protoku (kvazi stacionarno tečenje), podatke o sedimentu, granulometrijskom sastavu sedimenta i plan analize sedimenta.

Geometrijska shema kanala unesena je na način da je postavljen model duljine 2 500 m, uzdužni pad je usvojen jednoliki od 0,056 %, visine preuzete iz geodetskog snimka. Između početne i završne stacionaže interpolirani su poprečni profili svakih 20 m.

HEC RAS verzija 5.0 uključuje dva hidrodinamička pristupa prilikom transporta sedimenta kvazistacionarni protok i nestacionarno strujanje. Kvazi stacionaran protok je jedinstven za analizu transporta sedimenta prilikom čega kvazi stacionarni model simulira serije protoka slijedom (sekvencama) proračuna ustaljenog tečenja.

Hidrodinamički parametri za model sedimenta se računaju s HEC-RAS mehanizmom stacionarnog tečenja nakog čega čega se preko određenog sučelja računa privremeni transport sedimenta. Prilikom proračuna odabran je kvazi stacionaran protok.

Odabrani kvazi-stacionarni pristup aproksimira hidrogram tečenja preko serija profila ustaljenog stacionarnog strujanja povezanim s određenim trajanjem protoka.

HEC-RAS zahtjeva uzvodne i nizvodne rubne uvjete za analizu sedimenta. Nizvodni granični uvjet tečenja zadan je preko normalne dubine, gdje je usvojen pad dna kanala. Za uzvodni rubni uvjet zadane su serije protoka koje se zadaju unutar analiziranog vremenskog razdoblja, određujući vrijeme trajanja protoka i računski korak.

Trajanje protoka ne kontrolira vremenski korak modela, koji ne može biti veći od trajanja protoka, nego mora biti zadan unutar istoga. Kvazistacionarni model proračunava novi protok

za svaki računski korak primjenjujući hidrodinamičke elemente unutar određenog vremenskog koraka.

Ovim pristupom se pretpostavlja da se geometrija dna ne mijenja dovoljno brzo između proračunskih koraka da bi hidrodinamički uvjeti tečenja bili značajno promijenjeni.

Transport sedimenta je izričito nelinearan. Većina transporta i promjena dna je koncentrirana u relativno kratkim razdobljima velikih protoka, a poplave su često visokodinamičke pojave. Dugački kvazistacionarni vremenski periodi (npr. 24 h ili više) uglavnom su značajni za epizode s malim potocima i malim promjenama dna, što je upravo slučaj kod ove analize.

Dotoci su raspodjeljeni kao uniformni lateralni dotoci jednoliko po interpoliranim poprečnim presjecima, koji su prethodno zadani u geometrijskom file-u na svakih 20 m razmaka.

Model zahtjeva i unos temperature vode, radi definiranja viskoznosi, te je zadana temperatura vode od 15 °C.

Izbornik podataka sedimenta (Sediment data) zahtjeva unos početnih uvjeta i transportnih parametara. Unutar početnih uvjeta zadana na maksimalan dubina, sloj unutar kojeg je moguć transport sedimenta (20 cm), te je omogućeno pokretanje sedimenta po kompletnom poprečnom profile kanala. Od transportnih parametara potrebno je odabrati transportnu funkciju, metodu sortiranja, te metodu pada brzine.

Uzimajući u obzir srednji promjer zrna, hidraulički radijus i brzine koje se mogu pojaviti prilikom računskog dotoka odabrana transportna funkcija Laursen (Copeland). Laursenova metoda je metoda predviđanja ukupne količine sedimenta, izvedena iz kombinacije kvalitativne analize, izvornih eksperimenata i dodatnih podataka. Transport sedimenta primarno je definiran na temelju hidrauličkih značajki srednje brzine kanala, dubine toka, energetskog gradijenta, te svojstava sedimenta, promjene brzine i pada. Doprinos Copeland-a (Copeland, 1989.) je u proširenju područja s obzirom na granulaciju sedimenta i sada područje primjene obuhvaća materijale od 0,011 mm do 29 mm, srednjeg promjera čestica. Opća jednadžba transporta za Laursenovu (Copelandovu) funkciju za jednu veličinu zrna glasi:

$$C_m = 0.01 \gamma \left( \frac{d_s}{D} \right)^{7/6} \left( \frac{\tau'_0}{\tau_c} - 1 \right) f \left( \frac{u_*}{\omega} \right) \quad (5.2)$$

$C_m$  - koncentracija pronosa sedimenta, težina ili volumen

G – jedinična težina vode

$d_s$  - srednji promjer zrna

D - efektivna dubina vode

$\tau'_0$  - posmično naprežanje na dnu

$\tau_c$  - kritično posmično naprežanje na dnu

$f \left( \frac{u_*}{\omega} \right)$  - funkcija omjera brzine posmika na dnu i pada brzine po Laursenu

Nadalje je primijenjena Thomasova metoda sortiranja ili razvrstavanja slojeva (1982.) prema kojoj se transportni potencijal izračunava bez uzimanja u obzir raspoloživosti materijala. Metoda razvrstavanja slojeva (koja se naziva metoda miješanja ili “armiranja”) prati granulaciju sloja koji HEC-RAS koristi za izračun prijenosne sposobnosti kapaciteta klase zrna i može simulirati procese “armiranja” koji reguliraju opskrbu sedimentnim materijalom. Ova metoda koristi troslojni model koji čini neovisan grubo “armiran” sloj koji ograničava eroziju dubljih slojeva.

### ***Korištena metoda pada brzine (Report 12.)***

To je iterativno rješenje koje koristi iste krivulje kao i Van Rijn, ali koristi izračunatu brzinu za izračun novog Reynoldsovog broja i nastavlja se ponavljati sve dok pretpostavljena brzina pada ne odgovara izračunatoj unutar prihvatljive tolerancije.

Granulometrijski profil zadan je prema analiziranom uzorku, s određenim modifikacijama kako bi se svakoj granulometriji pridružio određeni udio.

Iako je svaka erozija ili deponiranje odstupanje od ravnotežnog stanja, rubni uvjeti su zadani preko ravnotežnog stanja budući da za promatrano područje ne postoje mjereni podaci, koji bi se mogli povezati s pojedinim kišnim epizodama.

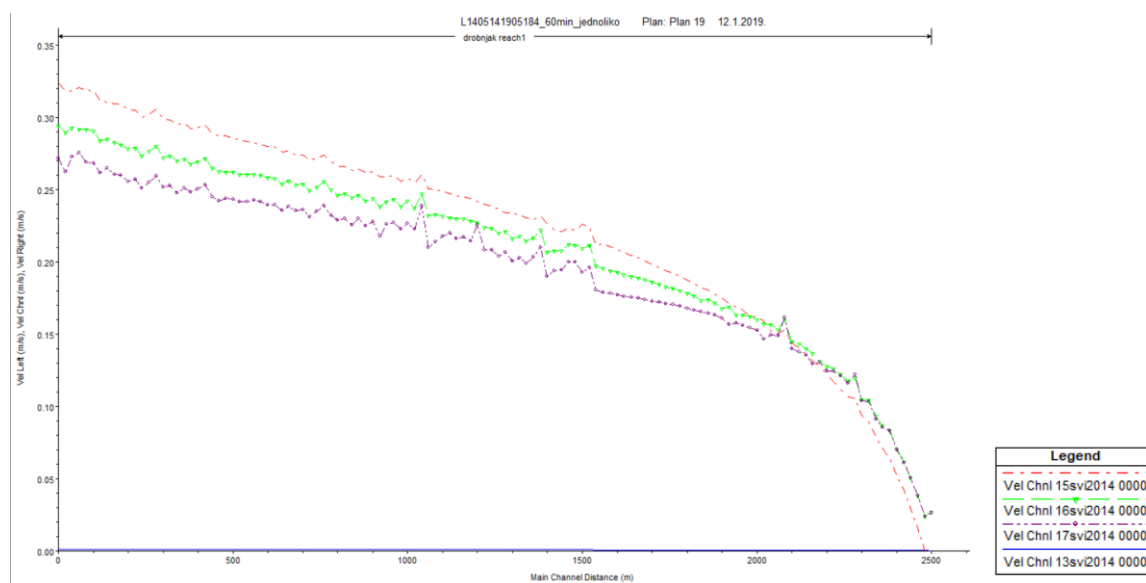
Kalibracija modela bila je moguća preko parametara, u slučaju odabrane Laursen metode, povećanja otpora vučnoj sili zbog obraslosti kanala te uzimanjem u obzir prisutnost sitnih čestica (gline i praha) čija je pokretljivost veća, što je i provedeno. Simulacija je rađena s temeljnim postavkama modela uz pretpostavku da se promatrano tečenje događa na kanalu na kojem je odrađeno održavanje u punom profile, u vremenu dok se još nije razvila vegetacija. Budući da se rad primarno bavi mobilnošću sedimenta, ne i ukupnim količinama, ovaj način izračuna ocijenjen je kao dovoljno točan i prihvatljiv. Prilikom definiranja opcija izračuna odabrana je donja granica bilježenja promjena u promatranom sloju dna kanala od 0,5 cm.

## 6. Analiza rezultata i rasprava

U nastavku su analizirane različite kišne epizode (realne i računске) i njihov učinak na pokretanje sedimenta. Zbog vezanja onečišćenja na čestice tla/sedimenta u daljnjem tekstu se podrazumijeva da se pomicanjem sedimenta pronosi i onečišćenje teškim metalima vezano na fine čestice sedimenta.

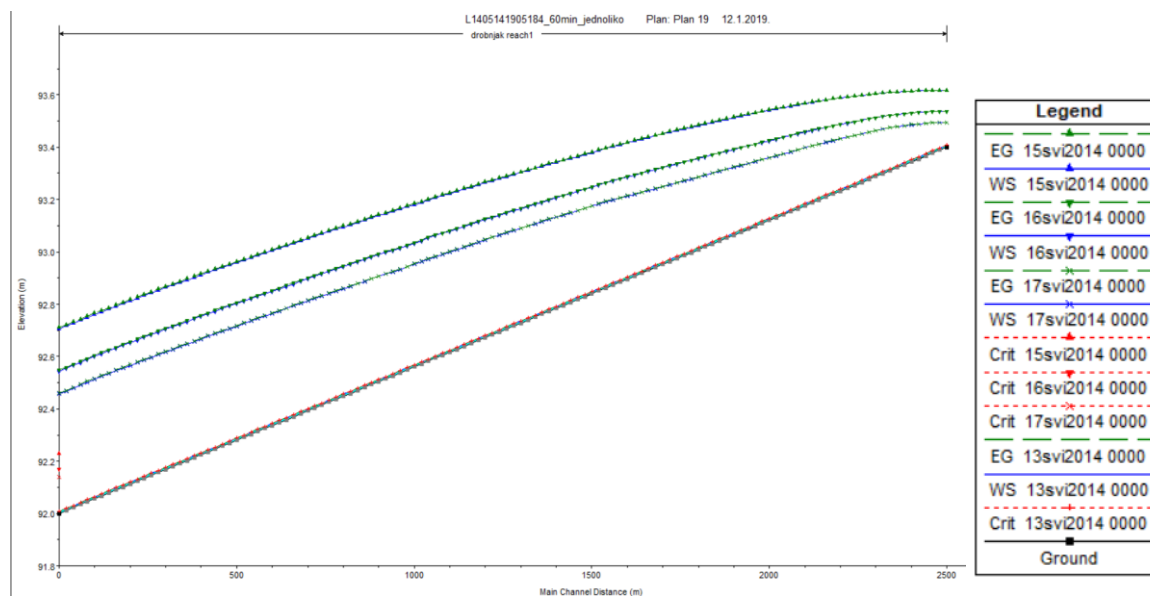
### 6.1. Analiza rezultata kišne epizode 13.05.2014. – 20.05.2014.

Maksimalna dnevna oborina koja je pojavila u tom razdoblju je 47,3 mm, kišna epizoda je trajala sedam dana. Slika 6.1. prikazuje brzine između 15. i 17. svibnja nakon isteka vremena koncentracije sliva i protok dostigne svoju maksimalnu vrijednost. Najveća brzina koja se javlja je 0,32 m/s, dan nakon pojave kiše najvećeg intenziteta.



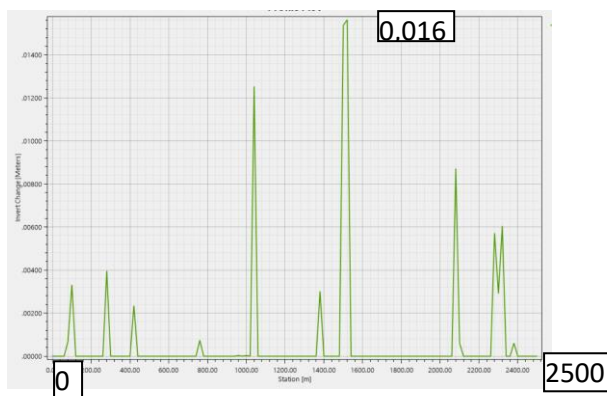
Slika 6.1. Brzine duž kanala u vremenskim razmacima od 24 h

Maksimalna visina vodnog lica koja se javlja u kanalu je 91,72 m n.m, odnosno najviša razina vode u kanalu je oko 70 cm (Slika 6.2). Promjene brzine strujanja uzrokovale su kretanje sedimenta prateći zakonitosti aktivnosti dna u slučajevima kada je  $v > v_{kr}$ , što se u prvih 24 javlja na srednjoj dionici kanala, gdje se bilježe pomicanja dna zanemarivih razmjera. Za sve analizirane situacije rubnim uvjetom je zadano kako se pokrovni sloj dna kanala i pokosa kanala pod utjecajem tečenja vode kanala mogu pomicati u granicama od 20 cm dubine, što za razne visine vodnog lica predstavlja različite raspoložive količine mobilnog sedimenta. Kanal je promatran u neobraslom stanju.

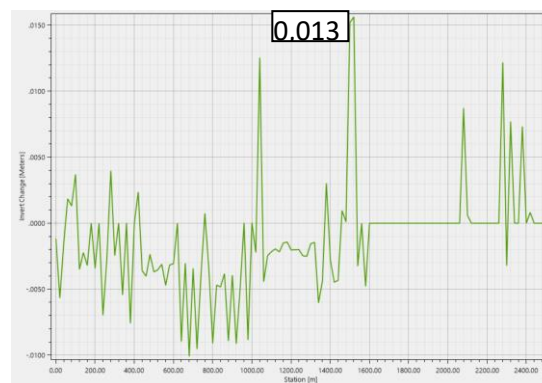


Slika 6.2. Visina vodnog lica duž kanala u vremenskim razmacima od 24 h

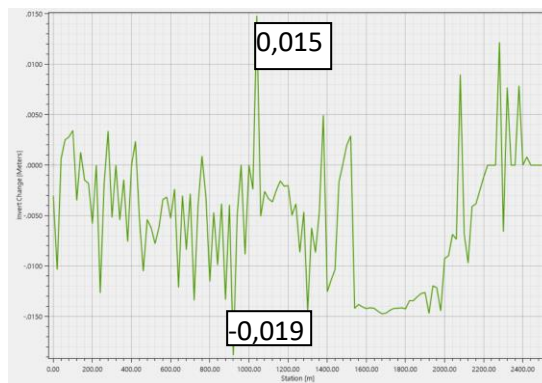
Prilikom zadane kišne epizode ukupna promjena nivelete kanala, u kanalskom sedimentu, događa se u okviru 10-18 cm na srednjoj dionici kanala, što prikazuje Slika 6.9. Promjene nivelete dna kanala pri zadanim uvjetima tečenja tijekom razdoblja od 24 do 144 sata prikazane su na slikama 6.3.-6.8. Prikaz rezultata dan je radi uvida u raspon veličina unutar kojih se javljaju pomaci i dna kanala, tj. količine materijala koje se pomiču uzduž kanala.



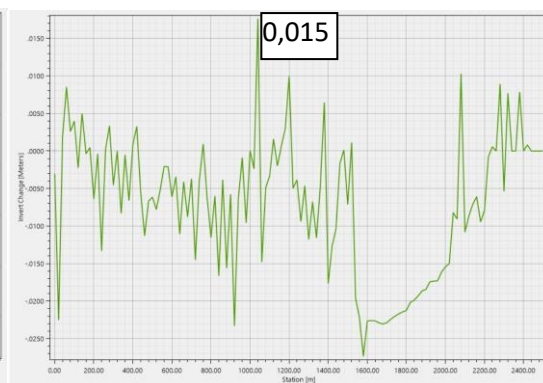
Slika 6.3. Promjena dna kanala  
nakon 24 h



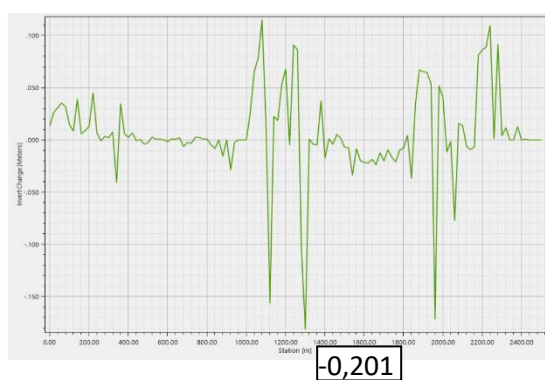
Slika 6.4. Promjena dna kanala  
nakon 48 h



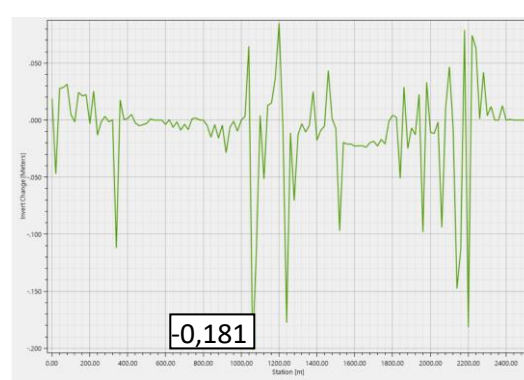
Slika 6.5. Promjena visine dna kanala  
nakon 72 h



Slika 6.6. Promjena visine dna kanala  
nakon 96 h



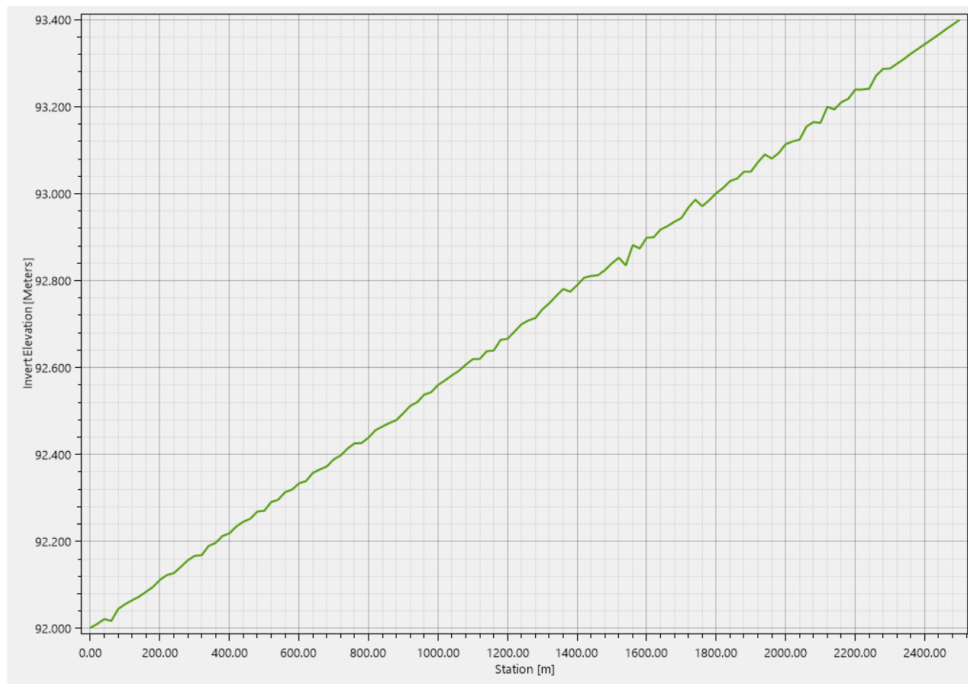
Slika 6.7. Promjena visine dna kanala  
nakon 120 h



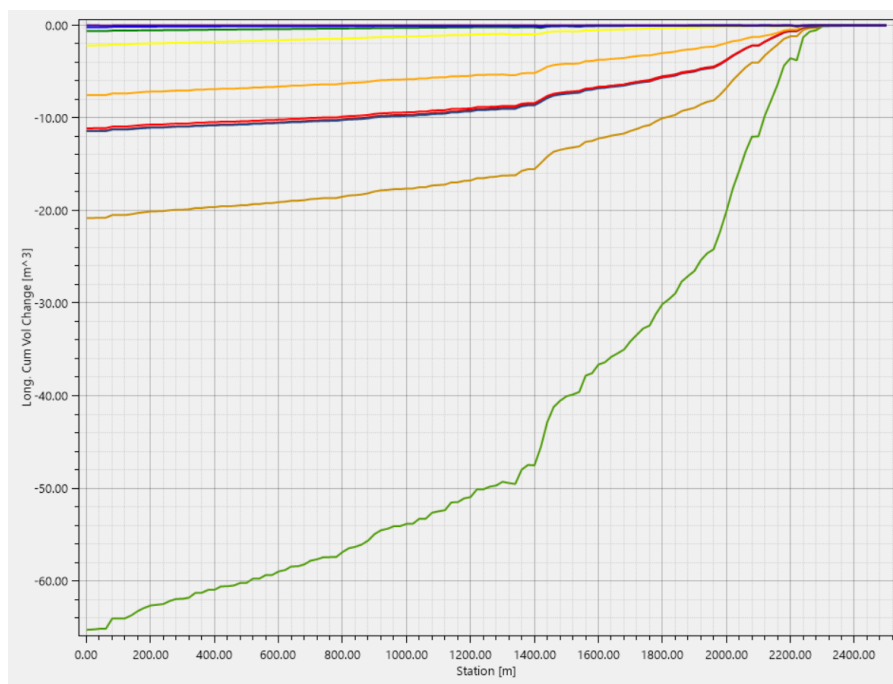
Slika 6.8. Promjena visine dna kanala  
nakon 144 h

Rubnim uvjetom je zadano kako se pokrovni sloj dna kanala i pokosa kanala pod utjecajem tečenja vode kanala mogu pomicati u granicama od 20 cm dubine. Ukupna količina sedimenta, kao i količina iskazana po pojedinim frakcijama, koja se transportira pri simuliranoj kišnoj epizodi iznosi cca  $70 \text{ m}^3$  ( Slika 6.10.). U ukupnoj količini pokrenutog sedimenta, čestice gline zauzimaju najveći udio. Količina transportiranog materijala povećava se nizvodno, povećanjem brzine i visine vodnog lica u kanalu. Prvih 100 m kanala, i sa zadanim uzvodnim protokom, ne pokazuje utjecaj protoka vode u kanalu u vidu pomicanja dna kanala. Za očekivati je da će se na najuzvodnijem dijelu kanala brže smanjivati slobodni profil kanala uslijed erozije okolnih površina istovremeno bez transporta sedimenta protokom koji u tom dijelu kanala nema „snagu pomaknuti dno“. Ukupna slika uzdužnog profila, Slika 6.9., vodi prema zaključku kako ovakav tip kišnih epizoda ne pokazuju bitan utjecaj na transport sedimenta.



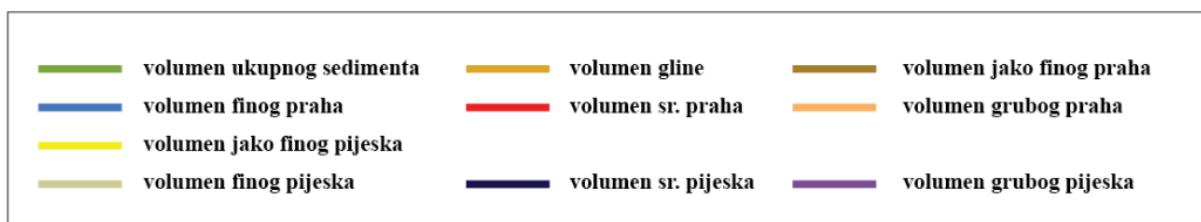


Slika 6.9. Promjena nivelete dna kanala



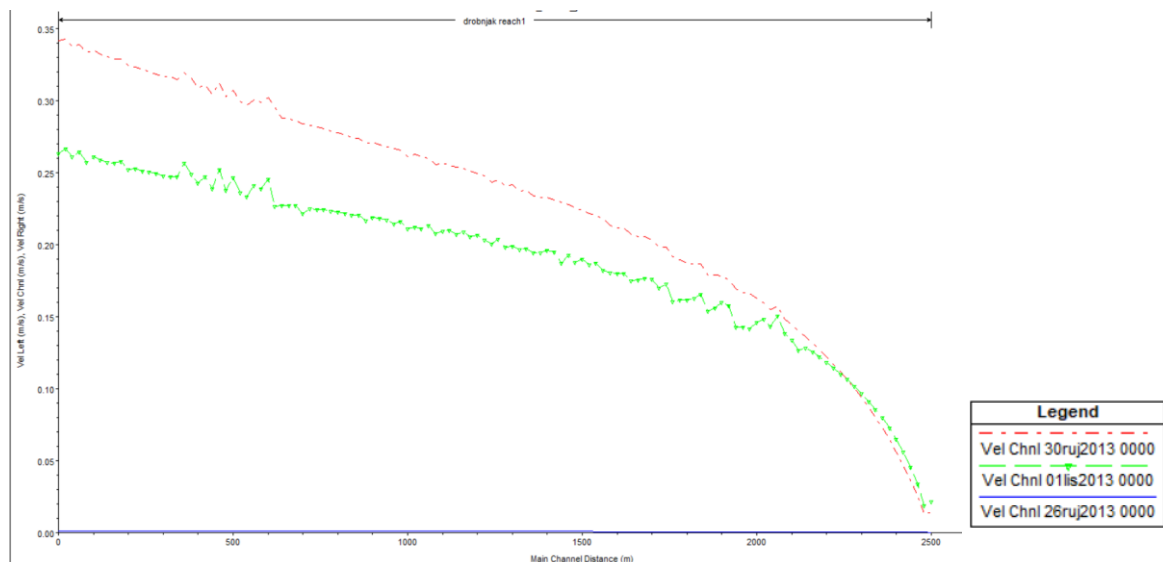
Slika 6.10. Uzdužna promjena volumena dna po frakcijama

Legenda:



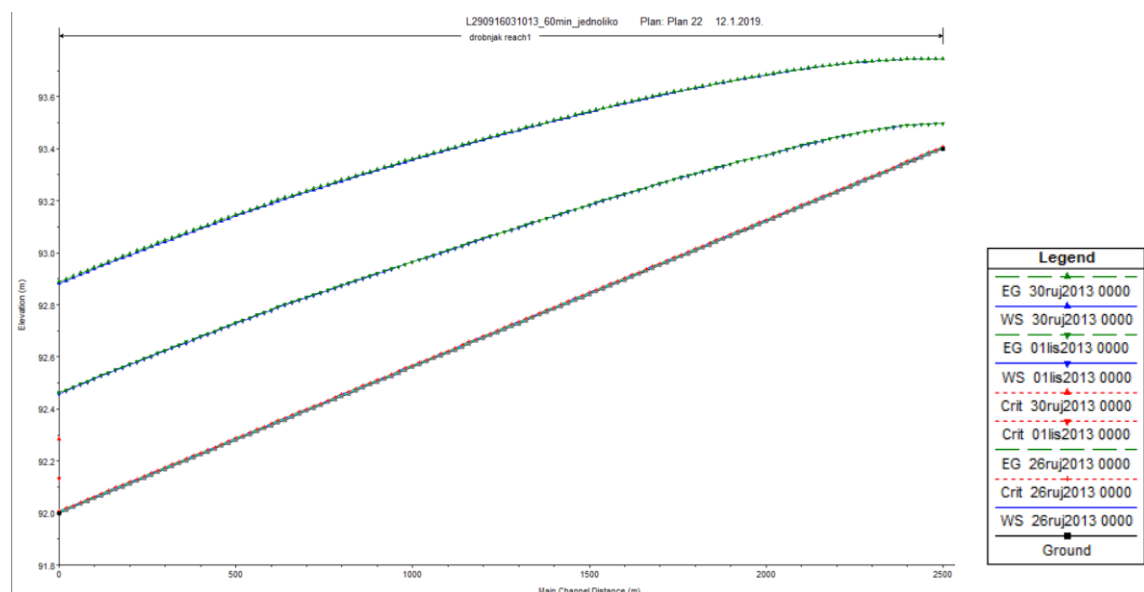
## 6.2. Analiza rezultata kišne epizode 19.09.2013 – 02.10.2013.

Maksimalna dnevna oborina koja se pojavila u tom razdoblju je 61,3 mm, kišna epizoda trajala je šest dana. Slika 6.11. prikazuje brzine 30. rujna i 01. listopada nakon što se protok ustalio. Najveća brzina koja se javlja pri zadanim protocima je 0,34 m/s, dan nakon pojave kiše najvećeg intenziteta.

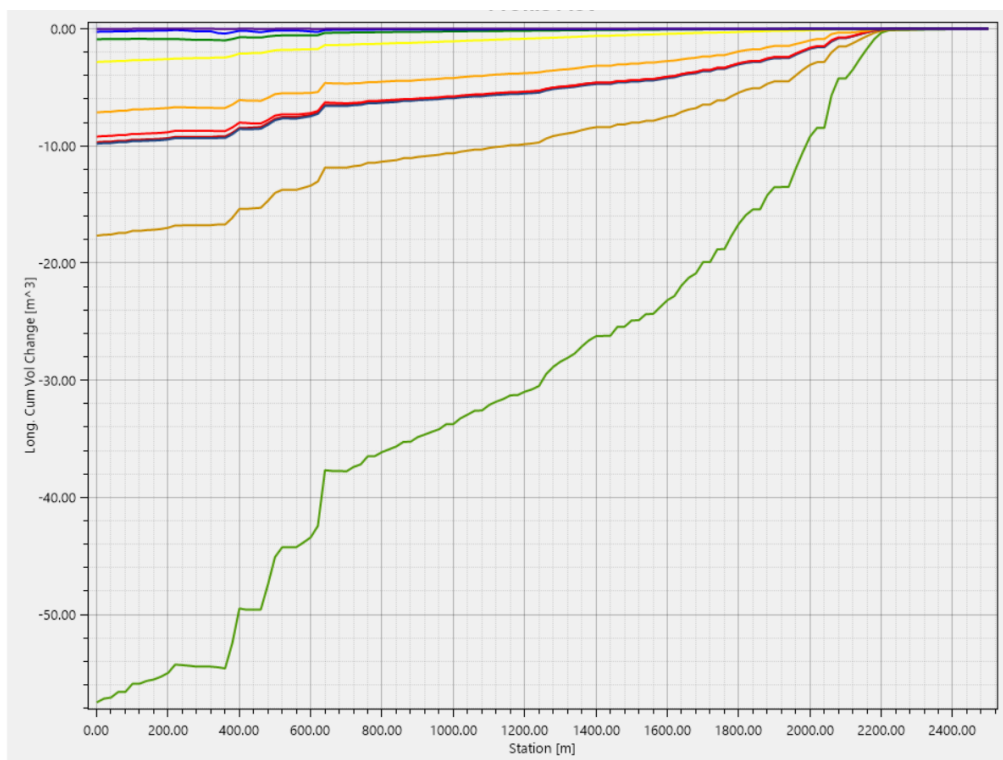


Slika 6.11. Brzine duž kanala

Maksimalna visina vodnog lica koja se javlja u kanalu je 92,89 m n.m., odnosno najviši nivo u kanalu je cca 80 cm ( Slika 6.12.). Ustaljeni tok se javlja nakon pojave maksimalne oborine 30. rujna.

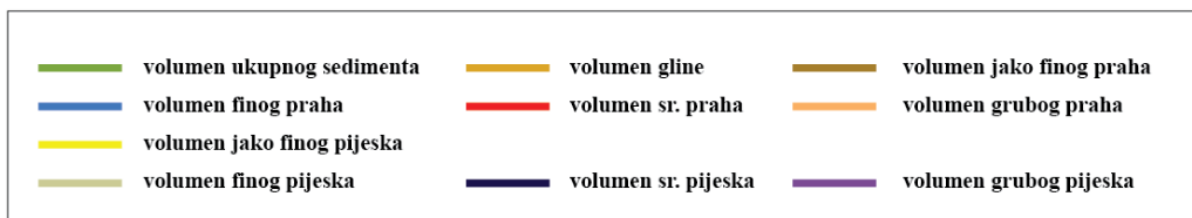


Slika 6.12. Visina vodnog lica duž kanala



Slika 6.13. Uzdužna promjena volumena dna po frakcijama

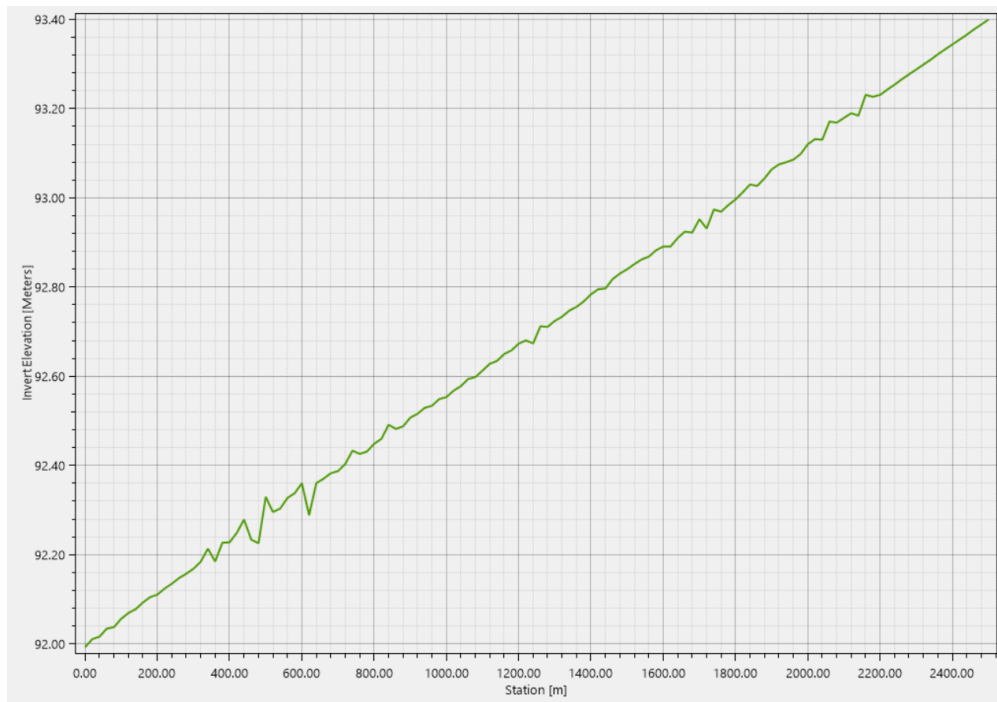
Legenda:



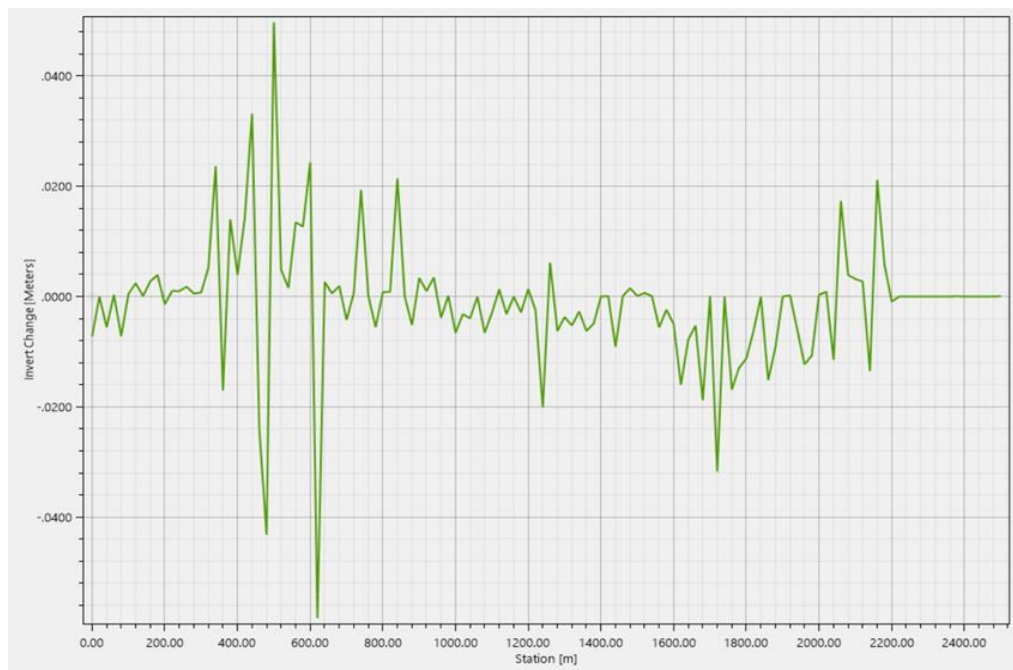
Rubnim uvjetom zadano je kako se pokrovni sloj dna kanala i pokosa kanala pod utjecajem tečenja vode kanala mogu pomicati u granicama od 20 cm dubine. Ukupna količina sedimenta koja bi se transportirala pri simuliranoj kišnoj epizodi iznosi cca 58 m<sup>3</sup> ( Slika 6.13). Količina transportiranog materijala povećava se nizvodno, povećanjem brzine i visine vodnog lica u kanalu. Prvih 100 m kanala, i sa zadanim uzvodnim protokom ne pokazuje utjecaj protoka vode u kanalu u vidu pomicanja dna kanala. Za očekivati je kako će se na najuzvodnijem dijelu kanala brže smanjivati slobodni profil kanala uslijed erozije okolnih polja istovremeno bez transporta sedimenta protokom koji u tom dijelu kanala nema „snagu pomaknuti dno“. Ukupna slika uzdužnog profila, Slika 6.14., vodi prema zaključku kako niti ova kišna epizoda ne pokazuje bitan utjecaj na transport sedimenta.

Analizirane su i ostale značajnije oborine koje su se pojavile unazad pet godina na promatranom području s vrlo sličnim rezultatima. Ukoliko bi se ukupna količina sedimenta

raspodijelila po cjelokupnoj dužini dna promatrali bi promjenu od max cca 4 cm/m'. Slika 6.14. prikazuje apsolutnu, a slika 6.15. relativnu promjenu nivelete dna kanala.



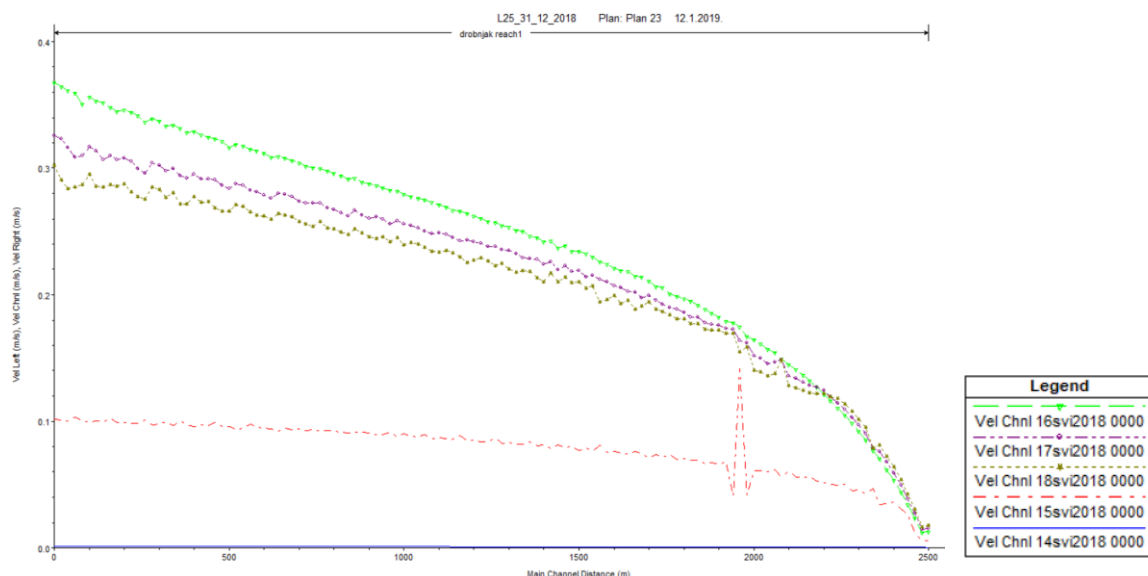
*Slika 6.14. Uzdužni profil promjena nivelete dna kanala*



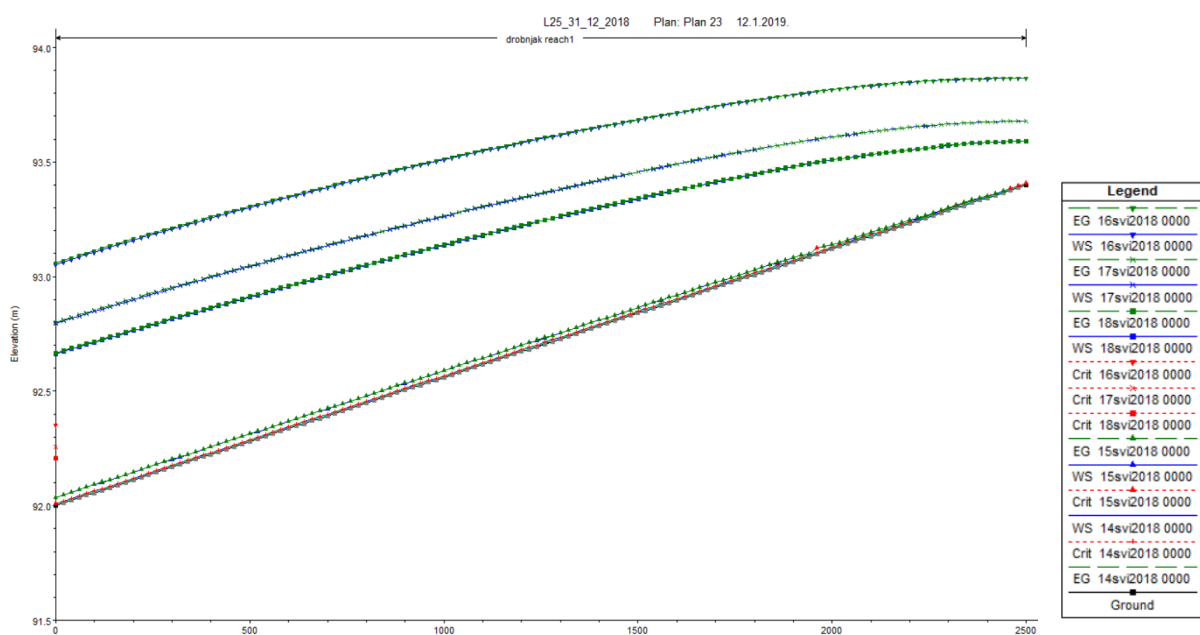
*Slika 6.15. Relativne promjene nivelete dna kanala*

### 6.3. Analiza rezultata kišne epizode 25-godišnjeg povratnog razdoblja

Analizirana je računski kišna epizoda 25-godišnjeg povratnog razdoblja kako bi se provjerilo koliko će zadani protoci u uvjetima tečenja utjecati na mobilnost sedimenta. Količina oborine je 80,7 mm, a njezino trajanje je sedam dana. Slika 6.16. prikazuje brzine tečenja u razdoblju 2.-4. dana nakon što se protok ustali. Najveća brzina koja se javlja pri nastalim protocima je 0,37 m/s, dan nakon pojave kiše najvećeg intenziteta.

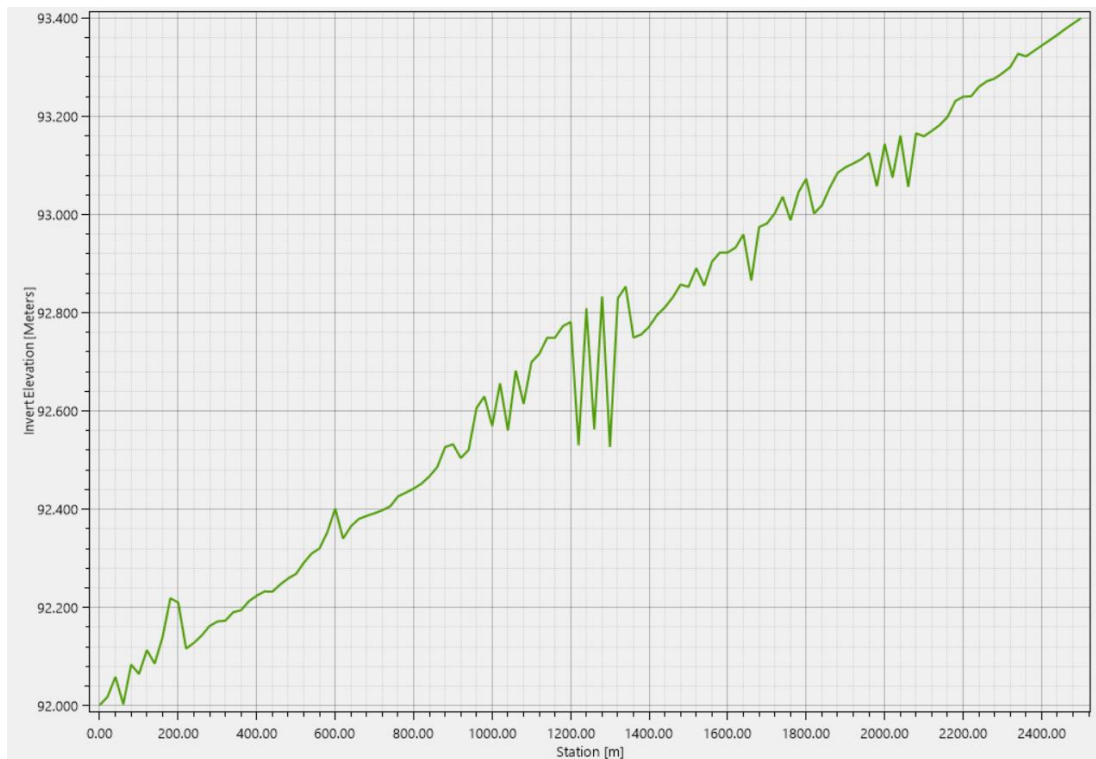


Slika 6.16. Brzine duž kanala u vremenskim razmacima od 24 h



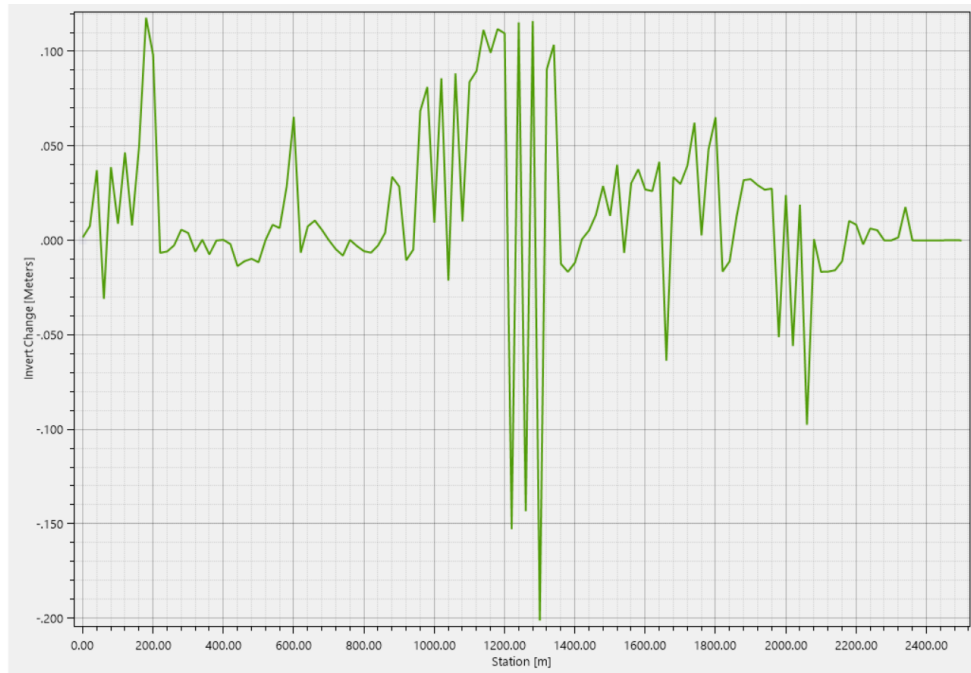
Slika 6.17. Visina vodnog lica duž kanala u vremenskim razmacima od 24 h

Maksimalna visina vodnog lica koja se javlja u kanalu je 93,07 m n.m., odnosno najviši nivo u kanalu je cca 100 cm ( Slika 6.17.). Ustaljeni tok se javlja nakon pojave maksimalne oborine drugoga dana kišne epizode.

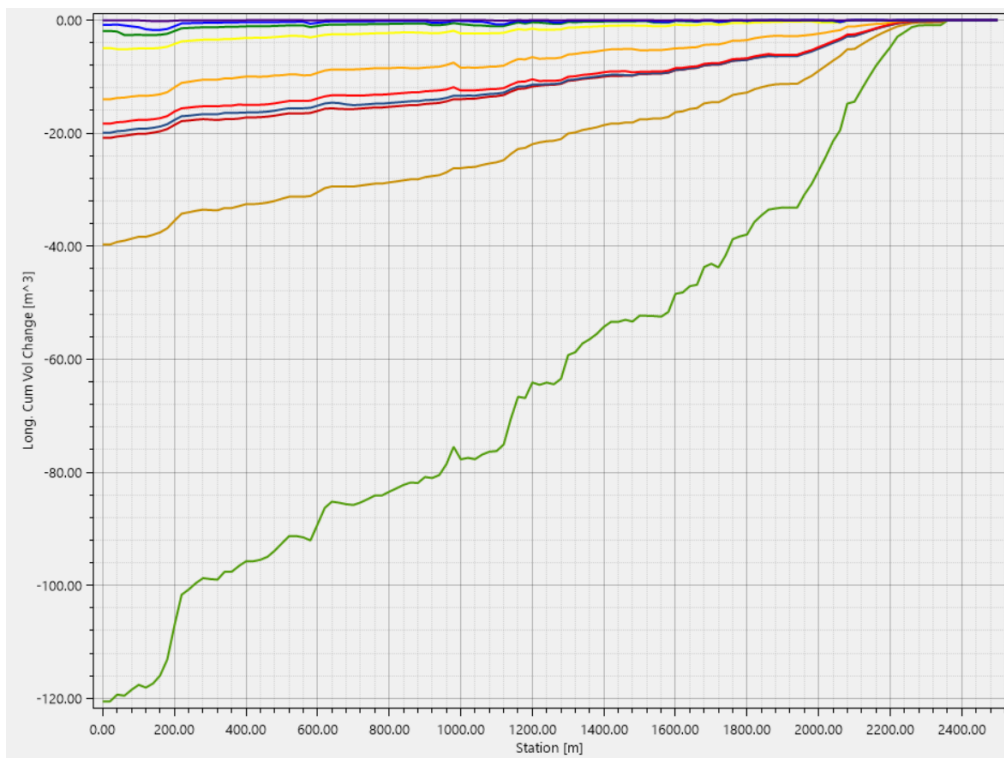


*Slika 6.18. Uzdužni profil promjene nivelete dna kanala*

Protoci simuliranog 25-godišnjeg povratnog razdoblja rezultirali su promjenama nivelete dna kanala od cca 20 cm i promjene se događaju većinom na sredini promatranoga kanala. Slika 6.18., i Slika 6.19. prikazuju apsolutne i relativne promjene nivelete dna kanala.

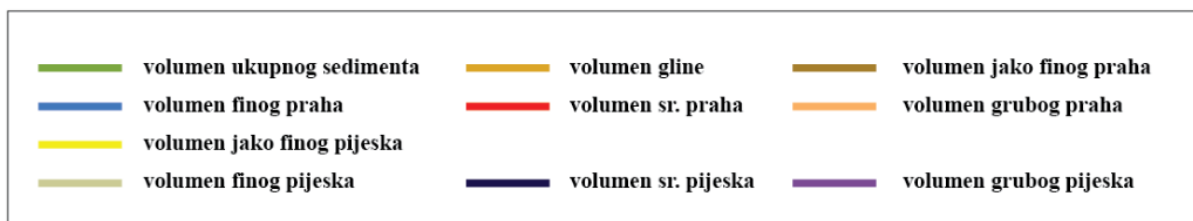


Slika 6.19. Relativna promjena dna kanala



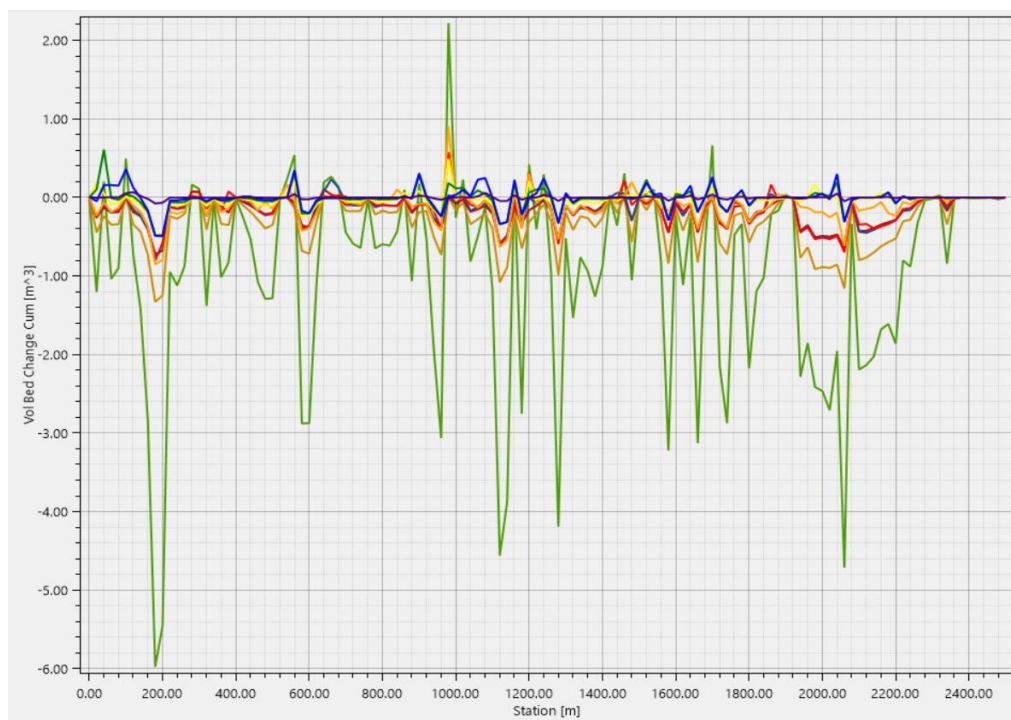
Slika 6.20. Kumulativna promjena volumena sedimenta dna po frakcijama

Legenda:



Udio pojedine frakcije u ukupnom pomaknutom sedimentu bitan je zbog toga što su za transport teških metala bitne finije frakcije promatranog sedimenta, koje ih vežu na sebe i prilikom transporta sedimenta se pomiču nizvodno. Prethodno prikazane analize koncentracija teških metala, i to bakra, pokazale su opadanje onečišćenje nizvodno od točkastog izvora onečišćenja na način da su od stac. 1+800 u granicama koje ne iziskuju remedijaciju, ali su i dalje prisutni u uzorku.

Slika 6.21. prikazuje pomicanje sedimenta po frakcijama po uzdužnom profilu kanala. Ukupna količina sedimenta koji se transportira do najnižvodnije točke kanala iznosi  $120 \text{ m}^3$ , (Slika 6.20.) Prema izlaznim rezultatima najveću pokretljivost pokazuju čestice gline i praha.

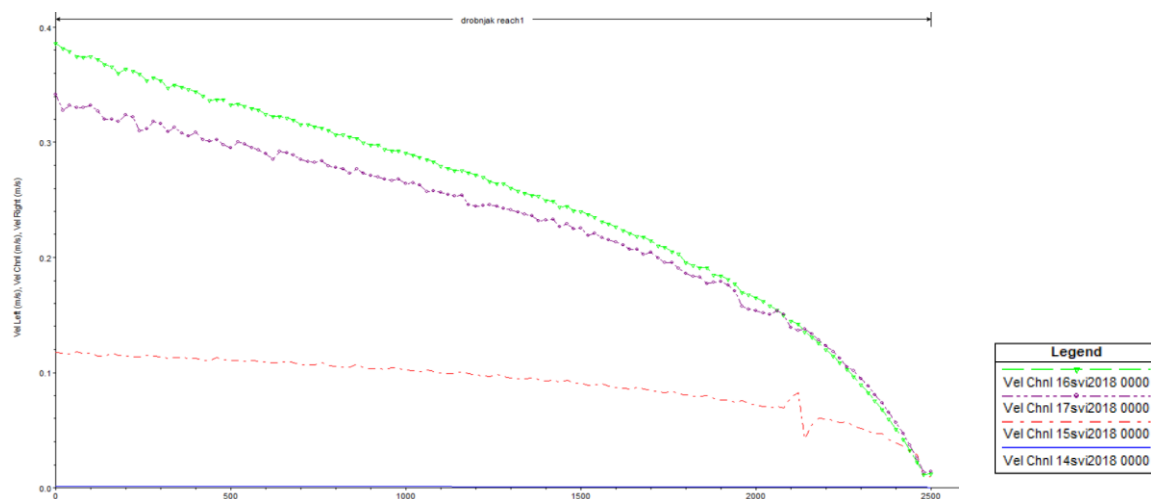


Slika 6.21. Uzdužna promjena volumena dna po frakcijama

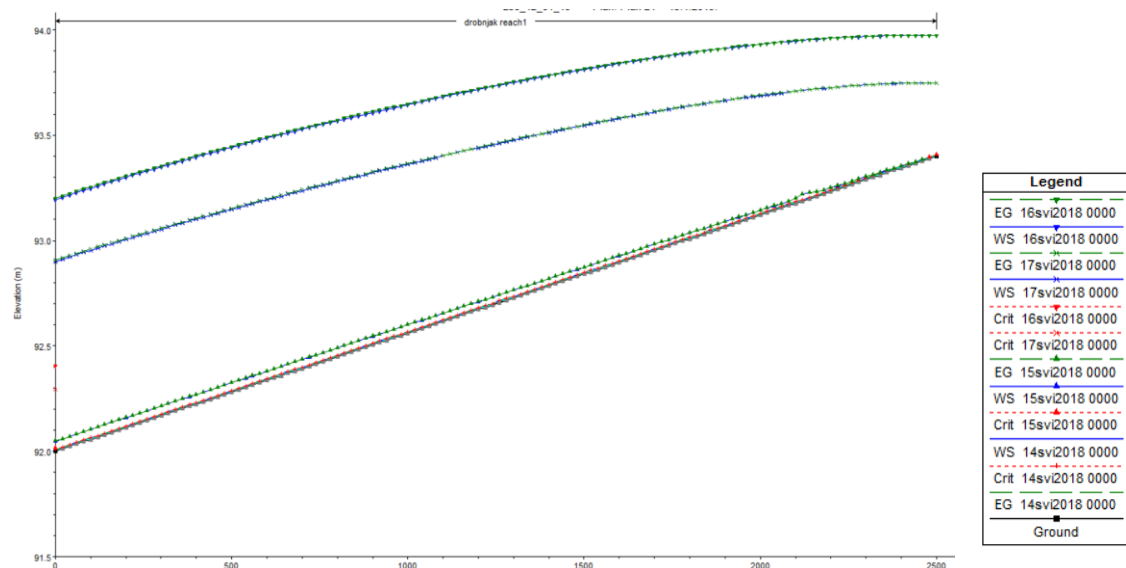


## 6.4. Analiza rezultata kišne epizode 50-godišnjeg povratnog razdoblja

Analizirana je proračunska kišna epizoda 50-godišnjeg povratnog razdoblja kako bi se provjerilo koliko će njome izazvani protoci utjecati na mobilnost sedimenta. Maksimalna dnevna oborina koja je pojavila u tom periodu 96,6 mm, kišna epizoda je trajala sedam dana. Slika 6.22. prikazuje brzine u razdoblju 2.- 4. dana nakon što se protok ustali. Najveća brzina koja se javlja pri zadanim protocima je 0,39 m/s, dan nakon pojave kiše najvećeg intenziteta.

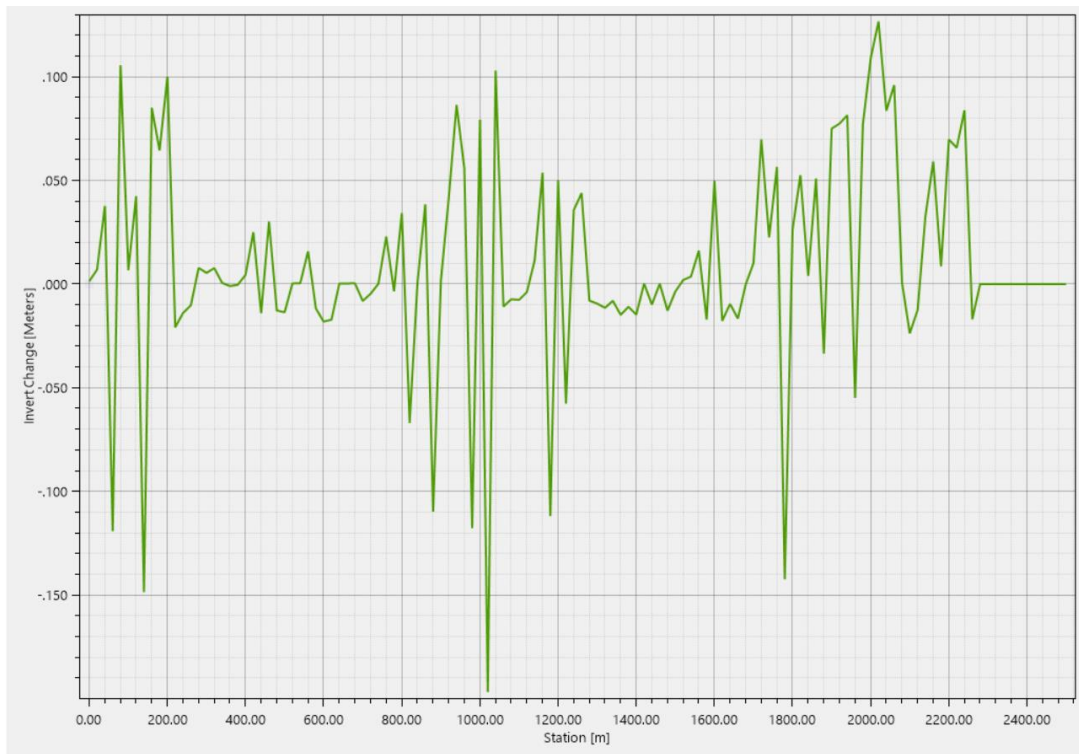


Slika 6.22. Brzine duž kanala u vremenskim razmacima od 24 h

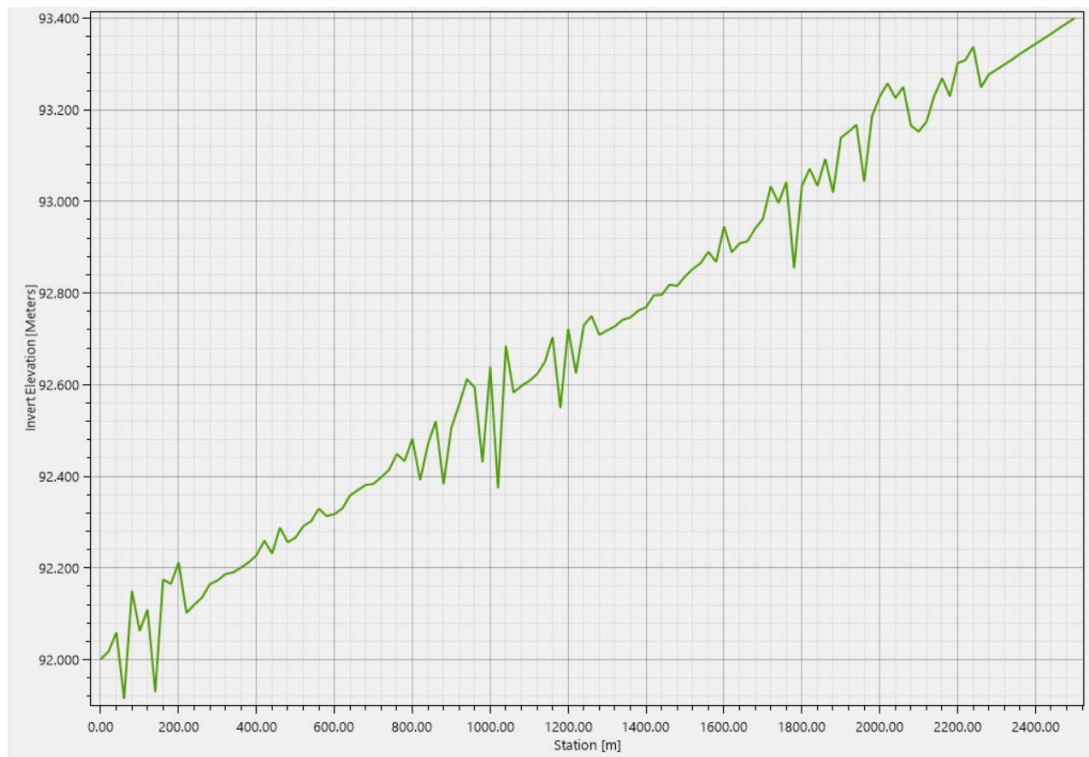


Slika 6.23. Visina vodnog lica duž kanala

Maksimalna visina vodnog lica koja se javlja u kanalu je 93,20 m n.m., odnosno najviši nivo u kanalu je cca 130 cm ( Slika 6.23.). Ustaljeni tok se javlja nakon pojave maksimalne oborine drugoga dana kišne epizode.



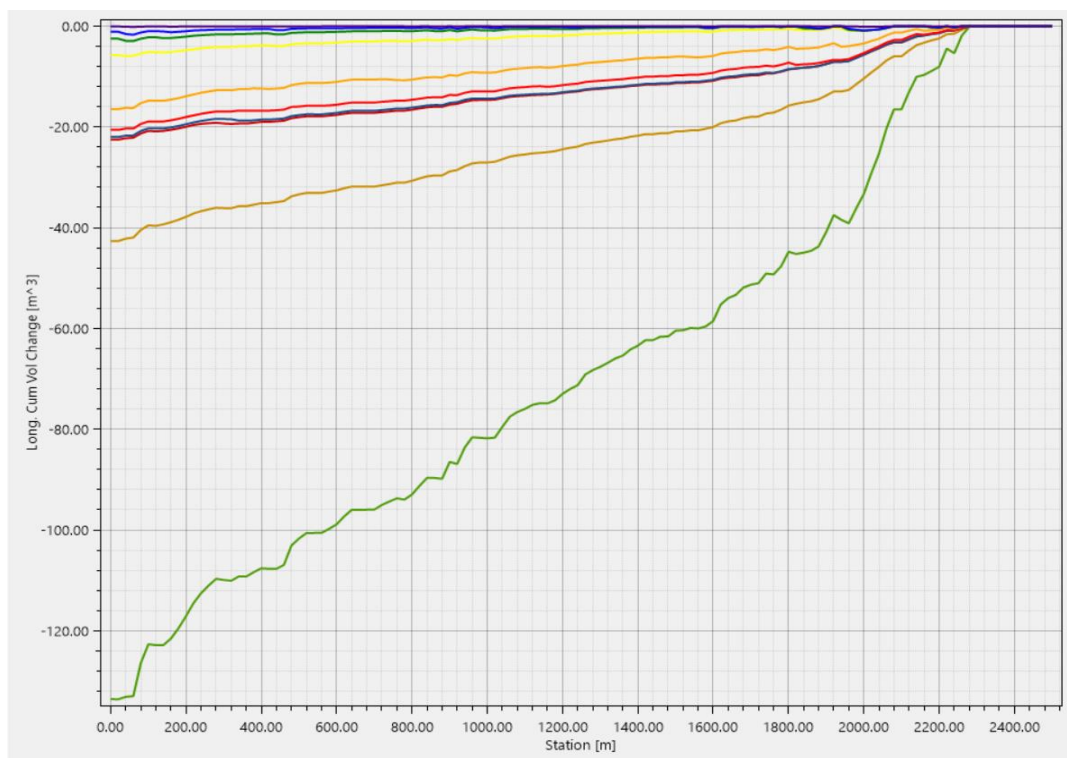
Slika 6.24. *Relativna promjena nivelete dna kanala po stacionažama*



Slika 6.25. *Uzdužni profil promjene dna kanala*

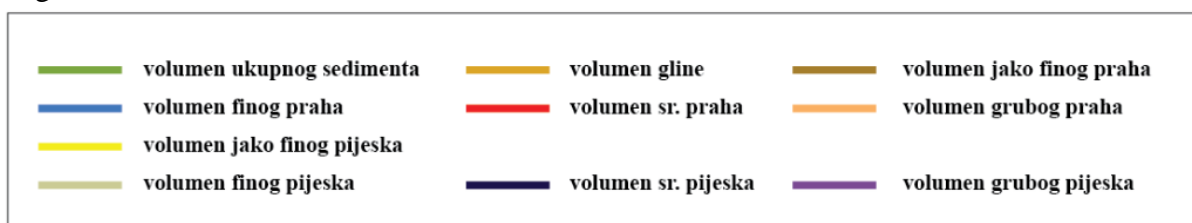
Protoci simuliranog 50-godišnjeg povratnog razdoblja rezultirali su promjenama nivelete dna kanala od cca 25 cm i promjene se događaju većinom u središnjem dijelu promatranoga kanala. Slike 6.24. i Slika 6.25. prikazuju uočenu promjenu u visini od cca 25 cm kroz apsolutne i relativne promjene nivelete dna kanala.

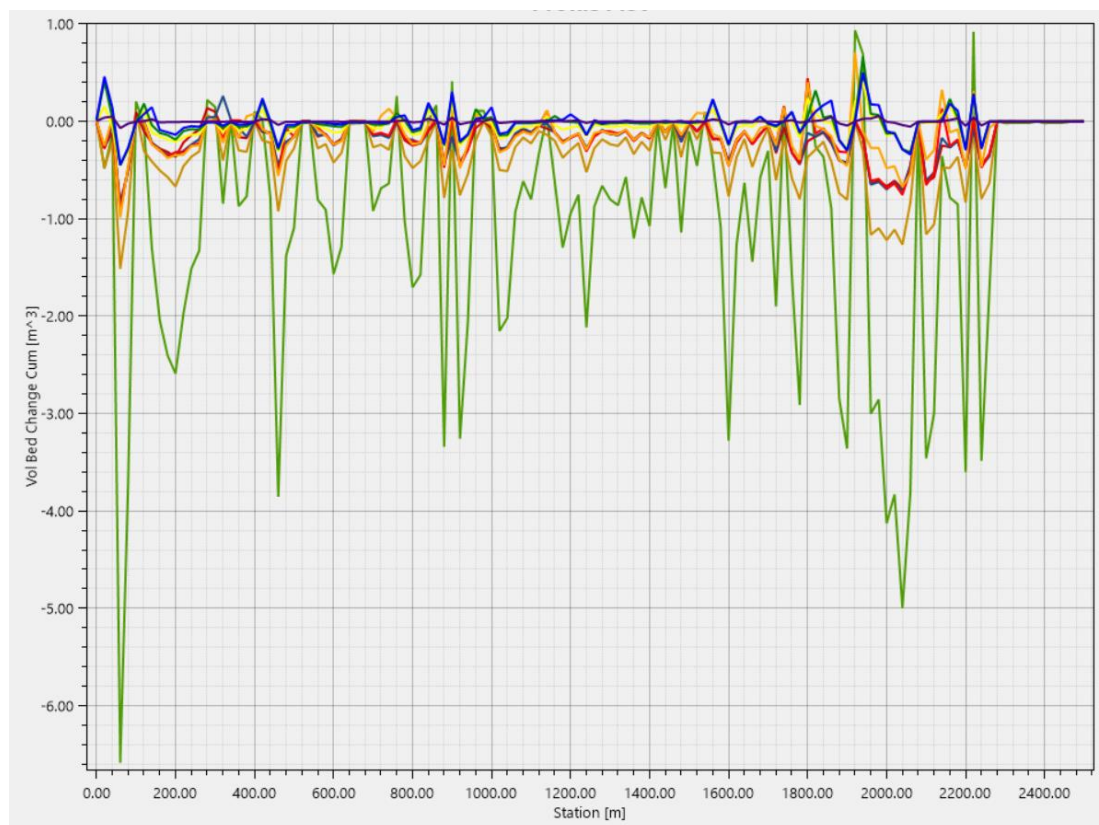
Ukupna količina sedimenta koji se transportira do najnižvodnije točke kanala iznosi 130 m<sup>3</sup>, (Slika 6.26.) Prema izlaznim rezultatima najveću pokretljivost ponovo pokazuju čestice gline i praha. Slika 6.27. prikazuje pomicanje sedimenta po frakcijama po uzdužnom profilu kanala.



Slika 6.26. Kumulativna promjena volumena dna po frakcijama

Legenda:





Slika 6.27. Uzdužna promjena volumena dna po frakcijama

Provedena je simulacija i za kišnu epizodu 100-godišnjeg povratnog razdoblja koja po rezultatima ne odstupa bitno od prikazanog 50 godišnjeg povratnog perioda za 24 satnu oborinu. Ako promatramo ukupnu predviđenu godišnju količinu formiranog nanosa, niti ta simulacija nije uspjela „pomaknuti“ nastali godišnji sediment.

## 6.5. Rasprava

Rezultati analiza programskog paketa HEC-RAS pokazali je kako se sediment ponaša slično za vrijeme oborina koje su se javile u promatranom petogodišnjem vremenskom razdoblju, 2013.-2017. Prilikom manjih i kratkotrajnijih protoka, koji se javljaju uslijed isto tako manjih i kratkotrajnih oborina, ne događaju se bitni pomaci sedimenta i nisu zabilježeni značajniji pomaci dna.

Programskim paketom HEC-RAS napravljene su simulacije za oborine prema Tablici 5.4. koje su bile dovoljno velike da izazovu značajnije protoke i promjene na nivelete dna kanala. Kako je već navedeno prethodno, u promatranom petogodišnjem vremenskom razdoblju, pojavile su se najveće oborine ekvivalentne oborinama desetogodišnjeg povratnog razdoblja (Slika 5.27.). Analize transporta sedimenta pokrenutog oborinama 24-satnog trajanja i

količine manje od 40 mm pokazuje da se u kanalu formira protok koji rezultira pomacima sedimenta zanemarivih veličina i ne bilježi se promjena dna iznad 1 cm ( Slika 6.14 i 6.15). Iz tog razloga za prikaz rezultata odabrane su dvije kišne epizode. Prva odabrana kiša se javila u svibnju 2014. godine i odgovara 24 h oborini dvogodišnjeg povratnog razdoblja, druga oborina je iz rujna 2013. i nalazi se između 24-satne oborine petogodišnjeg i desetogodišnjeg povratnog razdoblja (Slika 5.27). Prilikom svih simulacija uočeno je kako promjene brzine strujanja uzrokuju kretanje sedimenta prateći zakonitosti aktivnosti dna u slučajevima kada je  $v < v_{kr}$ , što se u prvih 24 javlja na srednjoj dionici kanala, gdje se bilježe pomicanja dna zanemarivih razmjera. Nakon što se brzina i visina vodnog lica ustale, aktivnosti na dnu kanala se smanjuju. Po ponovnom opadanju vodnog lica i variranju brzine, bilježe se male aktivnosti dna kanala.

Tablica 6.1. Promjene dna kanala po stacionažama

m' kanala	promjena nivelete kanala (m)		
	13.05.'14.- 20.05.'14.	25PP	50 PP
2500	0	0	0
2480	0	0	0
2460	0	0	0
2440	0	0	0
2420	0	0	0
2400	0	0	0
2380	0	0	0
2360	0	0	0
2340	0	0.018	0
2320	0	0.002	0
2300	0	0	0
2280	0.01	0	0
2260	0.006	0.005	-0.017
2240	-0.012	0.006	0.084
2220	-0.003	-0.002	0.066
2200	0.008	0.008	0.07
2180	-0.003	0.01	0.009
2160	0.001	-0.011	0.059
2140	-0.004	-0.016	0.033
2120	0.013	-0.017	-0.012
2100	-0.013	-0.017	-0.024
2080	0	0.001	0.001
2060	0.001	-0.098	0.096
2040	-0.017	0.019	0.084

m' kanala	promjena nivelete kanala (m)		
	13.05.'14.- 20.05.'14.	25PP	50 PP
2020	-0.011	-0.056	0.127
2000	-0.006	0.024	0.109
1980	-0.015	-0.051	0.077
1960	-0.017	0.027	-0.055
1940	0.005	0.027	0.081
1920	-0.002	0.029	0.077
1900	-0.013	0.032	0.075
1880	-0.002	0.032	-0.034
1860	-0.007	0.013	0.051
1840	-0.001	-0.011	0.004
1820	-0.005	-0.017	0.053
1800	-0.007	0.065	0.026
1780	-0.012	0.048	-0.142
1760	-0.015	0.003	0.057
1740	0.012	0.062	0.023
1720	0.005	0.04	0.07
1700	-0.008	0.03	0.01
1680	-0.005	0.033	0
1660	-0.004	-0.064	-0.017
1640	0	0.042	-0.01
1620	-0.007	0.026	-0.018
1600	0.003	0.027	0.05
1580	-0.011	0.038	-0.017
1560	0.008	0.03	0.016
1540	-0.027	-0.007	0.004
1520	0.002	0.04	0.002
1500	0	0.013	-0.004
1480	-0.005	0.029	-0.013
1460	-0.005	0.014	0
1440	0.005	0.005	-0.01
1420	0.012	0.001	0
1400	0.006	-0.012	-0.015
1380	0.002	-0.017	-0.011
1360	0.019	-0.012	-0.015
1340	0.015	0.104	-0.008
1320	0.009	0.091	-0.011
1300	0.006	-0.201	-0.009
1280	-0.003	0.116	-0.008
1260	0.003	-0.143	0.044
1240	0.006	0.115	0.036
1220	0	-0.153	-0.058
1200	-0.006	0.11	0.05

m' kanala	promjena nivelete kanala (m)		
	13.05.'14.- 20.05.'14.	25PP	50 PP
1180	0.003	0.112	-0.112
1160	-0.011	0.099	0.054
1140	0	0.111	0.012
1120	-0.007	0.09	-0.004
1100	0.004	0.084	-0.008
1080	0.002	0.01	-0.007
1060	-0.001	0.088	-0.011
1040	0	-0.021	0.103
1020	0	0.086	-0.197
1000	0	0.009	0.079
980	-0.005	0.081	-0.118
960	0	0.069	0.056
940	-0.005	-0.005	0.087
920	-0.003	-0.011	0.041
900	-0.009	0.029	0.002
880	-0.014	0.034	-0.11
860	-0.009	0.004	0.039
840	-0.005	-0.003	0
820	-0.003	-0.007	-0.067
800	-0.009	-0.006	0.034
780	-0.01	-0.003	-0.003
760	0	0	0.023
740	0	-0.008	0
720	-0.005	-0.005	-0.005
700	-0.003	0	-0.008
680	-0.008	0.006	0
660	-0.004	0.01	0
640	0	0.007	0
620	-0.008	-0.007	-0.017
600	-0.002	0.065	-0.018
580	-0.005	0.028	-0.012
560	0	0.007	0.016
540	-0.006	0.008	0
520	0	0	0
500	-0.009	-0.012	-0.014
480	0	-0.01	-0.013
460	-0.005	-0.011	0.03
440	0	-0.014	-0.014
420	0	-0.002	0.025
400	-0.005	0	0.004
380	0	0	0
360	-0.005	-0.007	-0.001

	<b>promjena nivelete kanala (m)</b>		
<b>m' kanala</b>	<b>13.05.'14.- 20.05.'14.</b>	<b>25PP</b>	<b>50 PP</b>
<b>340</b>	0	0	0.001
<b>320</b>	-0.01	-0.006	0.008
<b>300</b>	-0.001	0.004	0.005
<b>280</b>	0	0.006	0.008
<b>260</b>	-0.004	-0.003	-0.01
<b>240</b>	-0.007	-0.006	-0.014
<b>220</b>	0	-0.007	-0.021
<b>200</b>	0	0.098	0.1
<b>180</b>	-0.005	0.118	0.065
<b>160</b>	-0.006	0.049	0.085
<b>140</b>	-0.005	0.008	-0.149
<b>120</b>	-0.002	0.046	0.042
<b>100</b>	0	0.009	0.007
<b>80</b>	0	0.039	0.106
<b>60</b>	-0.017	-0.031	-0.119
<b>40</b>	0	0.037	0.038
<b>20</b>	0	0.008	0.007
<b>0</b>	0.002	0.002	0.001

Radi bolje ilustracije rezultata u Tablici 6.1. usporedno su prikazani rezultati posljednjeg dana kišnih epizoda realne kiše, te računskih kiša 25 i 50-godišnjeg povratnog razdoblja. Iz rezultata je vidljivo da se povećanje mobilnosti ne događa sinkronizirano na određenim dionicama s povećanjem protoka. Računske kišne epizode 25 i 50-godišnjeg razdoblje izazivaju veće protoke i sam time veće pomicanje sedimenta u kanalima. U kumulativnom iskazu nema velikih razlika u transportu sedimenta, bilježe se pomaci na različitim dionicama i proglašavanje dionica na kojima se bilježe maksimalna odstupanja dna kanala u odnosu na nulto stanje nakon izmuljenja kanala.

Analiza volumena ukupnog sedimenta po pojedinim frakcijama pokazuje da su najmobilnije frakcije gline i praha (Slike 6.20., 6.25), ali i one bivaju značajnije mobilne tek pri izvanrednim događajima kao što su 24 satne oborine 25 i 50-godišnjeg razdoblja. Pri maksimalnim oborinama koje su se javile u analiziranom razdoblju od pet godina, od 2013. - 2017. godine, a prema količini su maksimalne oborine 10-godišnjeg povratnog razdoblja, sediment dna kanala pomiče se u granicama ispod minimalnih. Sediment se stvara većom dinamikom, nego što ga nastali protoci uspiju pomaknuti, te se iz tog razloga tijekom petogodišnjeg vremenskog razdoblja formira povišenje dna kanala koje je potrebno izmuljiti



radi održavanja funkcionalnosti kanala. Na najuzvodnijim dijelovima kanala, u slučaju kanala Drobniak, na prvih 200 m ne bilježi se promjena nivelete kanala uslijed protoka, odnosno na tim dijelovima sediment se isključivo deponira. Brzine koje se javljaju pri protocima izazvanih oborinama izazivaju pomicanje najfinijih frakcija, gline i praha. Onečišćenja teškim metalima vežu se upravo na najfinije frakcije, čime će se ostvariti i pomicanje nastalog onečišćenja, ali ne dovoljno da bi se onečišćenje transportiralo izvan područja mikro-sliva. Prema simulaciji, ukoliko bi onečišćenje nastalo u najuzvodnijoj točki kanala, formirani tok vode ne bi imao uopće snage transportirati ga nizvodno.

Prema mjerenim podacima i laboratorijskim analizama uzoraka sedimenta, onečišćenje koje nastaje na stac. cca 1+900 transportira se uslijed oborina uzduž kanala, s tim da koncentracija onečišćenja opada do deset puta.

Uzimajući u obzir da je količina godišnjeg nanosa oko  $180 \text{ m}^3$ , a količina koja može biti transportirana godini dana oko  $120 \text{ m}^3$ , zaključak je da  $1/3$  formiranoga nanosa ostaje na dnu kanala. Tijekom petogodišnjeg razdoblja na dnu kanal bi ostalo cca nanosa u visini od 26 cm, što se podudara s mjerenim podacima uzdužnog profila kanala. Kako se rad ne bavi količinama primarno, nego odnosima nastalog i transportiranog sedimenta, dobiveni rezultati s dovoljnom sigurnošću upućuju na to da nastali sediment u uvjetima tečenja ravničarskih kanala ne može biti transportiran u nizvodne vodotoke te samim tim i onečišćenje nastalo ostaju unutar kanala sve dok mehanički ne bude uklonjeno prilikom održavanja. Dodajući na to činjenicu da je modeliranje pronosa rađeno bez utjecaja vegetacije, za očekivati je i dulje zadržavanje od onoga na koje upućuju rezultati. Zadržano onečišćenje pri tome se odlaže uz rubove kanala bez prethodne analize koje bi na osnovu detektiranog onečišćenja diktiralo i zbrinjavanje izumljenoga sedimenta.

## **7. Zaključak**

Onečišćenost sedimenta prisutna je u melioracijskim kanalima ravničarskih područja što se pokazalo ispitivanjem. Na širem analiziranom području onečišćenja teškim metalima ne prelazi granice maksimalno dopuštenih, koja su definirana pravilnicima različitih europskih i izvan europskih zemalja. Na užem analiziranom području ( mikro slivu) koncentracije teških metala i nadalje ostaju unutar maksimalno dopuštenih granica, osim u slučaju bakra, što se može pripisati točkastom izvoru onečišćenja.

Istraživanja su provedena indikativno, daljim postupcima potrebno utvrditi i jesu li izvađeni sedimenti ekološki prihvatljivi za samo vodno tijelo, ali upućuju na nužnost provođenja analize prilikom iskopa sedimenta i njegovog odlaganja na poljoprivredna zemljišta.

Kanalski sediment, kada ga preko 70 % čini koherentni materijal, slabo je pokretan u uvjetima tečenja ravničarskim predjelima, kanalima malih uzdužnih padova. Tijekom 5 godina u analiziranom kanalu formira se nanos sedimenta od 20-30 cm.

Zabilježene kišne epizode, unazad pet godina, koje su bile 10-godišnjeg povratnog razdoblja mogu izazvati maksimalno kumulativno pomicanje od 60 m<sup>3</sup> sa ukupne duljine kanala od 2 686 m, koji kada podijelimo uzduž kanala napravi promjenu od cca 4 cm. Takve kišne epizode pojavljuju se relativno rijetko ( 1-2 u tijeku godine), što znači da bi se moglo pomaknuti cca 8 cm ili 120 m<sup>3</sup> sedimenta. Proračunske oborine, povratnih razdoblja 25 i 50 godina mogu transportirati u godini dana oko 130 m<sup>3</sup> što znači da nisu mogućnosti pomaknuti ukupno nastali godišnji sediment izvan promatranog kanala.

Promatrajući pokretanje sedimenta na godišnjoj razini, 1/3 ukupno formiranog sedimenta erozijom zadržava se na dnu kanala. Zadržavanjem sedimenta zadržava se i onečišćenje i tek se tehničkim održavanjem uklanja iz kanala.

Značajnije pokretanje sedimenta moguće je u izuzetnim hidrološkim prilikama. Rezultati istraživanja pokazali su da će se onečišćeni sediment u kanalima zadržati u kanalima s povremenim protocima i tek pri ekstremnim oborinama će se transportirati nizvodno do

recipijenta. Bez obzira na definirano stanje vodnog tijela, svako izmuljenje sedimenta treba pratiti i provoditi analizu iskopanog, izmuljenog materijala na prisutnost teških metala.

U Hrvatskoj postoji monitoring sedimenta za veća vodna tijela, za registrirane točkaste izvore onečišćenja u planu su aktivnosti u slučaju da se pojave registrirana onečišćenja. Kako proces uspostavljanja monitoringa iziskuje još dosta vremena, predlaže se uvođenje kontrole izmuljenih materijala i propisivanje načina rukovanja u ovisnosti o razini onečišćenja, sukladno dobroj svjetskoj praksi.

S ciljem što skorijeg sprječavanja nekontroliranoga odlaganja uz poljoprivredne površine onečišćenog i vrlo onečišćenog sedimenta, po kriterijima razvijenih zemalja, predlaže se usvajanje interventnih vrijednosti iz legislative zemalja sa dugogodišnjom praksom kontrole kvalitete sedimenta. Preuzete vrijednosti osigurale bi zadovoljavajuće kriterije do donošenja vrijednosti za naše područje nakon sustavnih planova i analiza koji su u tijeku, ali se ne očekuju u narednih 5 godina.

Ovaj rad predstavlja inicijalno istraživanje, kao podloga donošenju nacionalne zakonske regulative o postupanju sa sedimentom izvađenim iz melioracijskih kanala. Preporuča se sustavna provedba istraživanja sedimenta u kanalima površinske odvodnje, a prikazano istraživanje predstavlja metodološki pomak u pristupu tom složenom problemu.

## 8. Popis literature

- Abrahams , A.D., Li, G., Krishnan, C. Atkinson, J.F; Predicting sediment transport by interrill overland flow on rough surfaces (1999); URL: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9837\(199812\)23:12%3C1087::AID-ESP934%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9837(199812)23:12%3C1087::AID-ESP934%3E3.0.CO;2-4), [11.3. 2018].
- Avila-Perez, P.; Balcazar, M.; Zarazua-Ortega, G. et al. (1999) Heavy metal concentrations in water and bottom sediments of a Mexican reservoir, *The Science of the Total Environment*, 234, 1999, str. 185-196.
- Baran, A., Tarnawski, M.; 2015, Assessment of heavy metals mobility and toxicity in contaminated sediments by sequential extraction and a battery of bioassays, Published online 2015 Jun 10. doi: 10.1007/s10646-015-1499-4
- Bellucci L.G., Frignani M., Paolucci D., Ravanelli M. (2002), Distribution of heavy metals in sediments of the Venice Lagoon: the role of the industrial area, *The Science of the Total Environment* [2002, 295(1-3):35-49], URL:<http://europepmc.org/abstract/med/12186291> ( posjećeno 21.02.2016)
- Bellucci, L. G.; Frignani, M.; Paolucci, D.; Ravanelli, M. (2002) Distribution of heavy metals in sediments of the Venice Lagoon: the role of the industrial area, *Sci Total Environ.* 2002, 5;295(1-3), str. 35-49.
- Bikit I.; Teodorovic I), Pollution of the Begej Canal sediment--metals, radioactivity and toxicity assessment, *Environ Int.* 2006 Jul;32(5):606-15. Epub 2006 Mar 9.
- Buzas, K., Somlyódy, L. (1997); Impact of road traffic on water quality ; *PERIODICA POLYTECHNIC, t SER. CIVIL ENC. VOL. 41, NO. 2, PP. 95-106* (1997)
- Brown, M. J. ; Carter, D. L. ; Bondurant, J. A. 1973. Sediment in Irrigation and Drainage Waters and Sediment Inputs and Outputs for Two Large Tracts in Southern Idaho<sup>1</sup>, *Journal of Environmental Quality Abstract* - <https://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/258/1/285.pdf>.
- Carlon, C.; Dalla Valle, M.; Marcomini, A. (2004) Regression models to predict soil-water heavy metal partition coefficients in risk assessment studies, *Environmental Pollution*, 127 (1), str. 109-115.
- Carneiro, C. ; Kelderman, P.B.; Kondageski, J.H. et al. (2014) Estimating sediment-water P exchange in Lake Rio Verde (Paraná state, Brazil) , *International Journal of Environmental Research* 8 (4), str. 1203-1214.

- Chu N. KIEN<sup>1</sup>, Nguyen V. NOI<sup>2</sup>, Le T. SON<sup>2</sup>, Ha M. NGOC<sup>2</sup>, Sota TANAKA<sup>3</sup>, Takuro NISHINA<sup>4</sup> and Kōzō IWASAKI Heavy Metal Contamination of Agricultural Soils around a Chromite Mine in Vietnam, URL: [https://www.researchgate.net/publication/215957591\\_Heavy\\_Metal\\_Contamination\\_of\\_Agricultural\\_Soils\\_around\\_a\\_Chromite\\_Mine\\_in\\_Vietnam](https://www.researchgate.net/publication/215957591_Heavy_Metal_Contamination_of_Agricultural_Soils_around_a_Chromite_Mine_in_Vietnam), [11.3. 2018].
- Dadić, T. (2016) Pronos nitrata u u vjetima automorfni i hidromorfni tala n aprimjeru sliva rijeke Vuke, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet
- Da Silva, C. P.; da Silveira ,E. L.; de Campos, S. X. Environmental pollution by heavy metals in the São João River basin, southern Brazil, URL: [https://www.researchgate.net/publication/320424000\\_Environmental\\_Nanoremediation\\_under\\_Changing\\_Climate](https://www.researchgate.net/publication/320424000_Environmental_Nanoremediation_under_Changing_Climate) [11.3. 2018].
- Da Silva, C. P.; da Silveira , E. L.; de Campos , S. X. 2017. Environmental pollution by heavy metals in the São João River basin, southern Brazil
- Dalmacija M., Dalmacija, B. Krčmar, D, Prica, M, Rajić, Lj., Rončević, S., Gavrilović, O; (2012); Solidifikacija/stabilizacija sedimenta vodotoka Krivaja zagađenog metalima; Hemijska industrija, 2012, vol. 66, br. 4, str. 469-478
- Dalmacija, B., Rončević S. (2013) Kvalitet površinskih voda i sediemnta – procena i upravljanje rizikom, Novi Sad: Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju, biohemiju i zaštitu životne sredine.
- Dimitrov, A. (2012/2013), Mogućnosti sanacija zagađenih vodotokova sa osvrtom na Veliki Bački kanal na potezu Vrbas-Kula, 839/2012 Fakultet tehničkih nauka, Čačak URL: <http://www.ftn.kg.ac.rs/download/SIR/SIR%20Aleksandra%20Dimitrov.pdf> [20.04. 2016]..
- Duran, V.H. ; Zuazo, C.; Rocío Rodriguez Pleguezuelo<sup>1,2</sup>, 2008. Soil-erosion and runoff prevention by plant covers. A review, Agron. Sustain. Dev. 28 (2008) 65–86 Available online at: c INRA, EDP Sciences, [www.agronomy-journal.org](http://www.agronomy-journal.org) DOI: 10.1051/agro:2007062
- Ferrero A., Lisa L., Parena S., Sudiro L. (2002), Runoff and soil erosion from tilled and controlled grass-covered vineyards in a hillside catchment, 9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) Demänovská dolina (Slovakia), 25 – 28 September 2002, str. 105-111.

- Ferrero A.; Lisa L.; Parena S.; Sudiro L. (2002) Runoff and soil erosion from tilled and controlled grass-covered vineyards in a hillside catchment, *9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) Demänovská dolina (Slovakia)*, 25 – 28 September 2002, str. 105-111.
- Ferronato, C.; Antisari, L. V.; Modesto, M. M.; Vianello, G. (2013), SPECIATION OF HEAVY METALS AT WATER-SEDIMENT INTERFACE, URL: <https://eqa.unibo.it/article/view/3932> [20.04. 2016]..
- Frančišković-Bilinski, S.; Mlakar, M.; Bilinski, H., (2017). Izrada prijedloga graničnih vrijednosti za određene opasne tvari u sedimentu kopnenih površinskih voda, (elaborat); Zahtjev za pristup informacijama, Hrvatske vode, Zahtjev za pristup informacijama, Hrvatske vode
- Frančišković-Bilinski, S.; Ereš, Z.; Bilinski, H., (2017). Uvođenje monitoringa riječnih sedimenta u Hrvatskoj, Zahtjev za pristup informacijama, Hrvatske vode, Zahtjev za pristup informacijama, Hrvatske vode
- Gabrić, O, Horvar, M., Horvat, Z, (2015) Kratak pregled modela otjecanja i erozije zasnovanih na fizičkim procesima
- Garneau C, Sauvage S, Probst A., Sanchez-Perez J.M., (2015), Modelling of trace metal transfer in a large river under different hydrological conditions (the Garonne River in southwest France). *Ecol Model* 306:195–204. Doi:10.1016/j.ecolmodel.2014.09.011, Modelling of trace metal transfer in a large river under different hydrological conditions (the Garonne River in southwest France), URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380014004268?via%3Dihub>. [18.05 2016]..
- Grujić R., Gligorić M., Dalmacija B., Novaković V. et al. Modelovanje transporta zagađujućih materija u aluvijalnim sedimentima rijeke Dunav kod Novog Sada, SCINDEKS, URL: <http://scindeks.ceon.rs/article.aspx?artid=0352-68520514260S>.
- Hartley, W.; Dickinson, N.M. (2010) Exposure of anoxic and contaminated canal sediments: Mobility of metal(loid)s, *Environmental Pollution*, 158 (3), str. 649-658.
- Huang, J, Greimann, B, Yang, C.T. (2008) Numerical simulation of sediment transport in alluvial river with floodplains; *International Journal of Sediment Research*, Vol. 18, No. 1, 2003, pp. 50-59
- Hubera, M, Welkerb, A, Helmreicha B. (2016) Critical review of heavy metal pollution of traffic area runoff: Occurrence, influencing factors, and partitioning

Science of The Total Environment; Volume 541, Pages 895-919

- Husnjak 2000 "Procjena rizika erozije tla vodom metodom kartiranja u Hrvatskoj" Sveučilište u Zagrebu Agronomski fakultet, doktorska disertacija:
- Husnjak, S., Bogunović, M. (2002) ; Opasnost od erozije tla vodom na poljoprivrednom zemljištu u agoregijama Hrvatske, *Agronomski glasnik* 5-6/202
- Irrigation: Case Study of the Gash Spate Irrigation Scheme, Sudan, Zenebe et al., *Irrigat Drainage Sys Eng* 2015, 4:2. URL: <http://dx.doi.org/10.4172/2168-9768.1000138>
- Ivančev-Tumbas, I.; Kooij, van der A.; Dalmacija, Bet al. (2004). Klasifikacija sedimenta Kanala Begej. Zbornik, radova "Voda 2004", 8-11. juni, Jugoslovensko društvo za zaštitu voda, Borsko Jezero, str. 331-336.
- Jiahui Xu<sup>1</sup>; Jingtian Zhang; Shouliang Huo; Beidou Xi; Zhuoshi He; Yunfeng Xu<sup>1</sup>, 2016 . High-resolution profiles of trace metals assessed by DGT techniques in lake sediment porewaters
- Kelderman , P.; Xuedong, Y.; Drossaert , W. M. E., Sediment pollution with respect to heavy metals and organic micropollutants in the city canals of Delft (The Netherlands)
- Kelderman P.; Drossaert, W.M.E.; Zhang M. et al. (2000) Pollution assessment of the canal sediments in the city of Delft (the Netherlands), *Water Research* 34 (3),str. 936–944.
- Kiesel, J., Schmalz, B., Brown, G.L., Fohrer, N. (2013); Application of a hydrological-hydraulic modelling cascade in lowlands for investigation water and sediment fluxes in catchment, channel and reach; *J. Hydrol.Hydromech.*, 61, 2013,4, 334-346
- Koc, C., Yilmaz, E. (2014); A Study on the Causes of Sediment, Accumulation in the Drainage Systems, *Journal of Water Resource and Protection*, 2014, 6, 224-235
- Kos, Z. (1989), Hidrotehničke melioracije tla: odvodnjavanje, Zagreb, Školska knjiga
- Krčmar, D., (2010), UTICAJ PROMEJNE FIZIČKO-KEMIJSKIH USLOVA I ODABRANIH TRETMANA NA MOBILNOST METALA U SISTEMU SEDIMET/VODA, disertacija, Prirodno-matematički fakultet, Departman za hemiju i biohemiju, Novi Sad.
- Krčmar, D.; Prica, M.; Dalmacija, B.; et al., (2013). Correlation of different pollution criteria in the assessment of metal sediment pollution, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 48, str. 380-393.

- Kuspilić, N., Bekić, D., Gilja, G.; Praćenje morfodinamičkih promjena korita vodotoka u zoni stupova mostova, URL: [https://bib.irb.hr/datoteka/445583.2010\\_DP\\_Pracenje\\_morfodinamickih\\_promjena\\_korita\\_vodotoka\\_u\\_zoni\\_stupova\\_mostova.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/445583.2010_DP_Pracenje_morfodinamickih_promjena_korita_vodotoka_u_zoni_stupova_mostova.pdf) [20.04. 2016]..
- Lawrence, P, & Atkinson, E. Deposition of fine sediments in irrigation canals, *Irrigation and Drainage Systems* 12: str.371–385.,1998. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- Lopez, F.,; Marcelo, G., 1998. Hydrosystems Laboratory, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign Urbana, Illinois, Open-channel flow through simulated vegetation: Suspended sediment transport modeling, *WATER RESOURCES RESEARCH*, VOL. 34, NO. 9, str. 2341-2352.
- Mac Donald, D. D., Ingersoll, C. G., Wang, N., Crane, J. L., Field, L. J., Haverland, P. S., Kemble, N. E., Lindskoog, R. A., Severn, C. i Smorong, D. E., (2000a), Prediction of sediment toxicity using consensus-based freshwater sediment quality guidelines, EPA 905-R-00-007, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC.
- Manz, W, Krebs, F., Schipper, C.A. Den Besten P.J.(2007) ; Status of ecotoxicological assessment of sediment and dredged materila in Germany and the Netherlands; URL: <https://sednet.org/download/DGE-Report-5-Ecotoxicology.pdf>
- Maggi I.; Maraga F.; Ottone C. (2002). Erosive rains related to in-channel sediment delivery in a small Alpine basin (North-Western Italy). *9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) Demänovská dolina (Slovakia)*, 25 – 28 September 2002 , str. 91-99.
- Maggil , F., Maraga2 , C. Otton (2002), EROSIIVE RAINS RELATED TO IN-CHANNEL SEDIMENT DELIVERY IN A SMALL ALPINE BASIN (NORTH-WESTERN ITALY), 9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) Demänovská dolina (Slovakia), 25 – 28 September 2002, str. 105-111.
- Marin, A. (1991), Priručnik za hidrotehničke melioracije, I. Kolo, Odvodnjavanje, Knjiga 6. Održavanje, Zagreb.
- Matiatos, I., (2016). Nitrate source identification in grounwatwr of multiple land-use areas by combining isotopes and multivariate statistical analysys: A case study of



- Asopos basin (Central Greece), *Science of Total Environment*, 541, str. 802-814. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.134.
- Mencio, A.; Mas-Pla, J.; Otero, N. et al. (2016). Nitrate pollution of groundwater; all right..., but nothing else?, *Science of Total Environment*, 539, str. 241-251. Doi: 10.1015/j.scitotenv.2015.08.151.
  - Mohammad Zare, Majid Mohammady, Biswajeet Pradhan, 2017. Modeling the effect of land use and climate change scenarios on future soil loss rate in Kasilian watershed of northern Iran; *Environmental Earth Sciences* April 2017, 76:305 | Cite as
  - Ningjing Hu i ostali., (2017) .Sources, geochemical speciation, and risk assessment of metals in coastal sediments: a case study in the Bohai Sea, China, *Environ Earth Sci* 76:309. DOI 10.1007/s12665-017-6599-4
  - Ninkov, J.; Milić, S.; Vasin, J. et al. (2012), Teški metali u zemljištu i sedimentu potencijalne lokalne ekološke mreže srednjeg Banata
  - Osibanjo , O. , 2015. Analytical/Environmental Chemistry Unit, Department of Chemistry, University of Ibadan, Nigeria\_on line, Mobility and speciation of heavy metals in soils impacted by hazardous waste, *Chemical Speciation & Bioavailability*
  - Pandey, J.; Singh, R. (2017). Heavy metals in sediments of Ganga River: up- and downstream urban influences, *Appl Water Sci.* (2017)7:1669. URL: <https://doi.org/10.1007/s13201-015-0334-7>.
  - Romić, D (2014) Utjecaj poljoprivrede na onečišćenje površinskih i podzemnih voda u Republici Hrvatskoj; URL: [https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/utjecaj\\_poljoprivrede\\_na\\_oneciscenje\\_povrsinskih\\_i\\_podzemnih\\_voda\\_u\\_republici\\_hrvatskoj.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/dokumenti/utjecaj_poljoprivrede_na_oneciscenje_povrsinskih_i_podzemnih_voda_u_republici_hrvatskoj.pdf) [28.05. 2017]..
  - Saenyi W.; Holzmann, H. (2002). An integrated approach of water erosion, sediment transport and reservoir sedimentation, *9th Conference of the European Network of Experimental and Representative Basins (ERB) Demänovská dolina (Slovakia)*, 25 – 28 September 2002 , str. 171-177.
  - Sanjeev K. Jha<sup>1,2</sup>and Fabián A. Bombardelli<sup>1</sup>, 2010. Toward two-phase flow modeling of nondilute sediment transport in open channels, *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 115, F03015,doi:10.1029/2009JF001347,
  - Sari E.; Cukrov N.; Frančisković- Bilinski, S; Kurt M.A.; Halli, M(2016), Contamination assessment of ecotoxic metals in recent sediments from the Ergene River, Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75:1051 | Cite as

- Savić R. , Pantelić S., Belić Anđelka., 2009. Utjecaj kanalskih sedimenata na životnu sredinu, *Zaštita prirode*, vol. 60, br. 1-2, str. 663-670.
- Savić R.; Pantelić S.; Belić A. et al., (2005). Teški metali u sedimentima melioracionih kanala, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, bJVP, Vode Vojvodine, Novi Sad, Zbornik radova Građevinskog fakulteta, Subotica, 2005, br. 14, str. 260-265.
- Savić, R. ; Josimov-Dunđerski, J.;, Belić, A.;(2015) Monitoring kvaliteta vode i sedimenta manjih vodotoka u Vojvodini – primer vodotoka Tatrarnica, Originalan naučni rad, Original scientific paper, DOI: 10.7251/AGRSR1502181S
- Savić, R., Belić, A., Pantelić, S. (2013), Comparative review of sediment properties from drainage canals, *Journal of Environmental Studies*, Volume 22, Issue 3, 2013, str. 849-859, URL: <http://www.pjoes.com/Comparative-Review-of-Sediment-Properties-r-nfrom-Drainage-Canals,89040,0,2.html>.
- Savić, R.; Pantelić, S.; Belić, A.; Belić, S., i dr., (2005.). Monitoring kvaliteta vode i sediemnta manjih vodotoka u Vojvodini – primjer vodotoka Tatrarnica. URL: <http://doisrpska.nub.rs/index.php/agroznanje/article/viewFile/2293/2202>.
- Savić, R.; Pantelić, S.; Belić, A.; Belić, S., (2005a). Teški metali u sedimentima melioracionih kanala, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za uređenje voda, bJVP, Vode Vojvodine, Novi Sad, Zbornik radova Građevinskog fakulteta, Subotica
- Savić, R.; Pantelić, S.; Belić, A.; Belić, S (2003) SEDIMENT DEPOSITION ISSUES IN THE IRRIGATION/DRAINAGE CANALS IN VOJVODINA (2003); <http://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2003/ANNALS-2003-2-02.pdf>
- Službeni glasnik RS. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje. Službeni glasnik RS, 50/12 (2012); URL: Službeni glasnik RS. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija u površinskim i podzemnim vodama i sedimentu i rokovima za njihovo dostizanje. Službeni glasnik RS, 50/12 (2012)
- Sumi, T. Hirose, T. ; Acucumulation of sediment in reservoirs; <https://pdfs.semanticscholar.org/1065/ca6a3fc52afc8152b0aade6767ccf89f7390.pdf>
- Szalinska, E.; Drouillard, K.G.; Fryer, B.; Haffner, G.D., 2006. Distribution of Heavy Metals in Sediments of the Detroit River, *Journal of Great Lakes Research*, Volume 32, Issue 3, , str. 442-454.

- Taylor, K. G.; Owens , P. N., (2009), Sediments in urban river basins; URL: [https://www.researchgate.net/journal/1439-0108 Journal of Soils and Sediments](https://www.researchgate.net/journal/1439-0108_Journal_of_Soils_and_Sediments)
- Tewedros, F.Z. Yasir, M and Haile A.M. (2009) Mitigation of Sedimentation at the Diverstion Intake of Fota Spate; URL: <https://www.omicsonline.org/open-access/mitigation-of-sedimentation-at-the-diverstion-intake-of-fota-spate-irrigation-case-study-of-the-gash-spate-irrigation-scheme-sudan-2168-9768-1000138.php?aid=60724>
- Togwell A. J., (1970). Sources of heavy metal contamination in a river-lake system (1970) *Environmental Pollution (1970) Volume 18, Issue 2*, 1979, str. 131-138.
- US Army Corps of Engineers,2016, HEC-RAS User Manual, Aplication Guide Version 5
- Yingqun Ma, Yanwen Qin, Binghui Zheng et al., 2015. Seasonal variation of enrichment, accumulation and sources of heavy metals in suspended particulate matter and surface sediments in the Daliao river and Daliao river estuary, Northeast China, *Environmental Earth Sciences*, Volume 73, Issue 9, str. 5107–5117. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-015-4325-7>.
- Zhang M.; Fang L.; Zhou C. et al. 2006. 17(8):1501-4., [Evaluation of heavy metals bioavailability and mobility in polluted soils: A comparison of four methods],, Department of Resource Science, College of Environmental and Natural Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China. URL: <https://europepmc.org/abstract/med/17066711>.
- Zhang, H, Shan, B (2008), Historical records of heavy metal accumulation in sediments and the relationship with agricultural intensification in the Yangtze–Huaihe region, China; *Science of The Total Environment*, Volume 399, Issues 1–3, 25 July 2008, Pages 113-120
- Zglobicki, W., Lata, L., Plak, A., (2011) Geochemical and statistical approach to evaluate background concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn (case study: Eastern Poland); *Environmental Earth Sciences* 62(2):347-355
- 

\*\*\* Studija vogospodarskog uređenja sliva rijeke Vuke, Institut IGH d.d. Zagreb

- Decision 2455/2001/EC of the European Parliament and of the Council of 20 November 2001 establishing the list of priority substances in the field of water policy and amending Directive 2000/60/EC; <https://www.voda.hr/hr/okvirna-direktiva-o-vodama>
- Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy; <https://www.voda.hr/hr/okvirna-direktiva-o-vodama>
- Plan upravljanja vodnim područjima za razdoblja 2013-2015.; Hrvatske vode
- Plan upravljanja vodnim područjima za razdoblja 2016-2021.; Hrvatske vode
- Pravilnik o zaštiti poljoprivrednog zemljišta od onečišćenja (NN 9/2014)
- Pravilnik o tehničkim, gospodarskim i drugim uvjetima za uređenje sustava melioracijske odvodnje, te osnovama za tehničko i gospodarsko održavanje sustava (NN107/95)
- Provedbeni plan obrane od poplava branjenog područja, Sektor B – Dunav i Donja Drava, Branjeno područje 15: Područje malog sliva Vuka; [http://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp\\_10\\_-\\_provedbeni\\_plan\\_obrane\\_od\\_poplava.pdf](http://www.voda.hr/sites/default/files/clanak/bp_10_-_provedbeni_plan_obrane_od_poplava.pdf)
- Uredba o standardu kakvoće voda,( NN 73/13, 151/14, 78/15 i 61/16)
- Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 94/12, 73/17)
- Zakon o vodama (NN 153/09, 63/11. 130/11, 53/13, 14/14)



## Curriculum vitae



Rođena 13. veljače 1975. godine u Osijeku. U Čepinu završava Osnovnu školu Vladimira Nazora. Nakon osnovne škole upisuje III. gimnaziju u Osijeku, prirodoslovni-matematički smjer i maturira 1993. godine. Iste godine upisuje Građevinski fakultet u Osijeku na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera i diplomu diplomiranoga inženjera građevinarstva stječe 2000. godine.

U ožujku 2000. godine postaje zaposlenica Hidroinga d.o.o. Osijek i do siječnja 2008. obavlja sljedeće poslove – voditelja sektora otpadnih voda, koordinatora i projektanta na projektima sanitarne hidrotehnike te projektanta.

Od 2004. godine član je Hrvatske komore ovlaštenih inženjera građevinarstva.

Na Institutu IGH d.d. Zagreb, RC Osijek provodi šest godina ( od siječnja 2008. do siječnja 2014. godine) na poslovima voditelja odjela, voditelja projekta i projektanta.

Godine 2009. upisuje poslijediplomski studij na Sveučilištu Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Građevinski fakultet Osijek.

U siječnju 2014. godine prelazi u Sirrah d.o.o. Osijek gdje obavlja poslove projektiranja i vođenja projekata hidrotehničkih građevina.

Od 2014. godine asistentica je u naslovnom zvanju na predmetima Regulacije vodotoka, akad. god. 2014/2015 - danas; Hidrotehničke građevine ak.god. 2014/2015; Korištenje vodnih snaga – 2017/2018 na Građevinskom fakultetu u Osijeku.

Od prosinca 2017. do danas zaposlenica je Instituta IGH d.d. Zagreb na radnom mjestu vodećeg projektanta eksperta - specijalizirana za izrade svih razina projektne dokumentacije, za projekte vodoopskrbnih sustava, sustava odvodnje, uređaja za pročišćavanje otpadnih voda i ostale projekte hidrotehničkih građevina.

