PRIMENA FIZIČKIH, HEMIJSKIH i BIOLOŠKIH METODA U EKOREMEDIJACIJI VODOTOKA - STUDIJA SLUČAJA REKE DRINE - II provera

By Halima Mabrouk Shaeban Elgamoudi

WORD COUNT 29805 TIME SUBMITTED 07-SEP-2017 11:56AM
PAPER ID 31513450

UNIVEZITET SINGIDUNUM

FAKULTET ZA PRIMENJENU EKOLOGIJU FUTURA

Halima Mabrouk Shaeban Elgamoudi

PRIMENA FIZIČKIH, HEMIJSKIH i BIOLOŠKIH METODA U EKOREMEDIJACIJI VODOTOKA - STUDIJA SLUČAJA REKE DRINE

- doktorska disertacija -

U Beogradu, 2017

KOMISIJA ZA OCENU I ODBRANU DOKTORSKE DISERTACIJE

MENTOR:

- **Dr Gordana Dražić**, redovni profesor, Fakultet za primenjenu ekologiju Futura, Univerzitet Singidunum Beograd

ČLANOVI KOMISIJE:

- **dr Mirjana Bartula,** vanredni profesor Fakulteta za primenjenu ekologiju Futura Univerzitet Singidunum Beograd

- **dr Vesna Ristić Vakanjac,** vanredni profesor Rudarsko-geološkog fakulteta Unverziteta u Beogradu

DATUM JAVNE ODBRANE DOKTORSKE DISERTACIJE:_____

SINGIDUNUM UNIVERSITY

FACULTY FOR APPLIED ECOLOGY FUTURA

Halima Mabrouk Shaeban Elgamoudi

APPLICATION PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL METHODS IN ECOREMEDIATION OF WATERSTREAMS - CASE STUDY DRINA RIVER

-PhD thesis -

In Belgrade 2017

REZIME

Primena ekosistemskog pristupa na kompleksne probleme upravljanja vodama je jedan od najvažnijih izazova u oblasti upravljanja ovim obnovljivim resursom. Ekoremedijacija – remedijacija ekosistema je koncept upravljanja ekositemom koji podrazumeva tri segementa: utvrđivanje zatečenog stanja vodotoka, mere koje se preduzimaju u cilju poboljšanja ekološkog statusa vodotoka i monitoring promena koje nastaju nakon primene mera. U ovom radu fokus je na utvrđivanju stanja vodotoka.

Reka Drina je izabrana kao pogranični veliki vodotok koji je regulisan, poseduje visok hidro potencijal, a takođe je i važna turistička destinacija, u slivu se nalaze značajna zaštićena područja. Dostupni podaci o kvalitetu vode na osnovu analiza Hidrometeorološkog zavoda i Agencije za zaštitu životne sredine ukazuju da reka Drina pripada II, eventualno III klasi. Reka Drina poseduje veliki potencijal samoprečišćavanja uslovljen velikim protocima, naročito u gornjem i srednjem toku. S obzirom da se na samom vodotoku i u rečnom slivu odvijaju mnogobrojne aktivnosti (hidroenergetska postrojenja, rudarske aktivnosti, poljoprivreda, industrija – prvenstveno drvoprerađivačka i prehrambena) i nalaze mnogobrojna naselja sa nerešenim odlaganjem otpada i otpadnih voda, može se pretpostaviti da su pritisci na ekositem reke Drine veliki i nedovoljno ispitani uprkos velikom broju do sada sprovedenih studija.

Postavljena je hipoteza da se zvaničnim monitoringom ne dobijaju svi podaci neophodni za određivanje ekološkog statusa reke Drine pa je neophodno identifikovati sve tačkaste i difuzne zagađivače na odabranom delu vodotoka, primeniti fizičke, hemijske i biološke metode monitoringa stanja vodotoka radi određivanja ekološkog stanja na izabranim mernim mestima i analizirati sve dostupne rezultate ispitivanja radi obrazovanja predloga mera remedijacije vodotoka primenom fizičkih, hemijskih i bioloških metoda.

Dat je iscrpan pregled fizičkih, hemijskih i bioloških metoda remedijacije kontaminiranih voda, sedimenta i zemljišta kao i pregled savremene literature koja se odnosi na principe ekoremedijacija odnosno ekohidrologije u upravljanju rečnim ekosistemima, na antropogene pritiske na akvatične ekosisteme i remedijaciju u cilju postizanja njihovog dobrog ekološkog stausa. Na osnovu prethodnih studija dat je pregled i prostorni raspored glavnih zagađivača reke Drine na ispitivanom delu toka od akumulacije hidroelektrane Bajina Bašta do ušća.

Urađena su dodatna ispitivanja 19 parametara kvaliteta vode, 10 parametara kvaliteta suspendovanog nanosa i 14 parametara kvaliteta sedimenta u pet mernih ciklusa u toku 2015. i 2016. god. na lokacijama HE Bajina Bašta iznad i ispod brane, HE Zvornik iznad i ispod brane i Badovinci. Dobijeni rezultati ukazuju da se kvalitet vode, suspendovanog nanosa i sedimenta značajno menja u prostoru i vremenu tako da po većini parametrara (pH, EC, rastvoreni O_2, anjonski deterdženti, HPK, BPK_5, TOC) pripadaju II ili III kategoriji odnosno dobrom ekološkom statusu. Međutim, u pojedinim terminima ispitivanja i pojedinim mernim mestima koncentracije polutanata u vodi (NH_4 N, NO_3 N, NO_2 N, ukupni fenoli, Ni, Zn, Cd), suspendovanom nanosu (Ni, Zn, Cr, Pb, As) i sedimentu (Ni, Zn, As) određuju IV klasu: zagađen. Ovi rezultati su potvrđeni i analizom makrofita u akumulacijama HE Bajina Bašta i Zvornik koje daju integralnu sliku stanja vodotoka za razliku od fizičkih i hemijskih metoda koje daju rezultate o trenutnom stanju. Analizom prostorne raspodele sadržaja teških metala u sedimentu i suspendovanom nanosu sa aspekta geološke podloge može se zaključiti da je povišen sadržaj Cr i Ni prirodnog porekla, dok su Zn, Cd, Cu, Pb i As u akumulaciji HE Zvornik verovatno antropogenog porekla (rudarstvo) odnosno da ne postoji negativan uticaj hidrenergetskih postrojenja, štaviše može biti i pozitivan u smislu zadržavanja polutanata. Fenoli u povišenim koncentracijama su verovatno poreklom od drvoprerađivačke industrije.

Na osnovu podataka o dostupnim metodama ekoremedijacije (fizičkim, hemijskim i biološkim), rezultata iz prethodnih studija i dodatnih merenja dat je predlog mera u cilju poboljšanja ekološkog statusa reke Drine. Preventivne mere i metode se odnose na sprečavanje izlivanja netretiranih otpadnih voda iz naselja i neuređenih deponija komunalnog otpada, sprečavanje ispiranja nutrijenata sa poljoptivrednih površina. Korektivne mere se odnose na rekultivaciju očišćenih deponija komunalnog otpada, renaturalizaciju prostora degradiranih rudarskim aktivnostima, na uklanjanje fenola iz vode kao i remedijaciju sedimenta posle izmuljavanja.

Zvanični monitoring ekološkog statusa reke Drine, iako se sistematski sprovodi ne daje uvek dovoljno podataka, pa u okviru ekoremedijacionog plana svakako treba predvideti i dodatni monitoring sedimenta i suspendovanog nanosa a monitoring kvaliteta vode vršiti učestalije. U program monitoring treba uključiti i ispitivanje makrofita.

Ključne reči: kvalitet vode, sediment, suspendovani nanos, makrofite, remedijacija, teški metali

SUMMARY

Effective water resource management requires an ecosystem approach to the study of all aspects of conservation and use of aquatic ecosystems and coastal areas, as well as the entire catchment area in the case of watercourses. Ecoremediation - remediation of ecosystems is the concept of ecosystem management that includes three segments of determining the current state of the watercourse, the measures proposed to improve the enviromnental impact on watercourses and monitoring changes occurring after the application of the measures. In thisdisertation, the focus is on determining the state of the watercourse.

Drina River was chosen as large border regulated watercourse, has a high hydropower potential, and is also an important tourist destination, in the basin are important protected areas. Available official data from Republic Hydrometeorological Service of Serbia and Environmental Protection Agency indicates that Drina River belongs to a second, or optionally third class. River Drina has a great self-purification potential caused by high flow, especially the upper and middle reaches. Since it is at the water stream and river basin take place a number of activities (hydropower plants, mining activities, agriculture, industry - preferably wood-processing and food processing) and find numerous settlement to the pending waste dumps and wastewater, it may be assumed that the pressures on the ecosystem of River Drina is large and insufficiently investigated despite a number of studies conducted so far.

It was hypothesized that the official monitoring does not receive all the information necessary to elucidate the ecological status of the Drina river and it is necessary to identify all point and diffuse polluters on the selected part of the watercourse, applied improved sophystiated methods of monitoring ecological state of the selected measuring points and analyze all available results

in order to educate the proposal remediation measures using physical, chemical and biological methods.

There is a comprehensive overview of the methods belonging to physics, chemistry and biology for remediation of contaminated water, sediment, and soil as well as the literature review relating to the principles of ecoremediation (or ecohydrology) in the management of river ecosystems, anthropogenic pressures on aquatic ecosystems and remediation in order to achieve their good ecological final status.

Based on previous studies and survey of the distribution ower space of the main polluters of the river Drina in the investigated part of the flow from the reservoir of hydropower plant Bajina Bašta to the mouth were given.

Additional investigations were performed regarding the 19 parameters of water quality, 10 parameters of quallity of suspended solids and 14 parameters of quallity of sediment in five mesuring cycles in 2015 and 2016 on location HP Bajina Bašta above and below dam, HP Zvornik above and below dam and Badovinci. The results indicate that the quality of the water, suspended solids and sediment significantly change in space and time so that, in most parameters (pH, EC, dissolved O_2, anionic detergents, COD and BOD_5, TOC) belonging to II or III class and good environmental status. However, in specific test terms and the individual measuring points a concentration of pollutants in the water (NH_4 N, NO_3 N, NO_2 N, total phenols, Ni, Zn, Cd), suspended solids (Ni, Zn, Cr, Pb, As) and the sediment (Ni, Zn, As) are determined class IV: contaminated. These results were confirmed by analysis of macrophytes in the reservoirs of HP Bajina Bašta and Zvornik that provide an integral picture of the watercourse as opposed to physical and chemical methods that produce results on the current situation. By analyzing the spatial distribution of the contents of heavy metals in sediment and suspended solids from the

aspect of the geological substrate can be concluded that increased contents of Cr and Ni of natural origin, while Zn, Cd, Cu, Pb and As in the HP Zvornik accumulation probably the anthropogenic sources (mining) and that there are no negative impact hydro energetic plants, moreover, can be positive in terms of retention of pollutants. Phenols in elevated concentrations are probably originating from the wood processing industry.

Based on information on the available methods ecoremediation (physical, chemical and biological), results from previous studies, and additional measurements it is proposed a measure to improve the ecological status of the Drina River. Preventive measures and methods relating to the prevention of spills of untreated sewage from the settlement and waste dumps and preventing the leaching of nutrients from the agricultural areas. Corrective measures related to the reclamation of brownfields, renaturalization area degraded by mining activities, the removal of phenols from water and remediation of sediments after dredging.

Official monitoring of the ecological status of the Drina River, although systematically implemented does not always have enough information. Within the ecoremediation plan is necessary to provide additional monitoring of sediment and suspended solids and water quality including investigations of macrophytes.

Key words: heavy metals water quality, sediment, suspened solids, makrophytes, remediation

SADRŽAJ

1. UVOD 10

2. PREDMET ISTRAŽIVANJA 14

2.1. REKA DRINA 14

2.1.1. Osnovni podaci o reci Drini 14

2.1.2. Drinsko- Limske elektrane 18

2.2. EKOLOŠKI STATUS VODNIH TELA 21

2.3. FIZIČKE, HEMIJSKE I BIOLOŠKE METODE REMEDIJACIJE I NJIHOVE INTERAKCIJE 26

2.3.1. Remedijacija zemljišta 27

2.3.1.1. Biološke metode 27

2.3.1.2. Hemijske metode 28

2.3.1.3. Fizičke metode 31

2.3.2. Remedijacija voda 38

2.3.2.1. Biološke metode 38

2.3.2.2. Hemijske metode 40

2.3.2.3. Fizičke metode 41

2.3.3. Metoda fitoremedijacije 42

2.4. KONCEPT EKOREMEDIJACIJE /pregled literature/ 46

2.4.1. Ekohidrologija i održivost 47

2.4.2. Upravljanje rečnim ekosistemima 50

2.4.3. Antropogeni uticaji na rečne ekosisteme 53

2.4.4. Remedijacija u cilju postizanja dobrog ekološkog statusa vodnih tela 57

3. HIPOTETIČKI OKVIR 66

3.1. CILJ ISTRAŽIVANJA 67

4. METODE ISTRAŽIVANJA 68

4.1. OPŠTENAUČNE METODE 68

4.2. SPECIFIČNE ISTRAŽIVAČKE METODE 68

5. REZULTATI I DISKUSIJA 78

5.1. ČINIOCI DEGRADACIJE VODOTOKA REKE DRINE 78

5.1.1. Izvori zagađenja reke Drine 81

5.1.2. Devastirani prostori 88

5.2. EKOLOŠKI STAUS REKE DRINE 91

5.2.1. Hidrološke karakteristike 91

5.2.2. Fizikohemijske karakteristike vode reke Drine 94

5.2.3. Sadražaj teških metala u vodi 100

5.2.4. Suspendovani nanos 104

5.2.5. Sediment 108

5.2.6. Prostorna distribucija teških metala u sedimentu i suspendovanom nanosu 112

5.2.7. Analiza makrofita 119

5.2.8. Geološke karakteristike 125

5.3. PREDLOG METODA REMEDIJACIJE 131

5.3.1. Remedijacija polutanata poreklom od industrije 131

5.3.2. Remedijacija polutanata poreklom od poljoprivrede 135

5.3.3. Remedijacija polutanata poreklom iz naselja 136

5.3.4. Remedijacija šljunkara 142

5.3.5. Remedijacija sedimenta 143

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA 145

7. SPISAK LITERATURE 149

8. PRILOZI 161

Prilog I – Spisak tabela 161

Prilog II – spisak slika 162

Prilog III – Granične vrednosti 164

Indeks skraćenica 167

1. UVOD

Primena ekosistemskog pristupa na kompleksne probleme upravljanja vodama je definisana kao jedan od najvažnijih napredaka u oblasti upravljanja ovim obnovljivim resursom. Primarni akcenat sistemske analize u upravljanju vodnim resursima je na pružanju poboljšanih osnova za donošenje odluka.

Ekoremedijacija – remedijacija ekosistema je koncept upravljanja ekositemom koji podrazumeva tri segementa koji se ciklično ponavljaju: utvrđivanje zatečenog stanja životne sredine, u ovom slučaju vodotoka, mere koje se preduzimaju u cilju poboljšanja ekološkog statusa, u ovom slučaju vodotoka i monitoring promena koje nastaju nakon primene mera. Dokument koji se razvija prema ovom konceptu je ekoremedijacioni plan (ERM plan) koji sadrži sva tri pomenuta segmenta. Remedijacija ekosistema je relativno novo polje u nauci i njenoj praktičnoj primeni koje, iako u ekspanziji, još uvek nema dovoljno bazičnih informacija i razumevanja suptilnih ekoloških funkcija i njihovih interakcija. Zbog toga, moramo početi od nižih nivoa organizacije za koje postoje bolji podaci i razumevanje da bi kasnije bili u mogućnosti da upravljamo prirodnim resursima na dugoročno održiv način. I pored velikog broja publikovanih rezultata iz ove oblasti, mali je broj ozbiljnih naučnih doprinosa remedijaciji ekosistema u celini ali na svakoj studiji slučaja i primeru dobre prakse se povečava mogućnost razumevanja posledica koje će na nivou ekosistema doneti ono što ljudu čine ili ne čine u datom momentu. Najbolje razumevanje procesa se može postići kada sistemu damo dovoljno vremena da ponovo uspostavi ravnotežu posle antropogenih intervencija. Preko što je moguće detaljnijeg monitoringa posledica intervencija na vodotoku na mikroskali, odnosno ograničenom području, može se uspostaviti adaptivno upravljanje sa poverenjem da će mere preduzete na mikroskali

pozitivno uticati na stanje vodotoka i/ili rečnog sliva u dužem vremenskom period kao održivi ekosistem.

Ekoremedijacijski pristup potencira samoorganizovanje nativnih i unetih bioloških vrsta sa abiotičkim antropogeno izmenjenim habitatom. Ovo omogućava prirodnu kolonizaciju biljnih i životinjskih vrsta da bi se održala ravnoteža i optimum ekosistemskih funkcija sa minimalnim antropogenim manipulacijama materijalima i procesima. Treba insistirati, u najvećoj mogućoj meri u okviru ograničenja višestruke upotrebe, da prirodi vrati ono što joj je potrebno da funkcioniše i onda se pristupa "hands-off" koji prilagođava intervencije upravljanja na ono što nas priroda uči da je potrebno da se postigne zdrava ravnoteža.

Regulativa i zainteresovane strane koji se bave upravljanjem rečnim slivom često greše ne dozvoljavajući dovoljno vremena za procese ekoremedijacije. Zato je neophodno uspostaviti princip prirodnog redizajniranja pre donošenja odluka. Pravni, politički i ekonomski antropogeni prioriteti često zahtevaju neprirodne i mehaničke intervencije u cilju "brze popravke", koji obično ne dozvoljavaju vreme potrebno prirodi da nađe ravnotežu, i zapravo često može biti podrivanje ili čak destrukcija naporima ekoloških restauracija. Zbog stohastičke prirode hidroloških događaja, kao i prirodno sporog i progresivnog razvoja ekosistema, vremensko ograničenje na pet godina je proizvoljno i verovatno suviše kratko. Ekološki modeli pokazuju da što su dalji početni uslovi (u stabilnom stanju), to je više vremena potrebno za sistem da ponovo dostigne stabilno stanje. Sliv reke Drine kao ekosistem je trenutno daleko od uravnoteženog stabilnog stanja; pa treba predvideti vremenski period od 15 do 20 godina, pre bilo kojih procena uspešnosti preduzetih ekoremedijacionih mera.

Reka Drina je izabrana za ovo istraživanje kao pogranični vodotok koji je regulisan, poseduje visok hidro potencijal a takođe je i bitna turistička destinacija, tako da je neophodno da se

obezbedi što je moguće viši kvalitet vode i zemljišta rečnog priobalja. Zvanični podaci o kvalitetu vode na osnovu analiza Hidrometeorološkog zavoda i Agencije za zaštitu životne sredine ukazuju da reka Drina pripada drugoj klasi vodotoka. Međutim, rezultati drugih istraživanja ukazuju na značajan negativan antropogeni uticaj na ovaj vodotok pa je potrebno sprovesti detaljniji monitoring radi utvrđivanja ekološkog stausa. Veoma veliki broj raspoloživih podataka nastalih primenom fizičkih, hemijskih i bioloških metoda, pre svega u svrhu monitoringa, zahteva meta-analizu, što svakako prevazilazi okvire ovog rada. Takođe, razvijen je i veliki broj analitičkih kompjuterski zasnovanih alata, od simulacije i optimizacije do multi-objektivnih analiza dostupnih za formulisanje, analiziranje i rešavanje planiranja vodnih resursa, od projektovanja do rešavanja operativnih problema a koji funkcionišu na bazi podataka dobijenih monitoringom.

Sliv reke Drine, obuhvata ukupnu površinu od 19,680 km^2 a prostire se na teritoriji četiri države: Bosnae i Hercegovina, Crna Gora, Srbija (kojima pripada po nešto više od 30% teritorije rečnog sliva), i Albanija (sa manje od 1%). Karakteriše se visokim vrednostima protoka i generalno dobrim kvalitetom vode, što je posledica velike moći samoprečišćavanja. Značajan hidroenergetski potencijal je iskorišćen samo oko 40%. Visok stepen biodiverziteta i visoko vredne predeone celine su osnov za razvoj ekoturizma. Rudarstvo, industrija, turizam i poljoprivreda su najznačajnije ekonomske aktivnosti. Sliv reke Drine naseljava nešto manje od milion stanovnika, u naseljima u priobalju reke Drine i njenih glavnih pritoka.

Reka Drina ima veliki značaj, ne samo za stanovnike rečnog sliva, već i za širi region koji se prostire na teritoriji više država. Tokom dugogodišnjeg perioda ova reka je ekspolatisana radi obetbeđivanja građevinskih materijala, električne energije i razvoja turizma što je ostavilo značajne ekološke posledice na reku i na čitav njen sliv. Najznačajniji potencijal ove reke su

njene hidrološke karakteristike a trenutno na njoj postoje, u republici Srbiji, dve hidroelektrane koje ne koriste u potpunosti hidropotencijal Drine. Lokalno stanovništvo eksplatiše šljunak i pesak iz reke kao građevinski materijal i u Republici Srbiji i u Bosni i Hercegovini. Ova eksploatacija i kada se obavlja legalno i kada se obavlja ilegalno ostavlja negativne posledice na priobalje i sam rečni tok i negativno utiče na ekosistem reke Drine značajno menjajući njene hidrološke i hidrografske karakteristike.

Reka Drina, kao i njen sliv, predstavlja značajnu turističku destinaciju. Pored njene lepote i aktivnosti koje se održavaju na samoj reci moramo uzeti u obzir i turističke aktivnosti koje se odvijaju u njenoj blizini i direktno utiču na nju. U slivu ove reke su razvijeni gradovi od velikog istorijskog značaja koje posećuju mnogobrojni turisti svake godine. Seoski turizam se u ovim predelima intenzivno razvija, kao i veliki broj etno sela i odmarališta od kojih se većina nalazi na samoj reci. Nedostatak odgovarajuće infrastrukture, neodgovornost i nemar pojedinaca i lokalnih samouprava, dovela je do značajne degradacije predela pretežno stvaranjem divljih (nekontrolosanih) deponija kojima se direktno zagađuje reka i nedostatkom komunalne infrastrukture pri čemu se fekalne materije direktno puštaju u reku Drinu ili njene pritoke ili dospevaju u podzemne vode. Industrijska postrojenja takođe ispuštaju otpadne materije u Drinu putem, uglavnom netretiranih otpadnih voda.

U cilju omogućavanja održivog upravljanja slivom ovako velike međunarodne reke neophodno je primeniti sveobuhvatni ekohidrološki pristup i rezultate dobrih praksi u drugim regionima, koji treba da omogući donosiocima odluka pravilno uspostavljanje prioriteta i planova upravljanja koji će biti kompromisno rešenje potreba svih zainteresovanih strana. Principi koji se primenjuju na reku Drinu su univerzalni pa se mogu primeniti i na druge slične vodotoke.

2. PREDMET ISTRAŽIVANJA

2.1. REKA DRINA

2.1.1. Osnovni podaci o reci Drini

Reka Drina, duga je 346 km, pripada crnomorskom slivu kao najveća pritoka reke Save (Sl. 1). Drina je planinski vodotok sa velikim padom i velikom moći samoprečišćavanja, pa su kao rezultat toga njene vode uglavnom u II, rede u III klasi, ili u proseku nešto iznad II klase kvaliteta rečnih voda na celom toku od Bajine Bašte do ušća u Savu (RHMZ 2014).

Sliv Drine obuhvata više od 20% ukupne površine sliva reke Save, odnosno više od 30% proticaja. Ovaj sliv obuhvata 4 predeone oblasti na osnovu hidroloških i geomorfoloških karakteristike. Prva u potpunosti pripada Republici Crnoj Gori, a druga (koja je i najveća) Bosni i Hercegovini, odnosno Republici Srpskoj. Prva i druga predeona oblast nisu predmet ove disertacije iako imaju uticaja na ekološki status Podrinja u Srbiji. Treća i četvrta predeona oblast obuhvataju srednji i donji tok reke Drine i pretstavljaju predeo od interesa ovog rada, a granica između njih je Zvornik. Ovaj prostor, naročito nizvodno od Zvorničkog prosjeka, poseduje brojne prirodne resurse pa je u njemu razvijena poljoprivreda i ndustrija a tokom istorije su aktivni brojni putevi čija se raskršća nalaze upravo ovde. Reka Drina je tokom istorije bila granica (Rimskog carstva, Otomanskog carstva) a i danas se tu nalazi državna granica. Tok reke Drine se završava prostranom deltom koja zauzima više od 10% ukupnog sliva a nalazi se u Semberiji, na zapadnoj strani, koja pripada Bosni i Hercegovini, odnosno republici Srpskoj i u Mačvi, na istočnoj strani koja pripada Republici Srbiji.



Slika 1. Sliv Reke Drine (WBDIWRM inception report)

Reka Drina nastaje kod Šćepan Polja od reka Tara i Piva, i na samom početku je široka prosečno 40 m i duboka 2,5 m. U Drinu se ulivaju jedanaest pritoka (Sutjeska u čijem se slivu nalazi istoimeni nacionalni park sa prašumom Perućica koja je proglašena za rezervat prirode; Lim /najveća pritoka/; Bistrica i Ćehotinja utiču u Drinu u blizini Srbinja /Foče/; Prača kod Ustiprače; Žepa kod sela Slapa; rečica Vrelo u Perućcu; Rogačica kod istoimenog mesta; Ljubovića kod Ljubovije; Jadar; Janja). Na kraju toka reka Drina meandrira zbog taloženja nanosa a ovi meandri nose naziv "drinjače". U slivu reke Drine se nalaze planine zapadnog dela Balkanskog poluostrva gde seče Dinarski planinski sistem: u gornjem toku - Sinjajevina, Durmitor, Maglić, Jahorina i Vučevica; u srednjem toku – Devetak, Javor, Zvijezda, Tara, Jagodnja i Boranja; u

donjem toku – Majevica i Gučevo. Visina ovih planina opada se juga prema severu. Između ovih planina u gornjem isrednjem toku reka Drina prolazi kroz više kotlinastih proširenja u kojima se nalaze ušća pritoka. U slivu reke Drine se nalaze zasebne predeone celine od kojih su najznačajnije: pivska Župa, Mataruge, Bukovica, Stari Vlah, Azbukovica, Rađevina, Jadar, Pocerina, Birač, Mačva i Semberija. Nizvodno od Loznice počinje velika plavna oblast koja često menja tok Drine pa I samo njeno ušće u reku Savu.

Sliv reke Drine spada u kategoriju slivova veoma dobro ispitanih u relativno dugom vremenskom periodu. Prvo redovno praćenje nivoa vode pokrenuto je 1888. godine na tri merne stanice, a prvo hidrometrijsko merenje ispusta je obavljeno 1924. godine na hidrološkim stanicama na Drini, Tari i Rzavu. U slivu reke Drine ima oko 80 oficijalnih hidroloških stanica u okviru kojih se vrše redovna, dnevna merenja nivoa vode i periodično merenje protoka. Mnoge od ovih stanica više nisu u funkciji. Što se tiče pluviografskog režima, u okviru sliva reke Drine, režim padavina se prati na 164 kišomerne stanice, zatim temperature vazduha na 26 meteoroloških stanica, dok se drugi meteorološki parametri mere na znatno manjem broju stanica (Sl. 2.) (Prohaska i sar. 2004).

Reku Drinu karakterišu uglavnom maksimalni protoci tokom prolećnih meseci uzrokovani otapanjem snega i prolećnim kišama. Sa druge strane, tokom letnjih meseci karakterističani su minimalni protoci (avgust i septembar) i neujednačeni (u vremenu i prostoru) jesenji maksimum. U toku godine, najviše vode ima u periodima april-maj, zatim, novembar-decembar, dok je najsuvlji period avgust–septembar. Sve pritoke prate sezonski karakter reke Drine, osim reke Sutjeske, gde se primarni maksimum javlja u novembru i decembru i, sekundarno, u aprilu i

maju, kao i reke Jadar, sa ranijim maksimum u periodu februar-april, a kasnijim minimumom u septembru.



Slika 2. Sliv reke Drine sa mrežom hidroloških i meteoroloških stanica (Prohaska i sar. 2004)

Izvorišni, južni deo sliva ima veće specifične oticaje u odnosu na centralne i severne delove. U ovim delovima sliva (južni delovi) koji su razvijeni u okviru planinskih predela, sumarne godišnje padavine su veće, a takođe i koeficijent oticaja ima veće vrednosti. Pojedine delove gornjeg dela sliva karakteriše specifično oticanje veće od 15 l/s po km². U centralnom delu sliva ove reke, vrednosti specifičnog oticaja se kreću u dijapazonu 10 i 15 l/s po km^2, zatim idući ka severu vrednost ovog parametra pada ispod 10 l/s po km^2, da bi na krajnjem severu, u zoni ušća, ovaj parametar dostigao vrednost od samo 2 l/s po km^2.

U ovom radu će se razmatrati sliv reke Drine na deonici od brane u Bajinoj Bašti (i dela akumulacije neposredno uzvodno od brane) pa do ušća u reku Savu.

2.1.2. Drinsko- Limske elektrane

Javno preduzeće Elektroprivreda Srbije u svom sastavu ima Ogranak Drinsko-limske hidroelektrane, Bajina Bašta - (DLHE) od posebnog interesa za Republiku Srbiju, u čijem sastavu se nalaze sledeće hidroelektrane: HE „Bajina Bašta“; RHE „Bajina Bašta“; HE „Zvornik“; „Limske HE“ („Uvac“, „Kokin Brod“, „Bistrica“ i „Potpeć“) i HE „Elektromorava“ („Ovčar Banja“ i „Međuvršje“).

Za ovaj rad od značaja su HE “Bajina Bašta” i HE “Zvornik”

U Perućcu (Sl. 3.) se nalazi protočna HE "Bajina Bašta" koja je najveći hidroenergetski objekat na reci Drini čija betonska brana ima dimenzije 90 m (širina) odnosno 460 m (dužina). Kapacitet hidroelektrane je 420 MW električne energije, koja se proizvodi pomoću 4 turbinsko generatorska seta i predaje elektroenergetskoj mreži preko razvodnog polja 220 kV.

Prva sinhronizacija ove pribranske HE je izvršena 1966. godine sa ukupnom zapreminom akumulacije 340 10^6 m^3.

Hidroelektrana "Bajina Bašta" je reverzibilna i sastoji se od donje i gornje akumulacije. Donja akumulacija (postojeća akumulacija HE "Bajina Bašta"), dovodno-odvodni sistem, mašinska zgrada sa dva reverzibilna agregata snage po 307 MW. Gornja akumulacija i brana se nalaze na planini Tari. Obe akumulacije čine tehnološku celinu. Osnovna namena RHE "Bajina Bašta" je pokrivanje vrhova dnevnog dijagrama potrošnje i sezonskih nedostaka električne energije. U periodima povoljnih hidroloških karakteristika voda se pumpama prebacuje u gornju akumulaciju u blizini sela Zaovine. U nepovoljnim perodima voda se sistemom cevi pušta na turbinu i tako proizvodi električnu energiju koja se koristi za „peglanje" vrhova potrošnje u toku dana ili opšteg nedostatka električne energije, sezonski. Zbog navedenog RHE Bajina Bašta se definiše kao suštinski potrošač električne energije. Prva sinhronizacija ove reverzibilne HE je izvršena 1982. godine. Zapremina akumulacije je 170 10^6 m^3.

HE „Zvornik" je prva izgrađena hidroelektrana na Drini (početak izgradnje 1948. godine a puštanje u rad 1955.). Administrativno pripada teritoriji opštine Mali Zvornik (Sl. 4.), a nalazi se neposredno pored regionalne saobraćajnice koja vodi od Bajine Bašte do Beograda. Akumulaciono jezero HE „Zvornik" se prostire uzvodno od brane do Velike Reke (25 km) se karakteriše zapreminom akumulacije od ukupno 89.106 m^3, od čega je korisna zapremina 23,4 x 10^6 m^3. Brana HE „Zvornik" je betonska dimenzija 42 m (visina) X 166,5 m (dužina). Električnu energiju proizvodi putem Kaplanovih turbina koji se nalaze u vertikalnim agregatima koji ima ukupno 4. He Zvornik ima ukupnu snagu 96 MVA uz protok od 620 m^3/s. U periodu od početka rada u ovoj hidroelektrani je proizvedeno gotovo 25 x 10^9 kWh električne energije.



Slika 3. Hidroelektrana "Bajina Bašta" u Perućcu



Slika 4. Hidroelektrana "Zvornik"

2.2. EKOLOŠKI STATUS VODNIH TELA

Okvirnom direktivom o vodama, ODV, Evropske Unije (WFD 2000/60/EC) propisuju se okviri u oblasti uređenja i praćenja kvaliteta vode, sa principima održivog razvoja i integralnog upravljanja vodama, sa ciljem postizanja dobrog status svih vodnih tela na teritoriji EU u roku od 15 godina (do 2015. godine). Cilj ODV je postizanje dobrog statusa površinskih vodnih tela sa dobrim ekološkim i hemijskim statusom.

Za definisanje ekološkog statusa, neophodno je odrediti uslove i granice klasa za sve izabrane elemente biološkog kvaliteta, uz podršku fizičko-hemijskih, hemijskih i hidromorfoloških elemenata. Za procenu ekološkog statusa neophodne su informacije o elementima biološkog kvaliteta i pratećim elementima, podaci o prirodnim/referentnim uslovima, neizmenjenim ili približno neizmenjenim uslovima, a da bi se ukazalo na značaj antropogenog uticaja potrebni su i podaci o različitom stepenu njihovih promena. Neophodne informacije se mogu obezbediti detaljnim i dobro pripremljenim planom monitoringa.

U Aneksu V (ODV) su biološki parametri za klasifikaciju ekološkog statusa reka:

- sastav i bogatstvo vodene flore,
- sastav i bogatstvo faune vodenih makrobeskičmenjaka,
- bogatstvo i starost faune riba.

Opšti fizičko-hemijski elementi koji prate biološke elemente su:

- temperatura,
- kiseonični režim,
- salinitet,
- koncentracija nutrijenata i

- pH vrednost.

Treća grupa parametara ekološkog statusa obuhvata hidromorfološke elemente, parametre koji odražavaju nivo fizičke degradacije vodenog ekosistema, uključujući korito, obale i obodni pojas i plavnu zonu.

Na osnovu biološkog, fizičko-hemijskog i monitoringa hidromorfološkog stanja, površinske vode je moguće okarakterisati nekim od ekoloških statusa/potencijala: odličan (I), dobar (II), umeren (III), slab (IV) i loš (V) status/potencijal (Sl. Glasnik RS, 74/ 2011).

Posebnim Pravilnikom se određuju parametri koji određuju ekološki i hemijski status voda, kako površinskih tako i podzemnih (Sl. Glasnik RS, 74/ 2011) a odnose se na lotičke i limničke akvatične ekositeme, uključujući i ekološki potencijal veštačkih vodnih tela. Ekološki potencijal se na osnovu vrednosti izmerenih parametara definiše u tri klase: „maksimalan (I)“, „dobar (II)“ i „umeren (III)“.

Prema stepenu kontaminacije vode se kategotišu u 4 klase, a shodno odgovarajućim Uredbama. (Sl. List SFRJ br. 6/78 i Sl. Glasnik SRS, br. 5/68). Ova klasifikacija voda određuje i njihovu moguću namenu.

- Vode koje pripadaju I klasi – mogu se koristiti za sve namene, uključujući vodosnabdevanje naselja;
- Vode koje pripadaju II klasi – mogu se koristiti za rekreaciju a za vodosnabdevanje naselja samo posle primene standardnih metoda prečišćavanja, ova klasa voda je podeljena na dve potklase (IIa i IIb).
- Vode koje pripadaju III klasi –mogu se koristiti za navodnjavanje i kao procesne vode ali ne u prehrambenoj industriji;

- Vode koje pripadaju IV klasi – čije je korišćenje ograničeno prečišćavanjem pomoću naprednih metoda;
- VK stanje – vode koje se ne smeju koristiti za bilo kakve svrhe.

Vode I klase su pogodne za gajenje plemenitih ribljih vrsta kao što su vrste roda pastrmki, a vode II klase se mogu koristiti za gajenje vrsta riba koje imaju manje ekološke zahteve kao što su vrste iz roda šarana.

Navedenim Uredbama definisani su parametri kvaliteta kao i njihove granične vrednosti. Upoređivanjem vrednosti parametara dobijenih monitoringom sa graničnim vrednostima istih se određuje klasa voda. Uredbom (Sl. Glasnik SRS, br. 5/68) se određuje i da stepen prečišćavanja otpadnih voda mora biti takav da se ne umanji klasa vodoprijemnika posle ispuštanja otpadnih voda. Prema Pravilniku o utvrđivanju vodnih tela površinskih i podzemnih voda (Sl. Glasnik RS, 96/2010) Drina je kategorisana kao značajno izmenjeno vodno telo. Prema Pravilniku o parametrima ekološkog statusa voda (Sl. Glasnik RS, 74/2011) Drina je svrstana u tip 2 - velike reke, dominacija srednjeg nanosa, izuzev reka područja Panonske nizije. Za vodotoke ove kategorije ekološki potencijal se određuje kao maksimalan, dobar i umeren. Predviđen je i slučaj da su izmerene vrednosti nekog od ispitivanih parametara na granici između nekih od klasa određenih ovim pravilnikom, tada se ovakva površinska voda se svrstava u lošiju klasu. Navedenim pravilnikom je takođe predviđen i sličaj, kao što se najčešće i sreće na terenu, da jedan ili nekoliko izmerenih vrednosti parametara prekoračuje vrednost propisanu za «dobar ekološki status» ili «ekološki potencijal» pa u tom slučaju je površinska voda sa najviše «umerenim» statusom.

U zakonodavstvu Republike Srbije, uredbama (Sl. Glasnik RS, 24/2014, Sl. Glasnik RS, 50/2012) se hemijski staus površinskih voda klasifikuje u odnosu na granične vrednosti zagađujućih supstanci.

Ekološki potencijal vodnih tela površinskih voda , ocenjen prema navedenim uredbama prikazuje se bojama, tabelarno i/ili grafički (PRILOG III, Tab. p1.)

Osnov za određivanje hemijskog statusa vodnih tela je rezultat monitoringa. Hemijski status vodnih tela klasifikuje se kao: "nije postignut dobar status", kada je prekoračena granična vrednost propisana uredbama za jedan ili više ispitivanih parametara (Sl. Glasnik RS, 24/2014, Sl. Glasnik RS, 50/2012), pri čemu je obavezno ispitati i naznačiti nivo pouzdanosti merenja (Sl. Glasnik RS, 74/2011). Na ovako propisan način dobijena ocena se prikazuje za "dobar status" plavom bojom odnosno za "nije postignut dobar status" crvenom bojom (PRILOG III, Tab. p2).

Prilikom ocene statusa i trenda kvaliteta sedimenta koriste se granične vrednosti za metale (GV), korigovane u odnosu na izmeren sadržaj organskih materija i gline u datom sedimentu, u skladu sa odgovarajućom uredbom (Sl. Glasnik RS 50/2012). Ovim se određuju standardi za ocenu načina postupanja sa sedimentom nakon izmzljivanja a u skladu sa njegovim utvrđenim kvalitetom. Pri tome su definisane i "ciljne vrednosti" (CV), "remedijacione vrednosti" (RV) kao i "vrednosti limita" (VL) i "verifikacioni nivo" (VN). (PRILOG III, Tab. p3.).

Ciljna vrednost predstavlja dugoročni cilj kvaliteta sedimenta, a određena je koncentracijom zagađujuće supstance u sedimentu za koju se smatra, na osnovu naučnih podataka, da nema negativnih uticaja na akvatični ekosistem.

Maksimalno dozvoljena koncentracija predstavlja graničnu vrednost za koncentraciju polutanta u sedimentu iznad koje su negativni uticaji na okolinu verovatni. Ukoliko je prekoračena

maksimalno dozvoljena koncentracija za bar jednu zagađujuću supstancu u određenoj zapremini sedimenta (odnosi se na merno mesto), nephodno je inicirati istraživački monitoring u okviru koga bi se utvrdilo da li postoje negativni ekotoksični efekti na rezidencijalnu biotu.

Remedijaciona vrednost predstavlja graničnu vrednost iznad koje postoji neprihvatljiv rizik za vodenu sredinu ili rizik prenošenja polutanata vodenim putem. Ukoliko je prekoračena remedijaciona vrednost za bar jednu zagađujuću supstancu u zapremini od 25 m^3 na datom mernom profilu, neophodno je razmotriti opcije dislokacije i/ili remedijacije sedimenta.

Verifikacioni nivo je definisan kao vrsta GV polutanta u sedimentu a pretstavlj osnovu za utvrđivanje postupka remedijacije sedimenta, pri čemu je CV < VN < RV. U istom rasponu i sa istim ciljem se utvrđuje i VL, sa tom razlikom da je VN ≥ VL.

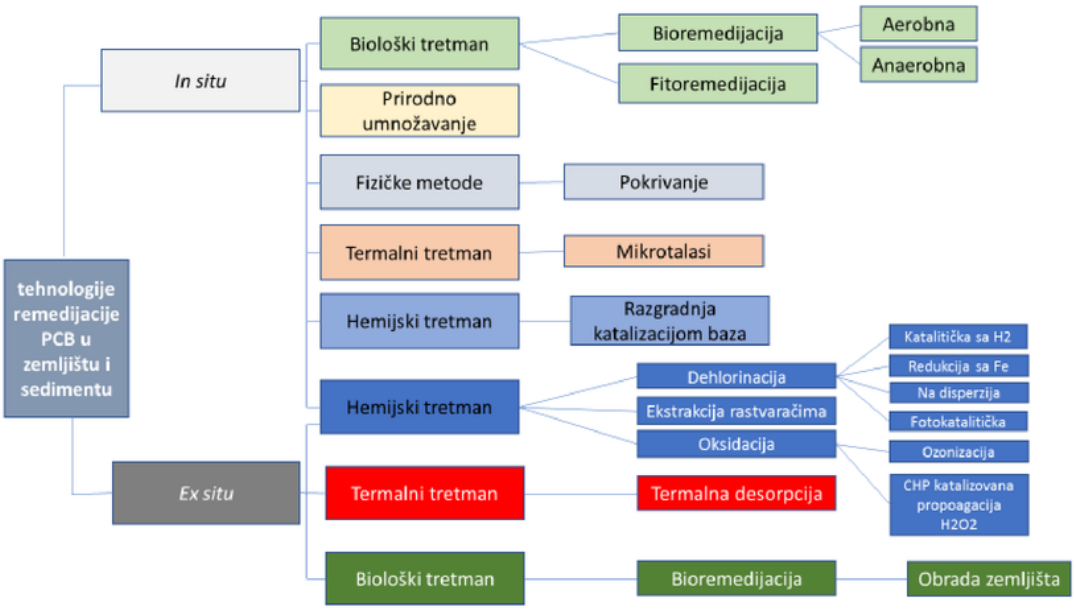
Ciljne i interventne vrednosti za TM i organske polutante odnose se na standardni sediment koji sadrži 10% organske materije i 25% gline (mineralne frakcije čestica veličine <2 μm). Prilikom ocene kvaliteta sedimenta, izmerene vrednosti se koriguju prema izmerenom sadržaju ovih materija na standardizovan način. Korigovane vrednosti se upoređuju sa graničnim vrednostima zagađujućih materija u sedimentu.

Sedimenti treće klase se smatraju zagađenim pa je zabranjeno odlaganje ovakvog sedimenta, odnosno dozvoljeno je uz primenu mera zaštite medija životne sredine. Osnovna mera je primena fizičkih metoda sa ciljem sprečavanja translokacije polutanata iz zagađenog sedimenta. Sedimenti klase 4 su izuzetno zagađeni, pa se moraju i zanjih predvideti određene, naprednije, remedijacione metode.

2.3. FIZIČKE, HEMIJSKE I BIOLOŠKE METODE U EKOREMEDIJACIJI

Ovde će biti dat kratak prikaz literaturnih podataka u vezi tehnika i metoda koje se u svetu koriste u procesu remedijacije zemljišta i površinskih voda.

Metode su svrstane prema medijumu životne sredine na metode remedijacije zemljišta i metode remedijacije površinskih voda. Sledeća podela je na biološke, hemijske i fizičke metode a u svakoj od pomenutih kategorija metode su poređane po abecednom redu. Razmatra se 18 metoda remedijacije zemljišta i 7 metoda remedijacije voda. Većina je svrstana u fizičke metode sa samo jednim procesom (Hamby 1996) (Sl. 5.).



Slika 5. Klasifikacija tehnologija za remedijaciju zemljišta i sedimenta kontaminiranih PCB. (Hamby 1996)

Hemijske metode uključuju aplikaciju agenasa koji promovišu ekstrakciju zagađujuće supstance dok fizički tretmani uključuju uklanjanje zagađujuće materije fizičkim putem. Relativni benefit

različitih remedijacionih metoda zavisi od aplikabilnosti na velikim površinama i cene izvođenja. Na primer, tehnika vitrifikacije *in situ* može biti primenjena samo na ograničenim područjima zbog visoke cene. Većina od navedenih metoda su još u razvojnoj fazi i primenjene su samo u laboratorijskim i/ili pilot postrojenjima malih kapaciteta. Neke su uspešno primenjene na većim površinama i potencirane su kao primeri dobre prakse. Za neke nema informacija o post-tretmanu ili ekološkim specifičnostima lokacije.

2.3.1. Remedijacija zemljišta

2.3.1.1. Biološke metode

1) **Biodegradacija** /Biodegradation/ označava degradaciju organskih zagađenja pomoću živih organizama do CO_2 i vode ili metana. Neorganska zagađenja ne podležu biodegradaciji već biotransformaciji u komponente koje su manje toksične ili manje mobilne od prvobitne forme. U većini slučajeva biodegradacija uključuje određene vrste mikroorganizama koji prepoznaju i napadaju specifična mesta na molekulu zagađujuće materije. Brza i kompletna biodegradacija zhateva ne samo specifične uslove sredine već i podešavanje uslova da bi zadovoljili potrebe mikroorganizama (Dražić 2010). Ispitivana je mobilnost nekoliko metala u zemljištu i uticaj mikroorganizama na nju i pokazano je da neki mikroorganizmi mogu da zadržavaju ili otpuštaju metale u zemljištu i da je cistein efektivni agens u ovom procesu.

Za uklanjanje ugljovodonika iz zemljišta komercijalno se koriste jeftine podzemne tehnike bioremedijacije koje uključuju bioremedijaciju i volatilazaciju. Potencijal bioremedijacije zavisi od pristupačnosti odgovarajućih mikroorganizama. Kada je broj nativnih mikroorganizama mali koristi se dodavanje preparata kultura odgovarajućih mikroorganizama. Uslovi sredine (pH,

temperatura, kiseonik, nutrienti i vlažnost takođe značajno utiču na efikasnost procesa. Emisije u atmosferu iz biopila se tretiraju biofilterima u kojima se polutanti razlažu i mineralizuju pomoću heterotrofnih aerobnih mikroorganizama. Tipična biopila se sastoji od vodonepropusne podloge i sistema za navodnjavanje rasprskivačima koji obezbeđuju vlažnost i nutrijente (po potrebi) kao i drenažnog sistema povezanog sa rezervoarem za prikupljanje procedne vode. Pumpa za vazduh obezbeđuje protok vazduha kroz biopilu, dok vodonepropusni prekrivač štiti sistem od padavina i održava vlažnost (Lei et al. 1994). Prednosti ove metode su mala površina zauzetog zemljišta, nisko ulaganje i niski operativni troškovi kao i dobra kontrola priocesa. Cena tretmana zavisi količine zemljišta i dužine tretmana a tipična je oko \$50 - \$90/m^3 zemljišta. Efikasnost procesa je preko 80% za mineralna ulja i preko 95% za monociklične aromatične ugljovodonike. Brzina degradacije može biti i do 44 kg/m^3 dnevno. Metoda ne generiše opasan otpad i ne pretstavlja rizik za životnu sredinu.

2.3.1.2. Hemijske metode

2) **Remedijacije koje koriste helatore aktinida** /Remediation Using Actinide Chelator/ zasnivaju se na organskim helatorima koji selektivno vezuju aktinidne jone (oksoligandi kao što su hydroxamat, iminodiacetat i hydroxypyridinoni) iz zemljišta i otpadnih voda (Gopalan et al. 1994) kisele reakcije. U razvoju je metoda za plutonijum a potvrđeni su uticaji rastvorljivosti, stabilnosti i pH vrednosti što ograničava primenu.

3) **Hemijska imobilizacija** /Chemical Immobilization/ se zasniva na zalivanju zemljišta rastvorenim hemikalijama do zasićenja (Czupyrna et al. 1989), pokazuje nepovoljne karakteristike za životnu sredinu i visoku cenu hemikalija. Nerastvorljive hemikalije mogu se

uvesti u zemlju rasprskavanjem, punjenjem, injektiranjem, transportom suspenzije, ili stavlja u inkapsulacionu barijeru niske propustljivosti. Može se koristiti kao sredstvo za tretiranje zemljišta sa povišenim sadržajem metala ukoliko zemljište ima visok sadržaj vlage i da su metali blizu površine, najbolje na zemljištima sa visokim sadržajem organske materije. Hemikalije se apliciraju oranjem. Pokazano je da hemijski tretman smanjuje pokretljivost metala 82-95%. Cena *in situ* imobilizacije iznosi $13.9/t do $33.8/t a odnosi se na hemikalije, pripremu zemljišta i aplikaciju hemijskih aditiva.

4) **Kritična ekstrakcija fluida** /Critical Fluid Extraction/ Organska jedinjenja, prvenstveno PCB i PAH, najviše su podložni ekstrakcijom iz zemljišta i mulja tehnikom ekstrakcije tečnim gasom, obično ugljen dioksid, propan, butan, a ponekad alkohol. Visok pritisak i umerene temperature (kritični pritisak i temperatura) se koriste za kompresiju gasa do tečnog stanja. Proces ekstrakcije počinje dodavanjem opasnog otpada u posudu koja sadrži kritični fluid, polutanti se kreću na vrh suda odakle se prepumpavaju u drugi sud. Tu se temperatura i pritisak snižavaju što dovodi do isparavanja polutanata iz fluida, zatim se koncentrisani polutanti uklanjaju a fluid se reciklira. Pokazana je efikasnost 90-98% za PCB iz sedimenta (Bellandi 1995) a do 99% u laboratorijskim uslovima. Cena ovakvog tretmana je relativno visoka $100,000 - $1,000,000 (1990) zbog neophodnosti visokih pritisaka.

5) **Oksidacija** /Oxidation/ je deo različitih metoda remedijacije i sposobna je da eliminiše kako zapreminu tako i toksičnost. Vrši se dodavanjem aktivnog kiseonika; fotolizom i reduktivnom dehlorinacijom (Bellandi 1995).

Hlor dioksid i vodonik peroksid se lako penetriraju u različite medijume životne sredine uključujući vodu, otpadne vode, procedne vode, vazduh i zemljište. Hlor dioksid i vodonik peroksid se često koriste kao dezinficijensi, beljenje. Mogu oksidovati opasne materijale koji su

ili organska ili neorganska jedinjenja. Ponekad kada ovi oksidanti ne mogu da potpuno degradiraju polutante, transformišu zagađivače u sastojke koji su podložni drugim vidovima degradacije, kao što je biološki procesi. Vodonik peroksid se koristi kao agens hemijske oksidacije i kao izvor kiseonika. Efikasno i lako oksidiše organska i ciklična jedinjenja. Ekonomičan je, lako dostupan po niskoj ceni u obliku spremnom za primenu, ne ostavlja štetne nusproizvode. Dokumentovane su i spore i nepotpune reakcije sa zasićenim alkanima. Zato što je izvor kiseonika, vodonik peroksid se može koristiti u podpovršinskoj bioremedijaciji.

Mnoga organska jedinjenja apsorbuju svetlosnu energiju na vidljivim ili ultraljubičastim talasnim dužinama koja omogućava kidanje hemijskih veza. Pokazano je da se degradira PCB, dioksini, PAH, i nekoliko aromatičnih sastojaka benzina, uključujući benzen, toluen, etilbenzol i ksilen. Ova tehnika ima prednost u minimalnim reziduima. Iako je primena fotolitičkih tretmana izvan laboratorije ograničena, rezultati iz nekoliko pilot studija su obećavajući. Da bi metoda bila uspešna, veliki procenat površine medijuma mora biti izložen svetlosti. Ultraljubičasto svetlo se ponekad koristi da intenzivira proces oksidacije u prisustvu glavnih oksidacionim hemikalija poput ozona i hidrogen peroksida.

Reduktivna dechlorinacija se koristi za zemljište kontaminirano PCB i drugim organskim polutantima. Ovaj metoda podrazumeva mešanje zagađene vode, zemljišta, ili mulja sa alkalno-metal hidroksid reagensom u reaktoru. Ova metoda menja strukturu polutanta tako da on prelazi u neopasnu supstancu. Tretman uklanja hlor iz molekula hlorovodonika. Ovi molekuli su zatim podložni uništenju putem biološkog tretmana i drugih tehnologija. Tipični troškovi za ovu tehniku su u rasponu od $ 130 do $ 390 / m^3 za zemljište.

6) **In situ katalizovana remedijacija peroksidom** /In-Situ Catalyzed Peroxide Remediation/ . *In-situ* hemijske oksidacije imaju potencijal za brzu remedijaciju zemljišta kontaminiranih

toksičnim i organskim otpadom. Koristi se injektor za uvođenje vodonik peroksida ispod nivoa zagađenja, a peroksi radikal kretanjem nagore vrši njegovu oksidaciju. Studije su pokazale da je koncentracija nitrobenzena smanjena za više od 50% tokom perioda od 15 dana na dubinama od 15 do 66 centimetara.

7) **Fotodegradacija sa povratkom Uraniuma** /Photodegradation with Uranium Recovery/. Dodge and Francis (1994) su razvili metodu oporavka zemljišta koje sadrži toksične metale uključujući uranijum korišćenjem limunske kiseline i vidljive svetlosti za fotodegradaciju. Ranije studije pokazale da je uranil jon fotohemijski aktivan u prisustvu organskih kiselina, kao i da pri izlaganju vidljivoj svetlosti, a uranil citrat kompleks prolazi kroz fotohemijske reakcije oksidacije/redukcije.

2.3.1.3. Fizičke metode

8) **Pokrivanje** /Capping/. Pokrivač obezbeđuje stabilizaciju smanjenjem količine vode u rovu ili basenu, a obično se sastoji od površinskog sloja koji podržava vegetaciju, drenažnog sloja, sloja niske propustljivosti i ventilacionog sloja. Površinski sloj je uglavnom zemljište sa odgovarajućim organskim materijama da održava vegetaciju. Ovaj sloj zahteva dobru drenažu da podrži vegetaciju i njen rast. Vegetaciju stabilizuje površinski sloj. Da bi se sprečio štetni uticaj na nižim slojevima, vegetacija mora biti tipa koji ima plitke korene i da je prilagođena lokalnoj klimi. Razlaganje organskih materija generiše metan pa postrojenje mora biti odzračeno na kontrolisan način (Bellandi 1995).

9) **Cementiranje otpada** /Cementitious Waste Forms/. Sumporni polimer cement je korišćen za stabilizaciju visokih opterećenja od isparljivih toksičnih metala. Cement je kompozitni materijal

sa tačkom topljenja 110-120 °C, koji odoleva napadu većine kiselina i soli, ima veoma dug vek trajanja i njegova snaga se značajno povećava u prvih nekoliko godina nakon formiranja. Cementni beton je jak, sa prosečnom čvrstoćom od 4.000 psi, mada Regulatorna komisija za nuklearni otpad zahteva samo 500 PSI. Prednosti cementa su (Darnell 1994): (1) ima veći odnos otpad/agent nego beton; (2) ima sposobnost da bude ponovo upotrebljen; (3) manje je propustljiv od betona; (4) u svom konačnom obliku ne sadrži vodu; i (5) može da bude obrađena u relativno niskim temperaturama. Koristi se za imobilizaciju radioaktivnog otpada.

10) **Elektrokinetička remedijacija** /Electrokinetic Remediation/. Koristi se za *in situ* remedijaciju anjonskih zagađivača (Lindgren et al. 1994). U elektrokinetičkoj remedijaciji, elektrode se ugrađuju u zemljište i kroz njih se propušta jednosmerna struja. Joni i naelektrisane čestice u vodi zemljišta migriraju ka jednoj od elektroda; većina teži da migrira ka katodi. Kada polutanti stignu na elektrode mogu biti uklonjeni iz zemljišta postupcima kao što je adsorpcija na elektrodi, taloženje na elektrodi, pumpanje vode blizu elektrode ili primena kompleksa. Ovom metodom se postiže protok polutanata kroz fine strukture zemljišta koji se ne može postići drugim metodama. Proces se pojavljuje kao jeftina alternativa drugim metodama (oko $ 1/t kontaminiranog medija), naročito kada su u pitanju gline.

11) **Metoda Spaljivanja** /Incineration Technologies/. Ova metoda uključuje nekoliko vrsta incineratora: rotacione peći, infracrvene peći, ubrizgavanje tečnosti, plazma luk, fluidizovani sloj, višestruka ognjišta. Opasni otpad se sagoreva u insineratorima na temperaturama koje se kreću od 870 do 1.200 ° C, što dovodi do kidanja hemijskih veza organskih jedinjenja i drugih supstanci, ali se radioaktivni zagađivači ne mogu eliminisati.. Kapital i troškovi za rotacione peći su obično veći nego kod drugih vrsta peći za spaljivanje.

U infracrvenim pećima, energija u infracrvenom regionu se koristi za zagrevanje otpada do određene temperature na kojoj se javlja desorpcija i / ili spaljivanje organskih polutanata. Gasovi koji su iscrpljeni iz peći se sagorevaju u sekundarnoj komori za sagorevanje. Kada su pravilno dizajnirane i vođene, infracrvene transportne peći procesuiraju 91 mg/dan i rade za $ 165 do 555 mg/g (u 1990 dolara) (Bellandi 1995).

Spaljivanje ubrizgavanjem tečnosti je najčešći tip koji se koristi za spaljivanje opasnog otpada u tečnom obliku. Ovom metodom, tečni, gasoviti ili gusti rastvor otpada se ubrizgava u komoru za sagorevanje preko mlaznice ili gorionika. Mlaznica meša tečnost sa vazduhom, raspršuje ga u suspenziju kapljica koje brzo isparavaju.

Ugljenični luk se koristi prvenstveno za sečenje i zavarivanje i u insineratorima. Plazma je delimično jonizovani gas sa dovoljnom energijom jona i elektrona da proizvede visoko reaktivno okruženje. Kada jonizovana vrsta u plazmi se rekombinuje sa oduzetim elektron, oslobađa se značajna količina energije koja se koristi za razgradnju polutanata. Plazma peć efikasno uništava organske materije u čvrstom, tečnom ili gasovitom stanju. Međutim, efikasna je samo uz visoke troškove kapitala i operativne troškove, a visokim radnim temperaturama može smanjiti životni vek građevinskog materijala. Uopšteno, plazma arc tehnologija je još uvek u eksperimentalnoj fazi (Bellandi 1995).

Metoda fluidizovanog sloja promoviše turbulencije i olakšava mešanje otpada sa toplim vazduhom. Fluidni incinerator ima vertikalni vatrostalno-obložen reaktor koji sadrži plitki bazen od inertnog zrnastog materijala. Otpad se ubrizgava radijalno u zagrejan medij, i sagorevanje se odvija u sloju jer se toplota prenosi iz medija na otpad. Ova metoda nudi visoku efikasnost sagorevanja; minimalno održavanje; svestran postupak pogodan za čvrste materijale, tečnosti i

gasove; niske zahteve vazduha što rezultira smanjenjem troškova za kontrolu emisije u vazduh. Troškovi energije su posebno visoki (Bellandi 1988).

Spalionica sa višestrukim ognjištem se koristi više od 60 godina za spaljivanje kanalizacionog mulja. Istraživanja su sprovedena da bi se odredila primenljivost za spaljivanje opasnog otpada. Ova tehnologija se sastoji od horizontalnih ognjišta obloženih vatrostalnim materijalima raspoređenim u vertikalnu strukturu. Tečni i gasoviti otpad ubrizgavaju se u vrhu glavne komore. Otpadni materijal ulazi u gornje ognjište, te je zagrevana do temperature sagorevanja pomoću nekoliko gorionika za paljenje. Ova metoda takođe ima visoke operativne troškove, jer su pokretni delovi u komori za sagorevanje skupi za održavanje (Bellandi 1995).

12) ***In situ* zalivanje** /In-Situ Grouting/. Na duži rok, nastalju depresije u telu deponija stvarajući oblasti sklone prodoru vode. Metod *In situ* zalivanje plitkih deponija se koriti da efikasno kontroliše priliv površinskih voda, čime se smanjuje ispiranje otpada. Injektiranje materije da popune praznine, može se obaviti hemijskim fugama, u obliku rastvora ili veštačkih fuga koje su u obliku čestica. Hemijske mase, kao što je natrijum silikat ili poliakrilamid, uvode se kao tečnosti i formiraju stabilne gelove nakon injekcije. Imaju visok stepen penetracije i mogu popuniti depresiju kao i voda. Cisterne sa masom, koja je zasnovana na cementu ili letećem pepelu, sastoje se od tečne suspenzije čestica koje očvrsnu u čvrste mase posle injekcije. Hemijski mase su generalno mnogo skuplje i, za razliku od cementa, njihova dugoročna stabilnost je nepoznata.

13) ***In situ* Vitrifikacija, ostakljivanje** /In-Situ Vitrification/. *In situ* Vitrifikacija je proces topljenja kontaminiranog zemljišta, zakopanog otpada ili mulja kako bi se materijal učinio neopasan. Metoda Vitrifikacije je zasnovana na konceptu zagrevanja zemljišta električnom energijom do visokih temperatura (1.600 do 2.000 °C). Visoka temperatura uništava organske

polutante putem pirolize. Aplikacije uključuju topljenje zemljišta, procesnog mulja, mlinske jalovine, sedimenata, procesne hemikalije, i druge neorganske materije se takođe mogu efikasno remedirati. In-situ Vitrifikacija pokazuje sledeće mogućnosti: (1) proces remedijacije obezbeđuje imobilizaciju organskih polutanata, teških metala i radioaktivnih materijala istovremeno; (2) proces smanjuje toksičnost, mobilnost i zapreminu otpadnog materijala; (3) zaostali proizvod relativno je bezopasan; i (4) tehnologija se može primeniti na vodu, razne ostatke i različite vrste zemljišta. Ostakljeni proizvod poseduje superiorne karakteristike i trajnost ali je metoda veoma skupa za primenu.

14) **Pranje zemljišta** /Soil Washing/ podrazumeva ispiranje zemljišta sa ciljem redukcije zapremine. Rani procesi su obuhvatali ekstrakciju pomoću vodenih rastvora i ignorisali fizičko odvajanje zagađenog zemljišta. Priznanje praktične vrednosti razdvajanja zemljišta, tokom sredine 1980, je unapredilo uslove za obnavljanje životne sredine u državama u kojima se primenjuje. Proces ispiranja zemljišta nije univerzalan i varira u izboru opreme, redosleda faza procesa, i hemijskih agenasa/aditiva. Prva faza procesa otklanja grubu frakciju zemljišta (poznato kao fizičko pranje) i zatim počinje višestepeni proces ekstrakcije nečistoće finih (2 mm) frakcija. Sledi više koraka u procesu za uklanjanje kontaminirane fine frakcije. Poznavanje distribucije zagađivača između različitih veličina frakcija čestica je ključ za predviđanje efektivnosti procesa redukcije zapremine. Kapitalna cena za tipičnu brzinu tretmana od 18 t/h iznosi \$3 - 6 · 10^6. Operativna cena iznosi oko \$80 - 170/t (1988 dolari), bez cene odlaganja mulja i vode za pranje. Cena po jedinici mere se smanjuje sa povećanjem količine tretiranog zemljišta.

Ispiranje zemljišta uz primenu surfaktanta može se primeniti *in situ* i *ex situ* (na iskopano zemljište) (Wilson i Clarke 1994). Za razliku od rastvarača koji rastvaraju nečistoće i prevode

polutante u rastvor, površinski aktivne materije su jedinjenja koja u rastvoru, smanjuju površinski napon između tečnosti ili između tečnosti i čvrstih čestica. Surfaktanti se dodaju u vodu koja se koristi za ispiranje tla. Metoda najbolje radi na peščanim zemljištima; njena efikasnost smanjuje se sa smanjenjem veličina čestica zemlje.

15) **Metoda sortiranja** /Sorting Methods/. Primenjena na Johnston Atoll (Bramlitt 1990), radiološki kontaminirana zemljišta se razvrstavaju na čiste ili kontaminirane sastojke, prema unapred utvrđenim nivoima zračenja. Sortiranje odvija na pokretnoj traci koja putuje ispod detektora zračenja; kontaminirana zemlja se preusmerava u jedinicu pakovanja i čista zemlja se ponovo koristiti na Atollu bez ograničenja. Potencijalno kontaminirana zemlja se obrađuje pri brzini od 750 m^3 / nedeljno sa smanjenjem zapremine između 95 i 99 %.

16) **Metoda stabilizacije /solidifikacije** /Stabilization/Solidification/. Koristi se za tretman opasnog otpada, pri čemu njegova fizička priroda nije nužno promenjena. Solidifikacija se odnosi na vezivanje ili inkapsulaciji otpada u strukturu visokog integriteta. Migracija je ograničen prvenstveno izolacijom otpada unutar nepropusne kapsule. Uopšteno, *in situ* stabilizacija / očvršćavanje sistemi su jeftiniji nego otklanjanje otpada za remedijaciju (Conner 1994).

17) **Metoda termalne desorpcije** /Thermal Desorption/ je proces koji koristi visoke temperature (ipak obično ispod 400 °C) za izdvajanje organskih polutanata iz tla isparavanjem. Postupak se obavlja u odsustvu kiseonika i koristi temperature znatno manje nego kod sagorevanja. Ova metoda nudi nekoliko prednosti nad spaljivanjem uključujući smanjenu količinu proizvedenih gasova, čime smanjuje veličinu sistema za uklanjanje gasa. Studije pokazuju da su minimalni uslovi za desorpciju su temperatura od 300°C i vreme zadržavanja od 30 minuta. Ovi uslovi će rezultirati uklanjanjem 99% ili više sadržanih polinukelarnih

aromatičnih ugljovodonika (PAH) i isparljivih jedinjenja (Ayen et al. 1994). Dobro dizajnirani sistemi mogu ponuditi efikasnu i ekonomičnu remedijacionu alternativu za prečišćavanje velike količine kontaminiranog materijala. Pored toga, kontaminirana lokacija i kontaminirani medijum može se reciklirati ili ponovo upotrebiti. Za većinu aplikacija, većina troškova implementacije se odnosi na kontrolu zagađenja vazduha.

18) **Metoda uklanjanja parom** /Vapor Stripping/ je primenjiva za uklanjanje isparljivih i poluisparljivih organskih jedinjenja iz vadozne zone. Tehnologija podrazumeva dobro pozicioniranje kroz kontaminirani region i korišćenje vakuuma tako da vazduh prolazi nadole kroz zemlju i izlazi nagore putem bunara. Vazduh ekstrahovan iz bunara se usmerava kroz postrojenje za uklanjanje viška vode, a zatim kroz filtere da se uklone isparljivi organski polutanti, nakon čega se prazni u atmosferu. Negativni uticaj ove tehnike na životnu sredinu su mali, a troškovi su mnogo manji nego kod drugih tehnologija (Wilson i Clarke 1994). Ova metoda se može koristiti zajedno sa drugim tehnologijama sanacije tla uključujući biorazgradnju, ispiranje zemljišta, prskanje vazduha i korišćenje podzemnih pumpi. Ona su takođe relativno jednostavna za instalaciju i koristi off-the-shelf opremu. Vremena čišćenja su prilično kratka, a opasni materijal je uklonjen iz zemlje i uništen. Matematičko modeliranje se koristi za određivanje izvodljivosti, procenu troškova i dizajniranje puta, i igra glavnu ulogu u dizajnu pilot studija i sanacije objekta pune skale. Najisplativiji sistem koristi regenerativnu oksidaciju i košta oko $ 200.000.

2.3.2. Remedijacija voda

2.3.2.1. Biološke metode

1) **Biodegradacija** se definiše kao razgradnja organskih jedinjenja u živim organizmima koja rezultira formiranjem ugljen dioksida i vode ili metana. Drugi način definisanja biodegradaciju je nestanak ekološki nepoželjnih osobina supstance. Biodegradacija se razlikuje od biotransformacije, konverzije organskog jedinjenja sa velikom molekularnom strukturom ili gubitka karakteristika bez smanjenja molekularne kompleksnosti pri čemu se menja toksičnost, forma i mobilnost. Biodegradacija je uzrokovana mikroorganizmima. To su bakterije, gljive i mikrofauna (npr. protozoe, neki crvi, i neki insekti). Mikroorganizmi degradiraju supstance koristeći specifične i nespecifične procese. Specifični procesi se odnose na ciljanju akciju mikroba na specifičnu lokaciji molekula kao ključnu u biodegradaciji. Nespecifični procesi su oni sa lancem mikrobioloških događaja u biodegradaciji otpada. Određeni su ambijentalnim uslovima kao što su pH, molekularni kiseonik i hranljivi uslovi. Na primer, naftni derivati su najbolji degradiraju u prisustvu kiseonika, u aerobnim uslovima. Visoko halogenirana jedinjenja zahtevaju anaerobne uslove da se uklone halogeni. Biodegradacija određenog otpada može zahtevati niz različitih ekoloških uslova za različite mikroorganizame koji izazivaju kaskadu reakcija.

Primarni mikroorganizmi za biorazgradnju su bakterije. Bakterije su Prokarioti; jednoćelijski organizmi koji sadrže kružni genetski materijal koji nije zatvoren nukleusnom membranom. Oni se često razlikuju po svojim izvorima energije i elektronskim akceptorima u procesu disanja. Bakterije koje koriste svetlost kao izvor energije se zovu fototrofi. Bakterije koje oksidišu organsku materiju se nazivaju heterotrofi. Druge oksidišu neorganska jedinjenja; to su lithotrofne ili hemoautotrofne bakterije. Bakterije koje koriste kiseonik kao akceptor elektron generisanih u

disanju su aerobine. Neorganske akceptore koriste anaerobne bakterije. Bakterije su sposobne da biodegradiraju širok spektar polutanata.

Gljive, grupa eukariotskih, heterotrofnih organizmima, su u stanju da izlučuju enzime koji razgrađuju neka specifična jedinjenja, na primer recalcitrana jedinjenja, i velike organske molekule koji nisu lako degradirabilni većini bakterija. Međutim, malo se zna o adaptaciji gljiva i njihovih procesa u degradaciji antropogenih supstanci. Mikrofauna može promeniti ambijent zemljišta (bioturbation), provetriti površinska zemljišta, razblažiti zagađenja kroz mešanje, modifikaciju druge komponente, i kontrolisati druge mikroorganizme kroz predatorstvo (Wilson i Clarke 1994). Poseban primer prilagođene bioremedijaciji dolazi od Jarvinen et al. (1994). Oni napominju da hlorfenol, a posebno pentahlorofenol, koji su korišćeni sa zaštitu drveta su našli svoj put do površinskih i podzemnih voda sistema. U okruženju, hlorofenoli su recalcitratirani zbog neadekvatnih uslova za biorazgradnju ili odsustva chlorophenol-degradirajućih organizama. Hlorofenol se može razgraditi pri ambijentalnim temperaturama pod aerobnim ili anaerobnim uslovima: aerobni u fluidizovanom sloju koristeći *Flavobacterium* i *Rhodococcus* bakterije koji stvaraju efluent sa koncentracijama chlorophenola blizu kvalitetu vode za piće.

Bioremedijacija površinskih i podzemnih voda je još uvek skupa metoda. Zagrevanje vode koje prethodi biološkom tretmanu dramatično povećava troškove remedijacije. Nedavne studije pokazuju da znatan potencijal postoji u biološkim sistemima, ali mnogi faktori koji utiču na brzinu degradacije su uglavnom nepoznati.

2.3.2.2. Hemijske metode

2) **Zračenje elektronskim snopom** /Electron-Beam Irradiation/. Kada se ozrači sa elektronskim zracima, voda stvara slobodne elektrone i slobodne radikale $H^{\bullet}$ i $OH^{\bullet}$. Ovi slobodni radikali reaguju sa trihloretilenom, ugljen tetrahloridom i drugim organskim zagađivačima čineći ih bezopasnim. Visoke doze elektrona su manje efikasne od niskih usled rekombinacije radikala. Ova tehnologija je pokazala efikasnost uklanjanja do 99,99% u operaciji širokih razmera (Nyer 1992). Lab studije i pilot-postrojenja su pokazale da visoke energije snopa elektrona mogu biti efikasane i ekonomičan način za uklanjanje opasnih organskih zagađivača u vodi.

3) **Ekstrakcija žive** /Mercury Extraction/. Postoje mnoge metode ekstrakcije žive iz površinskih voda. Svi su hemijski sem jednog fizičkog metoda ekstrakcije, „electroplating". Hemijski postupci uključuju (1) taloženje žive iz alkalnih rastvora merkuri sulfida u prisustvu aluminijuma, (2) taloženje merkuri oksida iz jakih rastvora, (3) ekstrakcija jona žive korišćenjem izmenjivača jona, i (4) upotreba emulzijonih tečnih membrana. U svakom od ove četiri metoda ekstrakcije žive, sanacija jednog kontaminiranog lokaliteta vodi formiranju drugog, zahteva ili deponovanje ili dodatni tretman. Mikroemulzija sadrži izmenjivač katjona koji smanjuje sadržaj žive vodenoj fazi od 500 ppm do 0.3 ppm, što predstavlja 40-puta poboljšanje u odnosu na ravnotežu ekstrakcije.

4) **Radiokoloidni tretman** /Radiocolloid Treatment/. Radiokoloid je suspenzija od sitnih radioaktivnih čestica u medijumu kao što je voda, odlikuje se koncentracijom, mineralogijom i nivoom radioaktivnosti (Nuttall and Kale 1994). Polielektrolitički rastvor je dodat u medijum koji sadrži radiokoloid. Polielektroliti su pozitivno naelektrisani polimeri koji se vezuju na negativno naelektrisane radiokoloide i tako vezani se talože tako da mogu biti fizički uklonjeni.

5) **Uklanjanje sorpcijom do organo-oksida** /Removal by Sorption to Organo-Oxides/. Organo-oksidni sintetički sorbensi obezbeđuju organsku fazu koja je u stanju da veže nejonske organske supstance (Park and P.R. Jaffe 1994). Sorpcija anjonskih surfaktanata na oksidima zavisi pH i smanjuje se kako se povećava pH. Dodatno, raspodela nejonskih organskih zagađivača na sintetičkim sorbentima linearno zavisi od koncentracije polutanta i proporcionalna je adsorbovanoj masi surfaktanta. Osetljivost organo-oksida kao sintetičkog sorbenta na pH dozvoljava postrojenja za preradu vode u kontinuiranom protoku.

2.3.2.3. Fizičke metode

6) Aeracija /Air Sparging /Air Stripping/. Kontaminirana voda se može remedirati u zemlji ili iznad tla. Tehnika sanacije vode u zemlji se zove Air Sparging a zapravo se odnosi na dve različite tehnike, aeracija u-bunaru i ubrizgavanje vazduha. U-bunaru aeracija podrazumeva konstrukciju jednog savršenog bunara (dno bunara se nalazi u vodonepropusnoj podini). Postavljaju se ekrani na vrhu i dnu bunara koji omogućavaju vodi da uđe. Kompresor pumpa vazduh na dnu bunara i koji pokreće sistem naviše stvarajući turbulentna kretanja na vrhu. Na putu nagore, voda apsorbuje kiseonik i izaziva isparavanje zagađivača. Dodatno, kiseonik promoviše rast aerobnih bakterija, tako uvećavajući Biodegradacija kontaminanata (Hinchee 1994). Air Injection je direktno ubrizgavanje vazduha u izdan. Vazduh se uzdiže kroz vadoznu zonu i na kraju dospeva u ekstrakcioni bunar gde se mogu otkloniti isparljivi zagađivači. Ova metoda je najefikasnija za VOC i amonijak. Da bi se postigla veća efikasnosti uklanjanja od 90%, koriste se stubovi upakovani sa medijumom za prenos.

7) Metoda spaljivanja /Incineration Techniques/. Postoje spalionice za tečnosti, čvrste materije i mulj. Izvodljivost spaljivanja zavisi od hemije i matriksa otpada. Organska priroda određuje zapaljivosti otpada, utiče na sadržaj pepela i sadržaj hlorida kao i na obim i karakter čvrstih ostataka i emisija u vazduh.

2.3.3. Metoda fitoremedijacije

Ova metoda, kao inegrativna može se koristiti za biološku remedijaciju zemljišta, voda i sedimenta, samostalno ili, češće, kao deo procesa koji uključuje neke od gore pomenutih metoda.

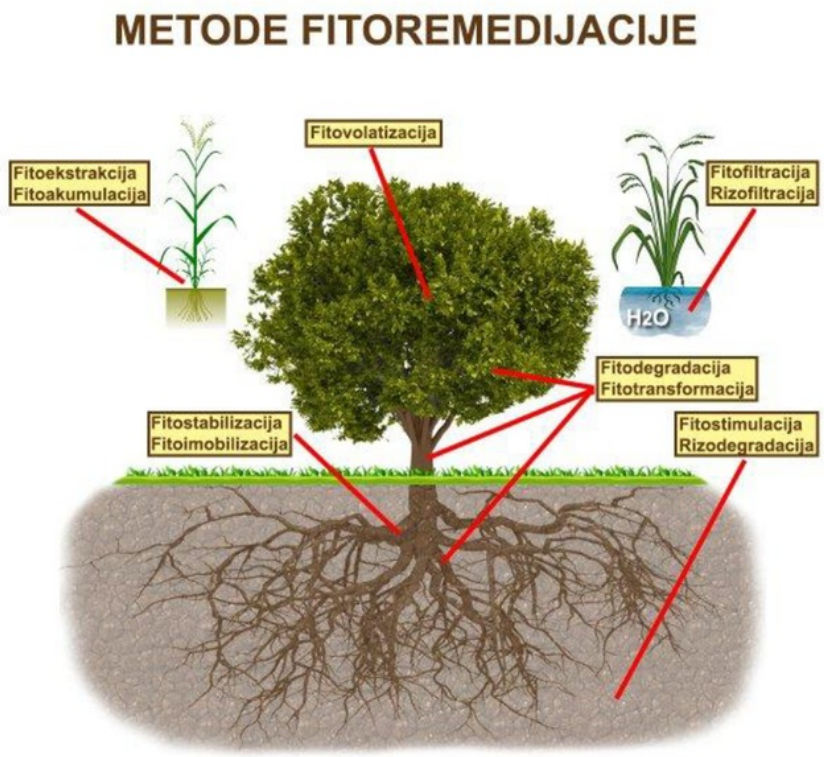
Koncept korišćenja postrojenja za čišćenje zagađenih okruženja nije nov, datira od pre oko 300 godina, kada su biljke predložene za upotrebu u remedijaciji voda zagađenjih teškim metalima. U centralnim i istočnim evropskim zemljama je oko 1,7 miliona mesta kontaminiranih teškim metalima koja zahtevaju remedijaciju. Primena ove metode je naročito značajna u zemljama u razvoju putem malih pogona za tretiranje otpadnih efluenata ili voda u blizini poljoprivrednih površina (Sharma, Pandey 2014). Fitoremedijacija se definiše kao korišćenje zelenih biljaka, bilo zeljastih ili drvenastih, za uklanjanje, zadržavanje i smanjenje toksičnosti polutanata kao što su teški metali, metaloidi, organski i radioaktivni polutanti u vodi i/ili zemljištu. Obuhvata sve procese na koje utiču biljke: ulazak, sekvestracija, degradacija, metabolizam polutanata, bilo putem biljaka, zemljišnih mikroorganizama ili njihovom interakcijom. Prednost fitoremedijacije je kapacitet jedinstvenog i selektivnog primanja polutanata u korenov sistem zajedno sa njihovom translokacijom, bioakumulacijom, skladištenjem i degradacijom. Ova metoda poseduje extenzivnu samorastuću mrežu (korenski sistem) koja omogućava transfer između podzemnog i nadzemnog ekosistema. Ovim se izbegava iskopavanje i transport zgađenih medija i smanjuje

rizik od njihovog raspršivanja u okolinu a takođe omogućava remedijaciju područja koja sadrže više polutanata.

Metoda fitoremedijacije uključuje nekoliko tehnika: fitoekstrakcija, rizofiltracija, fitovolatilizacija, fitostabilizacija, fitodegradacija i rizodegradacija (Sl. 6.).

1) **Fitoekstrakcija** /Phytoextraction, phytoaccumulation/. Odnosi se na uzimanje teških metala iz zemljišta, voda ili sedimenta putem korenovog sistema i translokaciju u nadzemne delove biljke procesima apsorpcije, koncentracije i taloženja. Otkrivene su biljne vrste koje imaju potencijal da akumuliraju teške metale oko 100 puta više od običnih biljaka i nazivaju se hiperakumulatori. Ni, Zn i Cu se najlakše uklanjaju ovom tehnikom jer je nađeno preko 400 biljnih vrsta koje ih akumuliarju. Prednosti fitoekstrakcije: niska cena, kontaminant je trajno uklonjen iz zemljišta, zapremina kontaminiranog materijala se smanjuje do 95% a u nekim slučajevima se metal može reciklirati iz biomase (EPA 2000). Da bi metoda bila izvodljiva neophodno je da korenovi biljaka mogu da ekstrahuju velike količine kontaminanta iz okoline, da ga transportuju u nadzemne delove i produkuju bujnu biomasu, biljke moraju biti tolerantne na kontaminant.

2) **Rizofiltracija** /Rhizofiltration/ koristi se za remedijaciju voda (ekstrahovanih podzemnih voda, površinskih ili otpadnih voda sa niskim sadržajem polutanata. Najčešće se koristi za Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Cr, koji primarno ostaju u korenu. Zagađena voda se aplicira na biljke koje imaju dobro razvijen koren. Kada korenovi apsorbuju polutant bivaju požnjeveni. Prednost je mogućnost korišćenja terestričnih ili akvatičnih vrsta biljaka *in situ* ili *ex situ* a nije neophodno da se polutanti transportuju iz korena, mogu se koristiti obične biljke, na primer suncokret. Ograničenja se odnose na neophodnost podešavanja pH, prethodno gajenje biljaka u rasadniku, periodična žetva i odlaganje biomase.



Slika 6. Prikaz metoda fitoremedijacije

/https://twitter.com/pollutionserbia/status/712668384601702408/

3) **Fitovolatilizacija** /Phytovolatilization/. Metoda podrazumeva da biljke uzimaju kontaminant iz zemljišta, vode ili sedimenta, transformišu ga u isparljive forme i putem transpiracije ispuštaju u atmosferu. Koristi se za živu, selen i arsen ili isparljive organske polutante, uključujuću trihloroetan. Prednost je što polutanti bivaju transformisani u manje toksične a nedostatak je što se prebacuju u atmosferu.

4) **Fitostabilizacija** /Phytostabilization, in-place inactivation/. Koristi se za remedijaciju zemljišta, sedimenta i mulja. Polutanti se absorbuju i akumuliraju u korenu, adsorbuju na koreni ili talože u zoni korena, rizosferi u procesima koji smanjuju pokretljivot polutanata i tako sprečavaju njihovu migraciju u podzemne vode i smanjuju njihovu dostupnost lancu ishrane. Metal-tolerantne vrste se koriste za obnovu vegetacije na zagđenim lokacijama gde smanjuju eroziju. Procesi koji se koriste su sorpcija, taloženje i promena valence metala Pb, As, Cd, Cr, Cu i Zn. Prednosti su promena hemijskih uslova u zemljištu i sedimentu, nema potrebe za odlaganjem biomase i upotreba u slučajevima kada je neophodna brza remedijacija radi zaštite podzemnih i nadzemnih voda (Zhang i Zheng 2009). Ograničenja: ostanak polutanta u medijumu, aplikacija đubriva u velikim količinama i neohodnost čestog monitoringa.

5) **Fitodegradacija** /Phytodegradation, phytotransformation/. Ova metoda uključuje degradaciju kompleksnih organskih molekula (hlorisani rastvori, herbicidi) do jednostavnih molekula ili njihovu inkorporaciju u biljna tkiva (Trap et al. 2005). Biljka može da sakupi kontaminante samo ako je njihova rastvorljivost i hidrofobnost u dozvoljenom opsegu. Koristi se za remedijaciju voda, zemljišta i sedimenta.

6) **Rizodegradacija** /Rhizodegradation, phytostimulation/. Odnosi se na degradaciju polutanata u zoni korena, a verovatno je vrše mikroorganizmi, pretežno bakterije koje se u rizosferi nalaze oko 100 puta više nego u okolnom medijumu jer biljke iz korena luče materije koje stimulišu rast mikroorganizama. Istraživanja pokazuju potencijal ove metode za degradaciju širokog spektra polutanata uključujući ugljovodonike nafte, policiklične aromatične ugljovodonike, hlorisane rastvarače, pesticide, polihlorovane bifenile, benzene, toluen, etilbenzen i ksilen. Smatra se za bioremedijaciju koji asistiraju biljke (Zhuang et al. 2005).

2.4. KONCEPT ERM (PREGLED LITERATURE)

Renaturalizacija (renaturalisation) kao pojam se uglavnom koristi u programima zaštite biodiverziteta u smislu očuvanja staništa u zaštićenim prostorima. Kada su u pitanju vodeni ekosistemi koji su pretrpeli značajne promene (u cilju vodosnabdevanja, zaštite od poplava, proizvodnje električne energije...) koje su dovele do gubitka, delimičnog ili potpunog, vrednosti i funkcija ekosistema, uobičajen tremin je restauracija (restoration). U ovom slučaju je moguće nekim merama vratiti ove vrednosti i funkcije u potpunosti ili bar delimično. Kada se radi o terestričnim ekosistemima (poljoprivredno zemljište, šumsko zemljište, brownfield lokacije...) degradacija je uglavnom u meri da su promene reverzibilne i da prirodna sukcesija može dovesti do spontane renaturalizacije. Ovde je problem u vremenu, jer su to u suštini obnovljivi resursi ali je trajanje njihovog obnavljanja predugo. Zbog toga se u ovim slučajevima predlažu mere koje treba da ubrzaju prirodne procese. Značajnije degradacije trestričnih ekosistema se dogadjaju u slučaju promene namene zemljišta, odnosno kada se razvijaju urbani ekosistemi, infrastuktura ili industrijske zone. U ovim slučajevima često dolazi do ireverzibilnih promena tako da bilo kakve mere da se preduzmu nije moguće ekosistem vratiti u prvobitno stanje. Tada se predlažu i preduzimaju mere koje će delimično povratiti funkcije i vrednosti narušenog ekosistema u toku njegove eksploatacije ili posle. Tada se često upotrebljava termin rekultivacija (reclamation).

Termin *ekoremedijacija* nije toliko zastupljen u literaturi. Primarno se odnosi na remedijaciju ekosistema a delimično se preklapa sa ekositemskim inženjerstvom, ekohidrologijom i hidrobiologijom u procesu održivog upravljanja ekosistemom. Zbog toga je ovde dat pregled najnovijih stavova i rezultata u oblasti ekohidrologije u funkciji održivosti, upravljanja rečnim ekosistemima, najčešćim antropogenim pritiscima na rečni sliv i dobrim praksama u

renaturalizaciji i remedijaciji vodnih tela. Zbog izuzetnog obilja pristupačne literature dat je pregled samo nekoliko izabranih članaka koji reprezentuju stavove, prvenstveno u Evropi.

2.4.1. Ekohidrologija i održivost

Ekohidrologija je značajan koncept i oruđe u upravljanju životnom sredinom (Jorgensen, 2016) i kao poddisciplina ekološkog inženjeringa od velikog značaja je prilikom upravljanja životnom sredinom. Poseban značaj je dat ekohidrologiji ukoliko se ona kombinuje sa drugim važnim ekološkim disciplinama kako bi se premostili problemi koji se javljaju pri upravljanju prirodnim resursima i životnom sredinom kako bi iskoristili svoja ekološka znanja za kvalitetniji i bolji menadžment. Očekuje se da će ekohidrologija igrati važnu ulogu u očuvanju prirodnih resursa narednih decenija naročito sa aspekta klimatskih promena i konfiskacije CO_2 i efekata staklene bašte.

Ekohidrologija podržava integrisani menažment vodenih resursa kao važan pristup pri održivom upravljanju slivom. Njegov integralni karakter je korišćen uzimajući rečni sliv kao jedinicu za sve aktivnosti planiranja, integracijom znanja iz različitih disciplina sa posebnim osvrtom na dijalog između aktera i donosioca odluka. Korišćenje GIS metoda kao i hidroinformatičkih podataka je dobra podloga za podršku analize hidrološkog ciklusa kao i povezivanje sa ekološkim i socio-ekonomskim sistemima. Takođe, analiza distribucije eksosistema u okviru sliva sa osvrtima na njihove ekološke i kulturološke vrednosti i ekološke potencijale potekle od biodiverziteta, produktivnosti, nasleđa i stepena degradacije, mora biti usklađena sa distribucijom vodnih resursa područja i hidrološkim putanjama. Sinergetska integracija informacija i znanja ovih ekohidroloških principa je već testirana na modelima i daje naučne

okvire za razumevanje hiararhije faktora koji određuju specifične abiotičke i biotičke interakcije u datom slivu. Ekohidrologija nije nauka koje se zasniva samo na radoznalosti već je interagativna disciplina koja se bazira na rešavanju problema čiji su ciljevi da harmonizuje ekosistem sa socijalnim potrebama. Stoga, ona doprinosi integrisanom menadžmentu vodenih resursa tri važna elementa: evoluciono-ekološki kontekst, mišljenje orijentisano na proces i ekosistemske procese kao alat za menadžment (Zalewski 2014).

Nove izazove i dimenzije ekohidrologije - povećanje održivog potencijala slivova razmatra Zalewski et al. (2016). Ovaj rad se bavi novim izazovima u polju ekohidrologije u savremenim uslovima. Pregledom dobrih praksi i radova daju se odgovori na određena pitanja koja nisu imala toliki značaj u prošlosti, kada akcenat nije bio na ekohidrologiji i pogotovo održivosti sliva. Takođe, mora se naglasiti da se problemi ovog polja moraju sagledavati iz više uglova, uključujući i aspekt međunarodne zajednice i značaj ekohidrologije (ekoremedijacije) za ostvarivanje ciljeva održivog razvoja.

Pored primera dobre prakse navedeni su i određeni nedostatci odnosno primenjena polja gde se značaj ekohidrologije zanemaruje. Pored uopštenog značaja ekohidrologije za zajednicu, životnu sredinu i ekologiju kao nauku daju se i primeri gde je ova naučna disciplina neophodna za uspešan i stabilan održivi razvoj. Takođe su predočene krucijalne stavke koje moraju biti ispunjene zarad napretka u predhodno pomenutim poljima; globalno društvo mora prihvatiti da čovek i priroda moraju biti zajednica kako bi održivi razvoj zaista bio efikasan, a iz razloga što su hidrološki procesi glavni pokretači u biosferi ekohidrologija mora postati glavna spojnica između ekologije i upravljanja životnom sredinom na nivou sliva kao i najvažnije oruđe za povećanje enivromentalnog potencijala biosfere i značajan okvir za stvaranje integrisane nauke o životnoj sredini. Ne sme se izostaviti ni enviromentalni potencijal rečnog sliva kao celine a i kao

pojedinačnih delova sliva koji se može održivo koristiti uprkos klimatskim promenama uz multidisciplinarni pristup.

Isti autori razmatraju ekohidrologiju kao osnovu za integrativnu nauku održivosti (Zalewski et al. 2016 a). U ovom radu prvenstveno se razmatraju uzroci i posledice udaljavanja čoveka i prirode. Ovo odvajanje je direktno ugrozilo funkcionisanje planete Zemlje i otvorilo mnoga pitanja od kojih su najvažnija vezana za život na planeti Zemlji i opstanak ljudske civilizacije. Ljudi su tokom vremena trošili resurse u prekomernim količinama, znatno iznad nosećeg kapaciteta ekosistema što ugrožava njihovo trenutno i buduće postojanje. Takođe postoji velika bojazan da socio-ekonomski sistemi, koji vremenom postaju sve efikasniji u iskorišćavanju svog polja, postanu bolje organizovani i odlučniji u trajnoj promeni demografskih uslova kao i još bitnijih uslova životne sredine. Pored svih resursa koje pruža planeta Zemlja, voda je najbitniji i ključni faktor za dobrobit čovečanstva. Takođe voda pruža osnovne ekosistemske usluge poput proizvodnje hrane. Takođe, mora se naznačiti da trenutno dolazi do konstantnih promena dinamike voda do kojih je dovela promena klimatskih uslova koja prati globalno zagrevanje. Iz ovih razloga postoji potreba za adaptivnim merama obrade, procene i upravljanja vodnim resursima kao i drugim resursima koji su povezani sa vodom i životnom sredinom.

Kao primer za neophodnost ovih mera jeste i stanje Irana, koji je decenijama upravljao sopstvenim vodenim resursima u aridnim uslovima ali u poslednje vreme ima velike izazove pri upravljanju istim. Jorgensen (2016) naznačava da je ekohidrologija (ekoremedijacija) most između ekologije i upravljanja životnom sredinom kao i da će ekohidrologija imati ulogu stvaraoca održive budućnosti. Postoji razumevanje da ima dosta prostora u ovom polju o kome nemamo dovoljno znanja koje treba usvojiti da bi se dobro razumelo funkcionisanje interakcija vode i biota kao i kako okviri koje nam ekohidrologija pruža mogu biti najefikasnije iskorišćeni

za primenu ovog znanja u održivostom razvoju. Važno je ne zaboraviti tri implementaciona principa ekohidrologije; hidrologiju, ekologiju i ekološko inženjerstvo. Ovaj rad takođe sagledava i radove drugih autora koji se bave tematikom gore navedenih problema i rešenja. Može biti izveden zajednički zaključak: odnosi eksoistema i društa postaju izuzetno kompleksni kako se čovečanstvo približava granicama nosivosti biosfere. Predlaže se razvoj strategije koja će obezbediti održivu budućnost a zasniva se na dubokom razumevanju interakcija i relacija koje smo pomeuli.

Najvažniji elementi su: vizija koja obuhvata poboljšani potencijal biosfere usklađen sa socijalnim potrebama, strategija koja podrazumeva stvaranje integrativnih nauka održivosti za poboljšanje potencijala životne sredine, taktika koja podrazumeva smanjenje resursa koji se koriste po jedinici BDP-a i uvećanje procesa reciklaže resursa, operativni nivo pod kojim se podrazumevaju promene načina života povećavanjem enviromentalne svesti društa. Svi navedeni delovi strategije moraju biti povezani širom sveta u različitim konfiguracijama u zavisnosti od potencija životne sredine, prioriteta društva i kulturnog nasleđa, u sistemski pristup. Svakako, naučni okviri moraju biti formulisani na osnovu ovih osnova integrisanog znanja različitih disciplina u Nauku o Održivosti.

2.4.2. Upravljanje rečnim ekosistemima

Stvaranje ekohidrološkog okvira za upravljanje velikim rekama obrađuje Schiemer (2016), koncipirano je u šest tačaka u kojima se govori o izazovima sa kojima se susrećemo prilikom upravljanja velikim rekama. Prva tačka govori o rehabilitovanju degradiranog rečnog pejzaža u cilju obnavljanja i poboljšavanja ekosistemskih usluga područja. Ovaj zadatak zahteva razvoj

metoda za procenu ekoloških uslova terena i ekoloških trendova, takođe, i označavanje alternativa menadžmenta kao i precizno definisanje ekoloških ciljeva. Druga tačka nam govori o potrebi i izazovu da se stvori kohirentan ekohidrološki protokol istraživanja koji bi analizirao kauzalne efekte hidrologije na geomorfičke procese kao i na ekologiju. U trećoj tački se naznačava glavni aspekt formulisanja ekoloških ciljeva pod čime se smatra da istorijske reference područja mogu ukazati na ekološke nedostatke istog. Pored toga je naznačeno da na planskom i operacionom nivou, istorijske reference područja, moraju biti zamenjene sa modelima koji procenjuju pravilne postupke prema merama menadžmenta. Četvrta tačka je posvećena programima restauracije na širem planu koji bi trebalo biti ispraćeni i bazirani sa odgovarajućim hipotezama. Ovaj postupak je krucijalan kako bi bolje analizirali situaciju i uslove na terenu i mnogo jasnije razumeli ekologiju reka i područja gde se dešavaju poplave. Peta tačka govori o tome da fokus okvira za upravljanje velikim rekama treba da bude promovisanje obimnih upravljačkih koncepta, uzimajući u obzir sve zainteresovane strane na koje bi ovaj proces uticao i osiguravanje njihovog aktivnog učešća. U poslednjoj tački se govori da međunarodni okvir treba da bude uspostavljen sa mandatom da stvori obimne renedijacione koncepte na velikoj skali i da takođe garantuje transparentno planiranje kao i procese dijaloga. Takođe, ogroman značaj i važnost se daje akcentu da se paneli eksperata sastoje iz različitih disciplina relevantnih za ovu temu kao i da oni imaju dugoročan mandat kako bi efikasnost procesa bila veća.

Zbog višegodišnjeg uticaja čoveka na rečne sisteme, Okvirna direktiva o vodama EU (WFD 2000/60/EG) i njena implementacija predstavljaju novu fazu u sistemu upravljanja rečnim slivovima u zemljama članicama EU. Zakonske obaveze da se održi ili ponovo uspostavi najmanje dobar ekološki status svih površinskih voda je doveo do povećanja aktivnosti na zaštiti

vodnih tela. Uzimajući u obzir ekološke i socio-ekonomske uticaje na hidromorfološke izmene i mere za obnovu vodnih tela, delotvornost različitih tehnika za obnavljanje je i dalje ograničena. EU finansira istraživački projekat "REFORMA" (Angelopoulos et al. 2015), putem kojih se razvijaju smernice i alati kako bi se reke obnovile i kako bi se dovele u zadovoljavajuće stanje.

Istraživanja sprovedena od strane relevantnih naučnika iz ove oblasti su pokazala da rezultat projekata koji se bave obnovom reka može biti izuzetno mali, čak i ako je značajno poboljšano stanje lokalnih reka, morfologija i uslovi staništa. Druge studije su pokazale da značajan pozitivan rezultat u obnavljanju reka imaju određene grupe organizama. Do ove razlike je došlo zbog stvarnih razlika u efikasnosti mera za obnovu koje su primenjena u različitim delovima rečnog sliva. Koristeći standardizovane metode monitoringa i uzimanja uzoraka, kao i metode za analizu podataka, moguće je formirati jedinstvenu bazu podataka koja može da doprinese boljem predviđanju efekata koje će dati mere preduzete za obnovu reka.

Postoje brojni paramteri koji potencijalno ograničavaju mere za unapređenje i poboljšanje stanja uslova staništa. Zbog toga, efekat obnove zavisi od mera restauracije. Hidromorfološki procesi su u velikoj meri povezani sa pitanjem šireg prostora, a prilikom analize ovog paramtera, potrebno je u obzir uzeti i formiranje meandara.

Paramteti koji određuju kvalitet vode mogu da se razlikuju zavisno od perioda godine u kojem se procena stanja reke vrši: stanje priobalja i pošumljenost utiču na temperature vode i na hlad koji drveće baca na samu površinu vode, koja na samom toku može biti različita. Samopročišćavanje zavisi od morfoloških karakteristika terena. Karakteristike prirodnih kanala, kao što su veliko drvo ili stena, utiču na trenutnu procenu uslova staništa (Muhar et al. 2016).

2.4.3. Antropogeni uticaji na rečne ekosisteme

Naučnici veruju da na cvetanje cijanobakterija u stajaćim vodama utiče više faktora, u koje spadaju okolna vegetacija, biomasa, i koncentracija drugih organizama u samoj vodi.

U jezerima sa promenjivim vodostajem, naučnici su pratili količinu biomase i koloniju cijanobakterija, usled čega su došli do zaključka da su navedene pojave povezane. Vrste MC-LF -LR i -RR *Microcistis spp*. su označene kao dominantne u više jezera sa stabilnim vodotokom, dok je u jezerima sa čestim promenama nivoa vode, primećena pojava oscilacije. Dalje analize koje su naučnici sproveli, pokazali su da su promene stanja nivoa vode najznačajnija varijabla prilikom posmatranja zajednice cijanobakterija. Promene nivoa vode povećava stopu izlivanja vode, što se smatra korisnom pojavom jer se time povećava koncentracija hranljivih materija u samom rezervoaru vode.

Preteran razvoj cijanobakterija u vodenim ekosistemima predstavlja rizik po zdravlje ljudi i po vodene biocenoze, zbog oslobađanja cijanotoksina. Razvoj ovih mikroorganizama može biti ubrzan porastom temperature vode. Cijanobakterije mogu različito reagovati na promenu stanja životne sredine. Hidrološke promene u jezerima mogu biti ključni faktor u razvoju fitoplanktona. Obavljene su studije koje su pokazale i da je vreme zadržavanja vode jedan od najvažnijih faktora koji utiču na nekontrolisani, ubrzani razvoj cijanobakterija.

U plićim, eutrofičnim jezerima i sličnim vodnim telima, prirodni process ispiranja ima uticaj na trofički status. Zbog toga, adekvatan nadzor i kontrola vodostaja može biti odlučujući element u jezeru, naročito tamo gde je cvetanje cijanobakterija pojava koja izaziva negativne posledice. Promene vodostaja u plitikim ali i u dubokim jezerima, kao i akumulacijama, predstavljaju prirodni fenomen koji se javlja kao rezultat sezonske ili višesezonske neravnoteže između

količine vode koja se sliva u jezero i koja napušta jezero. Takođe, ove pojave mogu biti i rezultat ljudske aktivnosti. Eksploatacija od strane čoveka može dovesti do povećanja količine vode i može poremetiti godišnju fluktaciju tako da ona odstupa od prirodnog režima. U plitkim jezerima, promene nivoa vode mogu biti od presudnog značaja jer mogu značajno uticati na funkcionisanje ekosistema.

Kod vodnih tela koja predstavljaju stanište riba, kod jezera koja služe za navodnjavanje i rekreaciju, zajednice cijanobakterija koje proizvode cijanotoksine, nisu opasne samo po vodene organizme, već i po ljude. Što se tiče hranljivih materija, u sferi poljoprivrede, smanjenje količine zemljišta koje se spira može na pravi način ograničiti i sprečiti prekomerni razvoj i ispuštanje toksičnih supstanci (Pawlik-Skowronska, Toporowska 2016).

Sagledavanje uticaja činilaca sredine na sastav vodenih makrofita malih vodnih ekosistema je od suštinskog značaja za efikasno upravljanje predelima (Joniak et al 2016). Činioci koji se uzimaju u obzir obuhvataju procenu sliva, prelaznih zona, kvalitet vode i biološku raznovrsnost. Prilikom proučavanja jezera, uzimaju se u obzir dubina jezera i dužina obalne zone. Ukoliko se razmatra stanje zooplanktona, potrebno je da se u obzir uzme i dubina vode i topografske odlike predela. Za potrebe zaštite životne sredine i u cilju smanjenja degradacije predela, uz obale vodnih tela potrebno je formirati pojas žbunastih i drvenastih biljaka.

Efikasno upravljanje poljoprivrednim predelima, koji su dominantan tip predela na ispitivanom području, od velike je važnosti za očuvanje biodiverziteta. Pošto se planiranje i upravljanje predelima u većini slučajeva realizuje na velikim površinama, usvojeni pristupi samim tim imaju širok domašaj. U Centralnoj Evropi, poljoprivredni predeli sa manjim vodnim telima su od velikog značaja na više nivoa, počev od lokalnog pa sve do globalnog. Promene do kojih je došlo u načinu iskorišćavanja poljoprivrednih površina, gde se podrazumevaju površine pod

poljoprivrednim kulturama, zemljište koje se đubri i navodnjava, utiču na okolna prirodna staništa i u velikoj meri uzrokuje degradaciju biodiverziteta, naročito manjih vodotokova. Od velikog značaja za planiranje i upravljanje ovakvim prirodnim predelima jeste poznavanje uloge koju manji imaju vodni ekosistemi, u odnosu na biodiverzitet posmatranog predela.

Vodeni ekosistemi u kojima se nalaze manje količine vode su često izloženi širokom spektru zagađivača iz rasutih izvora. Konkretno, kada je reč o poljoprivrednom zemljištu, problem predstavljaju zagađivači iz rasutih izvora, a kao najčešći, javljaju se vode koje nastaju spiranjem poljoprivrednih površina usled atmosferskih padavina, ili zagađenje iz vazduha koje se vremenom taloži. Zbog svojih karakteristika, jezera imaju drugačije hidrohemijske parametre, koji pretežno zavise od namene zemljišta i karakteristika hidrologije konkretnog predela. Prilikom upravljanja poljoprivrednim predelom, bitno je imati u vidu da jezera mogu predstavljati biogeohemijske barijere i mesta gde je biološka raznovrsnost na visokom nivou. Upoređivanjem više vodnih tela koja su manje površine i zapremine, kao što su, na primer, jezera, mogu se pronaći određena odstupanja u kvalitetu vode usled prirodnog ili antropogenog uticaja.

Tampon zone kod malih vodotokova i manjih vodnih tela predstavljaju zonu koja se odlikuje stabilnom biljnom zajednicom i može predstavljati prelaz između terestričnih i akvatičnih ekosistema. Odgovarajući razvoj biljne zajednice na graničnim površinama može otkloniti ili umanjiti opasnosti od eutrofikacije. Zbog toga, drvenaste i žbunaste biljke su od velikog značaja jer služe i kao upijači azota. Njihova prednost je i brzi rast. Tampon zona koja se sastoji od zajednice žbunja i drveća predstavlja poželjno stanište živog sveta jer doprinosi obogaćivanju životne sredine organskom materijom i doprinosi stvaranju senke nad samim vodnim telom, što takođe doprinosi njegovom razvoju.

Veličina jezera i izolacija samog jezera utiče na ukupan broj vrsta koje su zastupljene u jednom predelu, kao i na broj vrsta koji se nalazi u okolini samog vodnog tela. Pored toga, stvara se mogućnost za ponavljanje jedne iste vodne vrste u različitim vodnim telima koja se nalaze na prostoru poljoprivrednog predela koji se istražuje. Povezanost različitih vrsta, kao i raznolikost tih vrsta, su bitni biogeografski parametri koje bi trebalo koristiti prilikom proučavanja odnosa veličine jezera i broja zastupljenih biohidroloških vrsta u istim (Bosiacka, Pienkowski 2012)

Mala i izolovana jezera predstavljaju staništa koja se odlikuju velikom gustinom biodiverziteta. Uz to, pružaju veći migracioni potencijal organizama koji pripadaju ekološkom regionu koji se posmatra. U praksi, takva vodna tela, odnosno jezera ili močvare nisu zaista izolovani sistemi koji funkcionišu nezavisno od svoje okoline. Do povezivanja sa okolinom dolazi putem podzemnih voda, tako što se vrši biotičko povezivanje koje omogućava da vodeni organizmi migriraju. Veličina jednog stanište može dalje dodatno uticati na kolonizaciju i heterogenost staništa, što direktno utiče na mogućnost prisustva nekih vodnih organizama.

Mišljenja o tome da su mala vodna tela izolovani biogeografski sistemi, nisu uvek i svuda potvrđena. Njihove specifičnosti se nalaze u razlikama u hidrološkim periodima i u nedostatku riba i drugih organizama koji se nalaze u lancu ishrane, koji utiču na raznolikost i nesrazmernost biodiverziteta unutar jednog ekosistema. Pored toga što su jezera ili drugi vodni sistemi manje površine, u njima se nalazi više populacija, što uglavnom omogućavaju životinje. U praksi, većina biljnih vrsta ne može da funkcioniše, da raste i da se razvija u staništima gde je zastupljeno više različitih populacija.

Ispitivanja biodiverziteta jezera ukazuju na postojanje potrebe da se zaštite kako velika, tako i mala vodna tela. Proučavanja ukazuju na postojanje velike biološke raznovrstnosti u grupama malih jezera, u poređenju sa močvarama koje su iste ili slične veličine, ali i sa ribnjacima u

kojima se mogu naći neke skrivne akvatične vrste. Korelacija, odnosno povezanost između veličine ribnjaka i broja biljnih vrsta ne mora svaki put biti srazmerna. Teorije biogeografije podržavaju ova odstupanja. Što se tiče broja izolovanih vrsta, smatra se da je taj broj najmanji na lokalnom nivou. Manje rastojanje između jezera može povoljno uticati na prostornu dinamiku i međusobnu povezanost vrsta, pa i na njihovu distribuciju. Dokaz tome je da je, čak i slučajna kolonizacija nekoliko jezera na velikom prostoru povezana sa kolonizacijom nekog drugog vodnog tela koje se nalazi u neposrednoj blizini.

2.4.4. Remedijacija u cilju postizanja dobrog ekološkog statusa vodnih tela

Svuda u svetu dolazi do povećanja interesovanje za obnavljanje slatkovodnih sistema u pokušaju ublažavanja efekata višegodišnje degradacije. Primer zakonske formalizacije namere i nastojanja rehabilitacije jeste Evropska Okvirna direktiva o vodama (ODV). Okvirna direktiva o vodama postavlja ciljeve za postizanje dobrog ekološkog statusa ili mogućnosti za sve površinske vode unutar Evropske zajednice, koje treba ostvariti do 2015. godine (EU, 2000). Ovaj cilj ukazuje na to da uspeh projekata remedijacije treba da se posmatra u odnosu na smernicama ODV. Okvirna direktive o vodama preporučuje praćenje, odnosno monitoring, kako bi se utvrdio stepen degradacije koji je prisutan u površinskim vodama (EU, 2000). Međutim, sistem monitoringa je osmišljen tako da se posmatraju karakteristike vodnih tela koje su se razvile tokom poslednjih nekoliko decenija ili čak vekova. S toga, bilo bi potrebno osmisliti novi sistem praćenja stanja koji bi bio u skladu sa novonastalim uslovima.

Za ostvarivanje krajnjeg cilja dobrog ekološkog statusa mogu biti potrebne decenije. Promenljiva priroda različitih elemenata ekosistema koji se posmatraju predstavlja izazov za praćenje ovog

procesa. Monitoring prikazuje postojanje vremenskih i prostornih razlika određenih grupa organizama. Prilikom posmatranja reke Orlando na Floridi, predviđeno je da će se akvatične biljke oporaviti za 3-8 godina, beskičmenjaci za 10-12 godina i ribe za 12-20 godina. Ovakva očekivanja, kada se uzmu u obzir vremenske pojave i sušni periodi, iako nisu ispunjena, ne znače da je projekat neuspešan, već ukazuju na potrebu promene parametara.

Potrebno je da se identifikuju indikatori napretka ka postizanju cilja dobrog ekološkog statusa. Pokazatelji napretka predstavljaju merljive promene koje se dešavaju u prvih nekoliko godina, a koji ukazuju da je vodno telo koje je predmet remedijacije ide ka ostvarivanju dobrog ekološkog statusa. Pokazatelji napretka bi trebalo da pokažu čak i male promene tokom trajanja rehabilitacije. Faktori koji na to ukazuju mogu uključiti abiotičke i biotičke filtere koji su međusobno povezani, kao i klimatske i geološke 'filtere' koji međusobno komuniciraju na većem prostoru i tokom dužeg vremenskog perioda.

Obnavljanje, odnosno rehabilitacija zemljišta je povezana sa veličinom vodnog tela koje se na određenom prostoru nalazi. Takođe, obnavljanje zavisi i od mogućnosti za kolonizaciju i migraciju akvatičnih vrsta koje se na tom području nalaze. Namena zemljišta takođe utiče na oporavak. Konkretno, na rehabilitaciju jedne reke može da utiče korišćenje okolnog zemljišta, koje stvara pritisak na samu reku ukoliko se ono koristi kao put za kretanje ljudi, čime umanjuje potencijalne efekte rehabilitacije.

Mora se imati u vidu da je rehabilitaciju svih delova sliva nemoguća zbog namene i korišćenja zemljišta, veličine sliva i vremenskih faktora koji utiču na stanje reka i potoka. Elementi potrebni za efikasnu procenu rezultata rehabilitacije reke obuhvataju postavljanje ciljeva, inicijalno praćenje prethodne intervencije rehabilitacije, poređenje rezultata početnog praćenja sa rezultatima sprovođenja monitoringa i javno izveštavanje o rezultatima.

U praksi, procena je često samo delimična, uzimaju se u obzir samo određeni rezultati, izbegavajući sveobuhvatnu procenu i druge činioce.

Flora i fauna koja se nalazi uz vodno telo predstavlja indikatore koji daju pozitivne kratkoročne rezultate. Ovi indikatori mogu biti prisustvo i brojnost riba ili drugih makroorganizma. Razlog za to jeste stepen osetljivosti koji se odnosi na zagađenje vode, mogućnosti za kolonizaciju vrsta i prisustvo staništa na lokalitetu pre sprovođenja intervencija. Pojedine životinjske vrste tokom svog života pređu samo male razdaljine, što ograničava mogućnost da se rehabilitovano stanište naseli, naročito u kratkom roku. Primećeno je da populacija poplavne zone nije u velikoj meri osetljiva na degradaciju reke i rehabilitaciju. Priobalni organizmi mogu da se koriste kao dodatni parametri za procenu kratkoročnih efekata rehabilitacije, dok vodni organizmi mogu više odgovarati za posmatranje dugoročnih efekata.

Makro-beskičmenjaci su indikatori koji se često posmatraju. Slab odziv indikatora makroinvertebrata može biti posledica prirodne raznolikosti koji se pripisuje ovoj grupi. Varijabilnost u odnosu na prostor, vreme i metode uzorkovanja su označene kao faktori koji dovode do poteškoća u praćenju makro-beskičmenjaka. Činjenica je da makroinvertebrata pokazatelji mogu biti suviše neosetljivi na rane faze napretka rehabilitacije vodnog tela. Makroinvertebre su najčešće korišćeni od svih grupa indikatora. Primena ovog indikatora je adekvatna za kratkoročno praćenje i ponovnu procenu. Neekološki indikatori uspeha rehabilitacije najbrže reaguju na intervencije koje su preduzete. Međutim, ovaj rezultat treba uzeti u obzir sa određenom rezervom. Morfološke promene zavise od intenziteta situacije i ekstremnih klimatskih događaja i trendova koji su zastupljeni u trenutku monitoring. Dakle, potrebno je indikatore prilagoditi ovim promenama (Matthews et al 2010).

Restoracija i menadžment obalskih i rečnih ekosistema, ekohidrološka iskustva, alat i perspektive su nedavno razmatrani (Grygoruk, Acreman 2015 i reference koje navode). Iako je od 2000-te godine usvojeno mnoštvo akata, direktiva i internacionalnih sporazuma, vodeni ekosistemi se i dalje suočavaju sa velikim nizom problema poput reka čije je ekološko stanje daleko od poželjnog. U stvarnosti, iako je došlo do značajnog poboljšanja upravljanja ovim resursom, ekohidrologija i dalje igra krucijalnu ulogu. Čak i u međunarodnom zakonodavstvu postoje određene kontradikcije između politike akata zaštite životne sredine što značajno otežava ovaj posao. Zbog ove potrebe izdvajamo pet naučnih radova koji se specifično bave obnavljanjem i upravljanjem obalskih i rečnih ekosistema. Svi izabrani slučajevi se bave najkritičnijim problemima sa kojima se reke i močvare suočavaju u poslednjoj deceniji, pogotovo sa eutrofikacijom i zagađenjem vode, promenom vodnog bilansa sliva kao i upravljanje bafer zonama zarad pogodnog hidrohemijskog statusa reka. Kaiglova (2015) razmatra značaj procene rizika remobilizacije toksikanata zagađivanja koji se akumuliraju u priobalju velikih ravničarskih reka. Njihova studija pruža nov pristup ovom polju pri definisanju početnih vrednosti kao važan kriterijum za određivanje i smanjenje rizika rečnih polutanata. Zilinski i Jekatierynczuk-Rudczyk (2015) prezentuju interesantno poređenje dinamike fosfora u regulisanim i obnovljenim slivovima malih nizijskih reka. Restauracije jedne etape reke u slivu može dovesti do opšteg poboljšanja kvaliteta vode celog sliva smanjujući koncentracije fosfora u vodi. Szporak-Wasilewska i saradnici (2015) u svom radu govore o slučaju nacionalnog parka Narev. U radu se ističe da pored pretnji zadržavanja vode u velikim ravničarskim priobalskim sistemima, klimatske promene su naveća pretnja po vodni bilans jednog regiona. Stratford (2015) u svojoj studiji govori o ulozi reklamacionih sistema zemljišta pri odbrani od poplava. Ovi sistemi su veoma značajni i daju jednostavno rešenje koje je lako implementovati a takođe se

može koristiti i u velikim projektima. Guevara (2015) razmatra u svom radu najbolje prakse pri upravljanju zaštitom životne sredine i kako one, nasuprot verovanjima, mogu negativno uticati na ekosistem kojim se upravlja.

Eutrofikacija jezera predstavlja ozbiljan ekološki problem na globalnom nivou. **Fitoremedijacija** je jedna od metoda koja može pružiti adekvatan odgovor za obnovu kvaliteta vode. Međutim, pored uklanjanje nutrijenata, makrofite utiču na hidrološki ciklus sistema jezera putem evapotranspiracije. Izmene u hidrološkom ciklusa koje izazivaju makrofite, imaju veliki uticaj na kvalitet vode u jezeru. Povećanje makrofita može izazvati nedostatak hranljivih materija ali u isto vreme utiče i na poboljšanja kvaliteta vode. Porastom evapotranspiracije, smanjuje se količina vode što direktno utiče na kvalitet vode. Kontrola i efikasno upravljanje makrofitama, značajno utiče na kvalitet vode u jezerima. Kao rezultat preteranog uliva hranjivih materija iz poljoprivrednog otpada i neprerađene industrijske i gradske kanalizacije, mnoga jezera prolaze kroz eutrofikaciju.

Narušavanje kvaliteta vode može dovesti do niza neželjenih efekata i do gubitka ekoloških funkcija i dalje, do degradacije vodenih ekosistema. Eutrofikacija utiče na više privrednih sektora zbog visokih ekonomskih troškova. Česta cvetanja algi izazvana eutrofikacijom mogu poremetiti prirodni lanac ishrane, što dalje ostavlja potencijalno štetne efekte na biodiverzitet i ribarstvo.

Primena efikasnih mera za obnovu kvaliteta vode je hitno potrebna u plitkim jezerima gde je ova pojava zastupljena. Smanjenje ispuštanja hranljivih materija iz netačkastih izvora je osnovna mera za kontrolu eutrofikaciju. Mere za uklanjanje hranljivih materija iz jezera su neophodne u eutrofičnim jezera. Fitoremedijacija predstavlja obećavajuću, ekonomski i ekološki prihvatljivu tehnologiju za obnovu kvaliteta vode. Fitoremedijacija predstavlja upotrebu zelenih biljaka u

cilju uklanjanja zagađivača iz prirodnog okruženja. Uklanjanje zagađivača koji utiču na hranljive materije su jedan od glavnih ciljeva fitoremedijacija. Mogu se ukloniti iz jezera putem biljaka koje ih upijaju. Te biljke, makrofite apsorbuju organska jedinjenja, i dalje slažu kao blokove za ćelije i tkiva.

Denitrifikacija je biološki mehanizam putem kojeg bakterije razgrađuju neorganski azot, kao što su nitrati i nitriti u bezopasni azotni gas, u sredinama sa niskom koncentracijom kiseonika. Različite vrste makrofita se uspešno koriste za kontrolu kvaliteta vode jezera. Tu spadaju trska (*Phragmites australis*), rogoz (*Tipha spp.*), i slično. Istraživanje uklanjanja nutrijenata putem ovih makrofita je dokazala da su efikasne i primenjive za obnovu kvaliteta voda.

Fitoremedijacijom se mogu ukloniti hranljive materije, dok makrofitne zajednice takođe mogu biti uzročnik povećane evapotranspiracije. Evapotranspiracija velikog obima dovodi do značajnog gubitka vode u jezerima. Plitka jezera su veoma osetljivi na evapotranspiraciju zbog velike površine i male dubine vode. Gubitak vode dovodi do veće koncentracije hranljivih materija, što će direktno uticati pogoršanje kvaliteta vode.

Biljni pojas u priobalju jezera takođe utiče na količinu makrofita, a time i na kvalitet vode. Gustina biljnog rastinja i prostor su ključni parametri za upravljanje makrofitama u jezeru. Količina vode i hranljivih materija u jezeru imaju velikog uticaja na kvalitet vode u različitim mesecima. Ukoliko se trska žanje od septembra, manje hranljive materije bi bile uklonjene, ali će evapotranspiracija biti manja, što može dovesti do boljeg kvaliteta vode u narednim mesecima (Hu et al. 1914).

Integracija fizičkih i bioloških metoda u fitoremedijaciji je pokazana upotrebom laserske fotostimulacije na reznice vrbe u lab uslovima a u cilju remedijacije kontaminiranog zemljišta ili

voda u Poljskoj (Rimal et al. 2014). Zračenje laserom raznih talasnih dužina i vremena tretmana intenzivira rast korenova i izdanaka iz reznica u toku 5 sedmica u hidroponskoj kulturi. Ovo omogućava bolju adaptaciju vrba na uslove vode kontaminirane industrijskim aktivnostima.

Lakatos et al (2014) su prikazali značaj korišćenja veštačkih močvara u prečišćavanju otpadnih voda sa posebnim osvrtom na petrohemijske otpadne vode. Kao i u svakom dobrom procesu prečišćavanja otpadnih voda, cilj je da se voda koja je zagađena, uglavnom industrijskim procesima, prečisti što više i krajnji produkt bude što sličniji vodi iz prirode. Dat je pregled konstruisanih močvara u poslednjih četrdeset godina za preradu otpadnih voda u Mađarskoj, i pruža detaljnu analizu strukture i funkcionisanja ovih objekata.

Za studiju korišćeni su podatci iz perioda od 1976. godine do 2011. godine; temperatura, provodljivost, pH, suspendovane materije, koncentracije anjona i katjona, koncentracije rastvorenog koseonika i zasićenost kiseonikom, azotne i fosforne forme, hemijska potrošnja kiseonika, petodnevna biološka potražnja kiseonika, ukupan organski ugljenik, organski ekstrakt i sadržaj fenola i sulfida. Nakon detaljne obrade prikupljenih podataka može se zaključiti da se trenutni standaradi pojedinih postrojenja za tretman otpadnih voda mogu smatrati adekvatnim, ekološka struktura veštačkih močvara za prečišćavanje otpadnih voda je prihvatljiva, svi sistemi su ostali aerobnog karaktera, prisustvo zooplanktona ukazuje na prisustvo kiseonika u veštačkim močvarama i takođe ukazuje na odsustvo subletalnih toksikanata. Ceo sistem može se karakterisati sa efektima eliminacije HPK od 90 % i 30 %. Takođe vrednosti za eliminaciju nafte su veoma velike i u letnjim mesecima su između 72 i 100% što ukazuje na efikasnost ovih sistema. Prisustvo fitoplanktona i zooplanktona u vodama veštačkih močvara ukazuje da je voda veoma slična onoj iz prirode tako će tokom narednih nekoliko godina biti dominantno prisustvo

planktona. Između ostalog, prisustvo punoglavaca, ptica i riba čini ovaj ekosistem veoma sličnim prirodnom.

Nedavno su sistematizovani rezultati većeg broja studija vezanih za primenu metode fitoremedijacije za vode koje sadrže povećane količine fenola (Agostini et al. 2010). Fenolna jedinjenja prisutna u drenažnim vodama iz industrijskih postrojenja su toksična i predstavljaju potencijalnu opasnost za ljudsko zdravlje. Konvencionalni tretmani za uklanjanje fenola iz industrijskih otpadnih voda imaju nekoliko ograničenja tako da postoji potreba da se traže alternativne i ekološki prihvatljive tehnologije koje će ih dopuniti ili zameniti. U poslednjih nekoliko godina, fitoremedijacija je prepoznata kao jeftina i ekološki prihvatljiva tehnologija koja bi mogla da se koristi za sanaciju organskih zagađivača, kao što je fenol. U većini studija fitoremedijacija je izvedena sa hidroponski uzgojenim biljkama; a nedavno su neki rezultati dobijeni uz pomoć in vitro ćelija i kulture tkiva, kao što su korenske dlake, koje se koriste kao alati za skrining potencijala različitih biljnih vrsta da tolerišu, akumuliraju i uklanjanje visoke koncentracije fenola sa visokom efikasnošću. Pored toga, korišćenjem različitih sistema modela postrojenja može utvrditi da biljke metabolišu veliki broj fenolnih jedinjenja po uobičajenim metaboličkim putevima. Uzimanje fenola zavisi od biljne vrste kao i fizičko-hemijskih svojstava okruženja. Dok su glavni detektovani metaboliti polarni konjugati, neke biljne vrste mogu uključiti velike količine fenola i njihovih metabolita, kao vezanih ostataka, u reakcije katalizovane bioksido-reduktazama. Zbog toga se ćelijski zid smatra jednim od važnih mesta detoksikacije fenolnih jedinjenja u biljkama. Korenje biljaka proizvodi i otpušta velike količine oksido-reduktivnih enzima peroksidaza, koji su povezani sa nespecifičnom oksidativnom polimerizacijom fenolnih slobodnih radikala u ćelijskom zidu. Dakle, ovi enzimi će verovatno biti ključni u uklanjanju fenola i hlorofenola. S druge strane, uz primenu genetskog inženjeringa,

je moguće manipulisati sposobnostima biljaka da tolerišu, akumuliraju, i / ili metabolišu fenole, i time stvoriti odgovarajuće postrojenje za remedijaciju životne sredine.

3. HIPOTETIČKI STAVOVI

Sistematsko praćenje kvalitativnih karakteristika površinskih voda sprovode državne institucije na osnovu rezultata analiza izvršenih u akreditovanim laboratorijama a u skladu sa međunarodnom legislativom, prvenstveno Okvirnom direktivom o vodama EU. Standardizovane analize se vrše na uzorcima koji su prikupljeni, takođe, standardizovanim i akreditovanim metodama. Odelenje za kontrolu kvaliteta RHMZ sprovodilo je ova ispitivanja do 2011. godine, prema specifičnom programu verifikovanom od strane Vlade Republike Srbije koji se donosi na godišnjem nivou. Zakonom o ministarstvima (2011. godina) poslovi monitoringa kvaliteta vode u državnoj mreži stanica prešli su u nadležnost Agencije za zaštitu životne sredine. Navedene ustanove sačinjavaju Izveštaje o stanju površinskih voda koji su javno dostupni i jedini zvanično priznati. Međutim, obim i opseg zvaničnog monitoring je ograničen vremenski, kapacitetima akreditovanih laboratorija kao i budžetskim sretsvima kojima se finansiraju.

Osnovna hipoteza je da se na zvaničnim monitoringom ne dobijaju svi podaci neophodni za uspostavljanje dobrog ekološkog statusa reke Drine a prema Okvirnoj direktivi o vodama.

Pomoćne hipoteze su:

a. Neophodno je identifikovati sve tačkaste i difuzne zagađivače na odabranom delu vodotoka

b. Neophodno je primeniti fizičke, hemijske i biološke metode monitoringa stanja vodotoka radi određivanja trenutnog ekološkog stanja vodotoka na izabranim mernim mestima

c. Potrebno je analizirati sve dostupne rezultate ispitivanja radi obrazovanja predloga mera remedijacije vodotoka primenom fizičkih, hemijskih i bioloških metoda

3.1. CILj ISTRAŽIVANjA

Generalni cilj istraživanja je razvoj modela ekoremedijacionog plana regulisanih vodotokova, stim da je u ovoj disertaciji fokus na opisu aktuelnog stanja vodotoka reke Drine.

Parcijalni ciljevi su:

a. Analiza dostupnih podataka o aktuelnom stanju vodotoka
b. Utvrđivanje nedostajućih podataka o aktuelnom stanju vodotoka
c. Prikupljanje podataka koji nedostaju
d. Utvrđivanje aktuelnog stanja vodotoka
e. Predlog ekoremedijacionih mera (fizičkih, hemijskih i bioloških metoda) u cilju poboljšanja ili unapređenja ekološkog statusa vodotoka
f. Predlog dodatnog monitoringa

4. METODE ISTRAŽIVANjA

4.1. OPŠTENAUČNE METODE

U ovom radu biće korišćene osnovne analitičke i sintetičke metode saznavanja i istraživanja, pre svega analiza, dedukcija, komparacija, konkretizacija, generalizacija. Ove metode koristiće se tokom celog procesa sticanja naučnog saznanja i izrade metodološkog istraživanja. Proučavanja se zasnivaju na dva osnovna načina i oslonca u sakupljanju podataka. Prikupljanjem podataka generalizujemo problem i formiramo opšte stavove koje treba istražiti. Početna metoda koja će se koristiti u istraživanju je analiza postojećeg stanja.

Opis metoda u sakupljanju dokaza i proučavanje svih predašnjih učenja i proučavanja koja su u vezi sa zagađenjem rečnih vodotokova koji su korišćeni u ovoj studiji. Analiza dokaza, sakupljanje dokaza uzetih od odgovornih lica i institucija, od pojedinaca, svrstavanje i korišćenje stručnih metoda u okviru odgovarajućeg predmeta, izvlačenje zaključaka.

Statističke, deduktivne metode ćemo koristiti da bismo obradili prikupljene podatke i dobili određene rezultate na osnovu kojih možemo da izvučemo završne zaključke.

4.2. SPECIFIČNE ISTRAŽIVAČKE METODE

Analiza i sistematizacija postojećih podataka merenja i osmatranja

Ispitivanje kvaliteta vode reke Drine kao i nivoa zagađenja vršena su u okviru različitih naučnih i stručnih istraživanja poput monitoringa površinskih voda na teritoriji Republike Srbije, odnosno u okviru različitih multidisciplinarnih istraživanja reke Drine. Važno je napomenuti da prilikom određivanja ekološkog statusa reke Drine nije dovoljno koristiti samo podatke vezane za kvalitet

vode i sedimenta, već je potrebno napraviti kompleksnu sliku reke i njenog sliva koristeći što veći broj faktora i činjenica. Te činjenice se odnose pre svega na:

- Stanovništvo koje naseljava priobalje i sliv reke Drine na izabranom segment, tip naselja i jihova veličina;
- Tretman sanitarnih i komunalnih otpadnih voda u gradskim I seoskim naseljima;
- Postupanje sa komunalnim I industrijskim otpadom;
- Priobalni vlažni i terestrični ekosistemi;
- Razvijenost poljoprivrede kroz ratarske i stočarske delatnosti i prehrambenu industriju;
- Industrijska, rudarska i druga postrojenja u priobalju u slivu;
- Objekte i instalacije na samoj reci i pritokama u cilju smanjenja rizika od voda i hidroenergetska postrojenja;
- Klimatske i hidrološke karakteristike ispitivanog područja i dr.

Prilikom prikupljanja postojeće dokumentacije kontaktirane su opštinske strukture (uprave), kroz čije teritorije protiče reka Drina i koje su obuhvaćene predmetom istraživanja, kao i sve ostale relevantne institucije (fakulteti, sekretarijati, arhive, javna preduzeća, dokumentacioni centri i dr.) u svrhu omogućavanja pristupa informacijama. Pored toga, podaci su pretraživani i putem interneta. Ustanovljeno je da postoji veliki broj dokumenata, projekata, elaborata, monografija, naučnih radova i drugih publikovanih ili internih materijala koji u nekom segmentu obrađuju pojedine aspekte vezane za reku Drinu. Neki od njih su: Projekt GEF SCCF za upravljanje slivom rijeke Drine na zapadnom Balkanu GEF-SCCF grant, broj BA/RS/MN-Drina-GEF/SCCF-IC-CS-15-05 - Okvir za okolišno i socijalno upravljanje; Podrška upravljanju vodnim resursima u slivu reke Drine projekat BR. 1099991, 2015; Studija o održivom korišćenju

i zaštiti prirodnih resursa u prekograničnom području Srbija-Bosna i Hercegovina za opštine Bogatić, Ljubovija i Mali Zvornik.

Prikupljanje postojećih podataka merenja i osmatranja uključilo je:

- Hidrološke karakteristike (poprečni profili, protoci i dubine vode na zvaničnim mernim stanicama na izabranom delu toka reke Drine)
- Podatke u vezi suspendovanog nanosa i sedimenta (kvantitativne i kvalitativne)
- Podatke o koji se odnose na kvalitet vode i nanosa
- Sve dostupne informacije i rezulate prethodnih istraživanja koji se odnose na potencijalne zagađivače u slivu reke Drine
- Podatke koji se odnose na bilo koji vid degradacije istraživanog prostora

Svi prikupljeni dokumenti su analizirani u skladu sa ciljevima istraživanja. Najznačajniji dokument je Studija Degradacioni procesi u akumulacijama i toku Drine i bilansiranje zagađenja koju su za potrebe JP Elektroprivreda Srbije izradili TMF 2005 DOO i fakultet za primenjenu ekologiju Futura Univerziteta Singidunum 2016. god. (Vujović i sar. 2016).

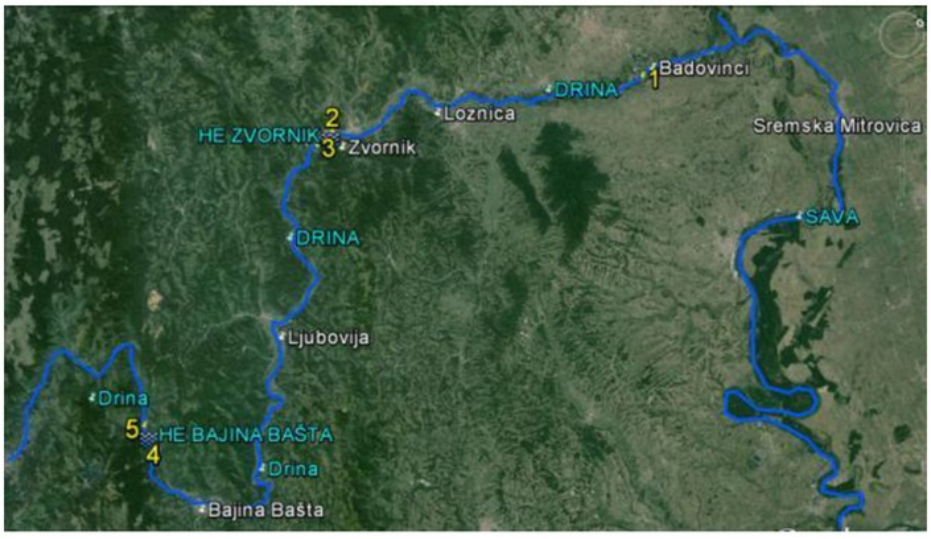
Terenska istraživanja i laboratorijska ispitivanja

U terenskim istraživanjima u okviru ove Studije je aktivno učešće imala i autor ove disertacije. Lokaliteti terenskih istraživanja su prikazani na Tab. 1. i Sl. 7.

Uzorkovanja su sprovedena u pet ciklusa: oktobar i novembar 2015., februar, april i maj 2016. godine. Uzorkovanje i analize su sprovedeni u skladu sa standardnim i akreditovanim metodama koje se sprovode u Laboratoriji za hemijska ispitivanja životne sredine „Dr Milena Dalmacija“, PMF, Novi Sad.

Tabela 1. Lokaliteti terenskih istraživanja na reci Drini

R. broj	Mesto uzorkovanja	Lokacija uzorkovanja (GPS)
1.	Badovinci, 100 m nizvodno od mosta	N 44^0 46'39.00" E 19^0 20' 32. 44"
2.	HE Zvornik, 1500 m nizvodno od brane	N 44^0 22'07.51" E 19^0 06' 49. 20"
3.	HE Zvornik, 200m uzvodno od brane	N 44^0 22'24.81" E 19^0 06' 10. 07"
4.	HE Bajina Bašta, 500 m nizvodno od brane	N 43^0 57'42.23" E 19^0 24' 59. 54"
5.	HE Bajina Bašta, 200 m uzvodno od brane	N 43^0 58'03.35" E 19^0 24' 11. 14"



Slika 7. Lokaliteti uzorkovanja na reci Drini (Vujović i sar. 2016)

Uzorkovanje površinske vode (Sl. 8.) je izvršeno prema smernicama za uzimanje uzoraka površinske vode iz reka i potoka SRPS ISO 5667-6. Za uzimanje uzoraka površinske vode korišćena je različita oprema:

- otvoreni pribor za uzimanje uzoraka (teleskop sa kanticom) koji služi za uzimanje uzoraka sa same površine vode ili neposredno ispod nje.
- Pumpa (PTP-150 Portable Pump) se koristiti za uzimanje uzoraka sa određene dubine (posebnih uzoraka i serija uzoraka) i za uzimanje integralnih uzoraka po dubini,



Slika 8. Terenska ispitivanja - uzorkovanje

Uzorci vode su uzorkovani u plastične flaše za analizu opštih parametara, a za analizu teških metala u plastične bočice od 200 ml.

Uzorci sedimenta uzimani su prema standardnoj metodi za sediment SRPS ISO 5667-12. Za uzimanje uzoraka korišćen je Grab sampler (bager) za uzimanje površinskog sedimenta. Uzorci sedimenta su sakupljeni u staklene tegle.

Suspendovani nanos uzorkovan je kao kompozit po dubini sa pumpom PTP-150 Portable Pump.

Svi uzorci su po dopremanju u laboratoriju uskladišteni na 4°C i na odgovarajući način konzervisani do momenta pripreme uzoraka za analizu. Zaštita uzoraka i rukovanje uzorcima vode vrši se prema standardnoj metodi SRPS EN ISO 5667-3:2007.

U Tabeli 2. su prikazane primenjene metode za analizu vode, suspendovanog nanosa i sedimenta i njihove laboratorijske karakteristike.

Uzorkovanje površinske vode se vrši prema smernicama za uzimanje uzoraka površinske vode iz reka i potoka SRPS ISO 5667-6.

Uzorci sedimenta se prikupljaju prema standardnoj metodi za sediment SRPS ISO 5667-12.

Suspendovani nanos se uzorkuje kao kompozit po dubini pumpom PTP-150 Portable Pump.

Zaštita uzoraka i rukovanje uzorcima vode vrši se standardnom metodom SRPS EN ISO 5667-3:2007.

Rezultati analiza se upoređuju sa vrednostima koje propisuju odgovarajuće uredbe i pravilnici (Sl. Glasnik RS, 50/2012, Sl. Glasnik RS, 24/2014 i Sl. Glasnik RS, 74/2011) a date su u PRILOGU III.

Tabela 2. Parametri i metode analize vode, suspendovanog nanosa i sedimenta

Ispitivani parametar	***jed. mere***	**Oznaka metode**
VODA		
Rastvoreni kiseonik	mgO_2/l	SRPS EN 25814:2009
Zasićenost kiseonikom	%	
HPK (bihromatnom metodom)	mgO_2/l	*SRPS ISO 6060:1994*
BPK	$mg\ O_2/l$	*H1.002*
Utrošak $KMnO_4$	$mg\ O_2/l$	*SRPS EN ISO 8467:2007*
TOC	*mg/l*	*SRPS ISO 8245:2007*
Amonijak	*mgN/l*	*SRPS ISO H.Z1.184:1974*
Nitrati	*mgN/l*	*SRPS ISO 7890-3:1994*
Nitriti	*mgN/l*	*SRPS EN 26777:2009*
Fenoli	*mg/l*	*SRSPS ISO 6439:1997*
Anjonski detedženti	*mg/l*	*SRPS EN 903:2009*
Cink	µg/l	*EPA7000b*
Nikl	*mg/l*	*EPA7010*
Kadmijum	µg/l	*EPA7000b*
Hrom	µg/l	*EPA7000b*
Bakar	µg/l	*EPA7000b*
Olovo	µg/l	*EPA7000b*
Arsen	µg/l	*EPA7000b*
Živa	µg/l	*H1.004*
SEDIMENT		

Ispitivani parametar	***jed. mere***	**Oznaka metode**
Organska materija	*%*	*SRPS EN 12879:2007*
Glina	*%*	*ISO 11277:2009*
*HPK**	*mg/kg*	*H1.006*
BPK	mg/kg	*H1.007*
Ukupan azot	mg/kg	*SRPS ISO 11261:2005*
Ukupan fosfor*	mg/kg	*spektrofotometrijski nakon digestije*
Cink	mg/kg	*EPA 7000b*
Nikl	mg/kg	*EPA 7000b*
Kadmijum	mg/kg	*EPA 7000b*
Hrom	mg/kg	*EPA 7000b*
Bakar	mg/kg	*EPA 7000b*
Olovo	mg/kg	*EPA 7000b*
Arsen	mg/kg	*EPA 7000b*
Živa	mg/kg	*H1.005*
SUSPENDOVANI NANOS		
Organska materija	*%*	*SRPS EN 12879:2007*
Glina	*%*	*ISO 11277:2009*
Cink	mg/kg	*EPA 7000b*
Nikl	mg/kg	*EPA 7000b*
Kadmijum	mg/kg	*EPA 7000b*
Hrom	mg/kg	*EPA 7000b*
Bakar	mg/kg	*EPA 7000b*

Ispitivani parametar	*jed. mere*	Oznaka metode
Olovo	mg/kg	*EPA 7000b*
Arsen	mg/kg	*EPA 7000b*
Živa	mg/kg	*H1.005*

Hemijski status površinskih voda se određuje prema relevantnim uredbama (Sl. Glasnik RS, 24/2014, Sl. Glasnik RS, 50/2012). Od prioritetnih supstanci u vodi se analiziraju metali. Na osnovu GV polutanata utvrđuju se klase površinske vode prema uredbi (Sl. Glasnik RS, 50/2012). Prilikom ocene statusa i trenda kvaliteta sedimenta koriste se granične vrednosti za metale, korigovane u odnosu na izmeren sadržaj organskih materija i gline u datom sedimentu, u skladu sa odgovarajućom Uredbom (Sl. Glasnik RS 50/2012). Uzorkovanje biljnog materijala u cilju određivanja sadržaja i koncentracije teških metala: prikupljeni biljni materijal se suši. Hemijske analize suvog biljnog materijala obuhvatile su određivanje koncentracije teških metala – polutanata: nikl, cink, kadmijum, hrom ukupan, bakar, olovo, arsen i živa. Svi hemijski elementi u biljnom materijalu određeni su standardnim metodama.



Slika 9. Terenska merenja fizičkih parametara kvaliteta vode

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. ČINIOCI DEGRADACIJE VODOTOKA REKE DRINE

Prvi deo ERM plana je katastar zagađivača jer je neophodno sagledati sve, ili što je moguće više, potencijalnih izvora zagađujućih materija i/ ili aktivnosti koje mogu ugroziti dobar ekološki status vodotoka. Ovo se naročito odnosi na:

- broj i veličinu naselja duž rečnog toka kao i broj stanovnika koji egzistira u tim naseljima;
- postojanje septičkih jama u naseljima i kanalizacionih izliva;
- broj zvaničnih i divljih deponija kao i vrste i količine generisanog otpada;
- tip vegetacije na rečnim obalama;
- kulture koje se uzgajaju neposredno uz reku;
- objekte i privredne aktivnosti u rečnom slivu;
- vodoprivredne objekte na samoj reci;
- protok vode, meteorološke prilike i dr.

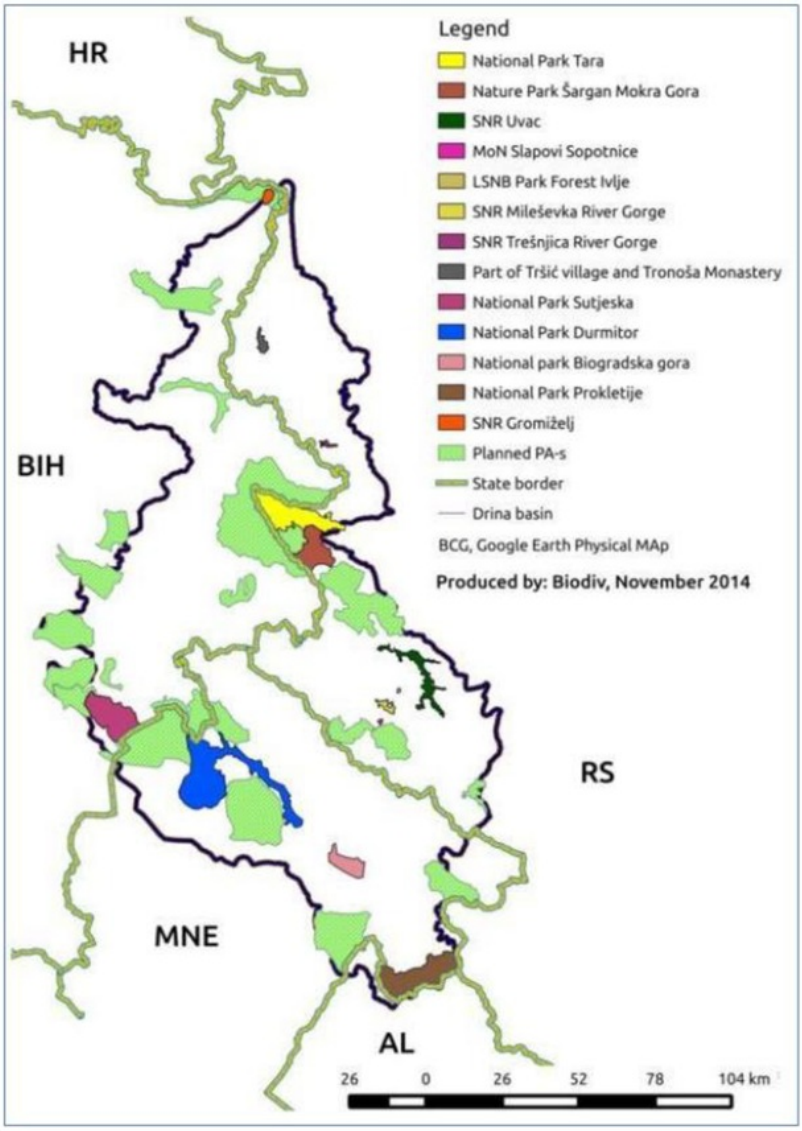
S ozirom na veličinu sliva i međunarodni značaj reke Drine, postoji veliki broj dokumenata, projekata, elaborata, monografija, naučnih radova i drugih publikovanih ili internih materijala koji u nekom segmentu obrađuju pojedine aspekte vezane za reku Drinu. Neki od njih su sistematizovani prema vrsti podataka i analizirani. Identifikovani su brojni izvori zagađenja voda, kao posledica urbanizacije i razvoja industrije i poljoprivrede.

U dokumentu Podrška upravljanju vodnim resursima u slivu reke Drine, koji je sačinjen 2015. god. godišnji izveštaj projekta Svetske banke, Projekat br. 1099991, ističe se da je sliv reke

Drine (DRB) područje izuzetnih karakteristika, sa obilnim biodiverzitetom čije je očuvanje od izuzetne važnosti, u nastojanju da se upravljanje vodnim resursima sliva učini efikasnijim na dobrobit svih korisnika. U DRB se nalazi više nacionalnih parkova i područja sa različitim stepenom zaštite (Sl. 10.). Sliv nastanjuje skoro milion ljudi, ali je, usled pogoršanja ekonomske situacije, koja je dodatno otežana lošom saobraćajnom infrastrukturom, izražena opšta migracija iz sliva, prilikom čega se povećava broj starijeg stanovništva i širi nezaposlenost. Izuzetak je područje oko Bijeljine (u RS BiH), koje protivreči ovom trendu i ima prosperitetnu ekonomiju poljoprivrede, industrije i usluga zahvaljujući blizini Srbije i Hrvatske.

Uprkos tome, sliv je izuzetno bogat prirodnim resursima, npr. postoje značajni resursi podzemnih voda unutar gornjeg sliva i moguć razvoj potencijala, posebno hidroenergije. Izuzetno je važno da se uspostavi ravnoteža u razvoju ovog potencijala sa borbom protiv pretnji od negativnog uticaja ljudskih aktivnosti, industrijskog zagađenja i otpadnih voda, kao i posledica perioda dužeg od dve decenije bez održavanja reke.

Republika Srbija, je ušla u proces planiranja za upravljanje slivom pre svega za reke Dunav (na nacionalnom nivou) i Save (regionalni nivo). Srbija je 2009. godine usvojila Plan za upravljanje slivom reke Dunav koji ima zakonodavnu ulogu. Takođe, razmatrali su i učestvovali u nacrtu Plana za upravljanje slivom reke Save 2012. godine. Postoji nekoliko manjih otvorenih pitanja za Hrvatsku, ali se očekuje da Plan upravljanja slivom reke Save bude usvojen 2014/2015. god. Veliki problem Drinskog sliva je nedostatak usklađenosti interesa raznih subjekata koji se tiču hidroenrgetskog korišćenja voda. Oni obuhvataju vlade Srbije, Crne Gore i BiH (RS i FBiH), elektroenergetske kompanije i koja generišu ili nameravaju da proizvode električnu energiju koristeći hidroenergetski potencijal sliva reke i distribuiraju električnu energiju na različitim tržištima, lokalne samouprave i komunalna preduzeća, privredna društava, različite organizacije



Slika 10. Zaštićena područja u slivu reke Drine (Biodiv, 2014)

zainteresovane za očuvanje prirodnih vrednosti, itd. U slivu reke Drine postoje problemi vezani za zaštitu vodnih resursa od zagađivanja zbog ispuštanja otpadnih voda i čvrstog otpada. Primećeno je da praktično nema postrojenja za tretman otpadnih voda pre njihovog puštanja u

vodotokove. Ovo važi za gradske, a naročito za seoske oblast, a takođe i više izolovanih industrijskih postrojenja. Kontrola kvaliteta vode u Srbiji obavlja se od strane Agencije za zaštitu životne sredine Srbije. Prema njenom godišnjem izveštaju, postoji 5 monitoring stanica u slivu reke Drine, u okviru teritorije Srbije, na reci Uvac (pritoka Lima), u Prijepolju na reci Lim (pritoka Drine), dve na Drini: Bajina Bašta i Badovinci, i jedna na reci Jadar, 2 km pre ušća u Drinu.

Rezultati 5 mernih stanica duž reke Drine pokazuju da je kvalitet reke dobar što se može objasniti slabom ekonomskom aktivnošću i smanjenjem populacije u slivu u poslednje dve decenije.

5.1.1. Izvori zagađenja reke Drine

Tačkasti izvori zagađenja

Tačkasti izvori zagađenja su oni izvori u kojima se zagađujuće materije sakupljaju i ispuštaju na jednom mestu. Najčešće su to urbane sredine, industrija i energetska postrojenja.

Otpadne vode iz **komunalnih izvora** i industrijskih postrojenja u slivu Drine se najčešće ispuštaju bez ikakvog tretmana, ili je tretman otpadnih voda minimalan. Posebno veliki problem u slivu Drine predstavljaju mnogobrojne deponije čvrstog otpada. Većina izgrađenih deponija ne ispunjava sanitarne kriterijume, a duž celog toka reke Drine, u posmatranom delu, i njenih pritoka prisutne su i divlje deponije.

Sastav otpadnih voda i količina zagađujućih materija u njima razlikuje se s obzirom na njihovo poreklo (atmosferske, fekalne, tehnološke i sanitarne) i uslova u kojima su one nastale (vrsta i

veličina naselja, tip kanalizacione mreže, potrošnja i način korišćenja vode u domaćinstvima i proizvodnim pogonima, količina atmosferskih padavina).

Otpadne vode iz naselja sadrže atmosferske i fekalne vode. U atmosferskim vodama mogu se naći nitrati, sulfati, hloridi, čestice čađi, čvrsti organski i neorganski otpaci, ulja, nafta i niz drugih organskih jedinjenja. Fekalne vode iz domaćinstava i zanatskih pogona sadrže oko 60% organskih i 40% mineralnih materija, patogene klice, sredstva za pranje – deterdžente i sapune i druge.

Prikaz zagađivača reke Drine dat je po opštinama kojima pripada deo sliva koji je predmet ove disertacije (Sl. 11.).



Slika 11. Teritorijalna organizacija

Na teritoriji **opštine Bogatić** izražen je problem zagađenja površinskih i podzemnih voda, nije izgrađena kanalizaciona mreža za prikupljanje i evakuaciju atmosferskih padavina i sanitarno-fekalnih otpadnih voda, niti postoji postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda. Prema Izveštaju o strateškoj proceni uticaja na životnu sredinu Planova opšteg uređenja za seoska naselja opštine Bogatić, glavni izvori zagađenja voda na području opštine Bogatić su: neregulisano kanalisanje sanitarno-fekalnih i industrijskih otpadnih voda, poljoprivredna proizvodnja i nesanitarno deponovanje otpada.

Na teritoriji **opštine Loznica** postoji izgrađena kanalizaciona mreža u ukupnoj dužini od oko 90 km. Ukupan broj priključenih domaćinstava na kanalizacionu mrežu iznosi 12.826 i 685 privrednih subjekata. Otpadne vode se prepumpavanjem upuštaju u rečicu Štiru, a preko nje u reku Drinu bez prethodnog tretmana, odstranjuje se samo mehanički krupan nanos.

Industrija je najveći zagađivač vodenih resursa. Sastav industrijskih otpadnih voda je izuzetno varijabilan i zavisi od grane industrije. Otpadne industrijske vode, pored tehnoloških, sadrže i sanitarne vode i sve ove vode se bez prečišćavanja ispuštaju u reku Drinu ili njene pritoke.

Potencijalno najopasniji zagađivač u slivu Drine u Srbiji je rudnik obojenih metala Veliki Majdan u Ljuboviji i rudnici i jalovišta preduzeća "Rudnici i topionica Zajača". Tokom majskih poplava 2014. godine oštećeno je jalovište zatvorenog rudnika antimona "Stolice" u Kostajniku kod Krupnja, koji je u sastavu preduzeća "Rudnici i topionica Zajača". To je dovelo do oslobađanja značajnih količina teških metala iz jalovišta, koji su preko reke Jadar dospeli u Drinu. Na deponiji u Zajači kod Loznice nalazi se oko 600.000 tona jalovine sa teškim metalima koja se nalazi na delimično propusnom zemljištu, pa predstavlja potencijalnu opasnost za zagađenje podzemnih voda.

Na području Republike Srbije industrijske otpadne vode najčešće potiču iz prehrambene industrije. Najznačajniji zagađivači su Mlekara AD Loznica i Soko Štark d.o.o. u Ljuboviji, ovo preduzeće ima operativno postrojenje za prečišćavanje otpadne vode. Značajna količina otpadnih voda potiče iz klanica.

Na teritoriji **opštine Mali Zvornik** nema izgrađenih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. U nekim naseljima postoje izgrađene kanalizacione mreže za škole, mesne kancelarije, ambulante i okolna domaćinstva, ali kolektori tj. ispuštanje otpadnih voda se završava direktno u vodotocima ili u septičkim jamama. Opština Mali Zvornik je uradila u toku 2011. godine Generalni projekat sakupljanja, odvođenja i prečišćavanja otpadnih voda opštine Mali Zvornik sa prethodnom studijom opravdanosti na osnovi kojeg će se ubuduće graditi naseljski kanalizacioni sistemi sa odgovarajućim postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda.

Ljubovija ima uređen sistem kanalizacije, ali se sanitarno-fekalne otpadne vode ne prečišćavaju, već se na više lokacija direktno ispuštaju u reke Ljubovidu i Drinu, kao i u lokalne jazove i vododerine. U ostalim naseljima ove opštine ne postoje kanalizacioni sistemi za sakupljanje i evakuaciju otpadnih voda, a na to su najviše uticali razbijeni tip seoskih naselja i sama konfiguracija terena. Od velikog značaja za ovaj kraj i lokalne reke je izgradnja sanitarno-fekalne kanalizacione mreže u naseljima uz Drinu sa mini-uređajima za prečišćavanje sanitarno-fekalnih voda, kao i postrojenja namenja za iste svrhe na nivou naselja i industrijskih pogona.

Opština Bajina Bašta nema sistem za sakupnljanje i tretman sanitarnih voda ni u urbanom ni u ruralnom delu. Oko 90% užeg gradskog jezgra priključeno je na kanalizacionu mrežu. Sve sakupljene otpadne vode, se bez prethodnog tretmana, na dva ispusta koja se u nadležnosti JKP, direktno ispuštaju u reku Drinu. Reka Pilica, koja protiče kroz grad Bajinu Baštu je nekada bila mnogo bogatija vodom nego danas zbog zahvatanja vode iz aluviona radi vodosnabdevanja

stanovnika i industrije. Još gori pokazatelj je da se u njeno korito ove male rečice uliva kanalizaciju iz grada i tako dospeva u Drinu.

Zagađivači kanalizacije, a potom i reke Drine su vode iz parionica drveta koje sadrže fenole. Postoji veći broj manjih privatnih preduzeća koja se bave obradom drveta.

Najznačajniji industrijski zagađivači na prostoru Republike Srpske su fabrika glinice "Birač a.d." u Zvorniku, rudnik uglja i termoelektrana u Ugljeviku, rudnik olova i cinka "Sase" i fabrika za pocinkavanje u Srebrenici, rudnik boksita "Boksit a.d." Milići i "Alpro a.d.", kompanija koja se bavi obradom aluminijuma iz Vlasenice.

Na obalama Drine su prisutne naseljske i divlje **deponije komunalnog otpada** koje doprinose zagađenju. Na obalama Drine, od Bajine Bašte do ušća u Savu, ima više od 50 divljih deponija na području Republike Srbije. Na području Crne Gore ima preko 20 deponija komunalnog otpada u slivu Drine, kao i oko 50 deponija na području Republike Srpske. Otpad i razno smeće baca se po gotovo svim potocima i rečicama što se ulivaju u Drinu, koja zatim ogromne količine smeća odnosi do hidroelektrana u Bajinoj Bašti i Malom Zvorniku.

Plutajući otpad je značajan problem reke Drine. Ovo je analizirano u ICPDR (http://www.icpdr.org/main/publications/drina-rivers-floating-problem) 2008 godine.

Većina postojećih deponija ne zadovoljava osnovne kriterijume za sanitarno deponovanje komunalnog otpada. Tretman komunalnog otpada najčešće podrazumeva samo njegovo deponovanje, dok se drugi tretmani kao što su separacija, recikliranje ili termička obrada najčešće ne primenjuju.

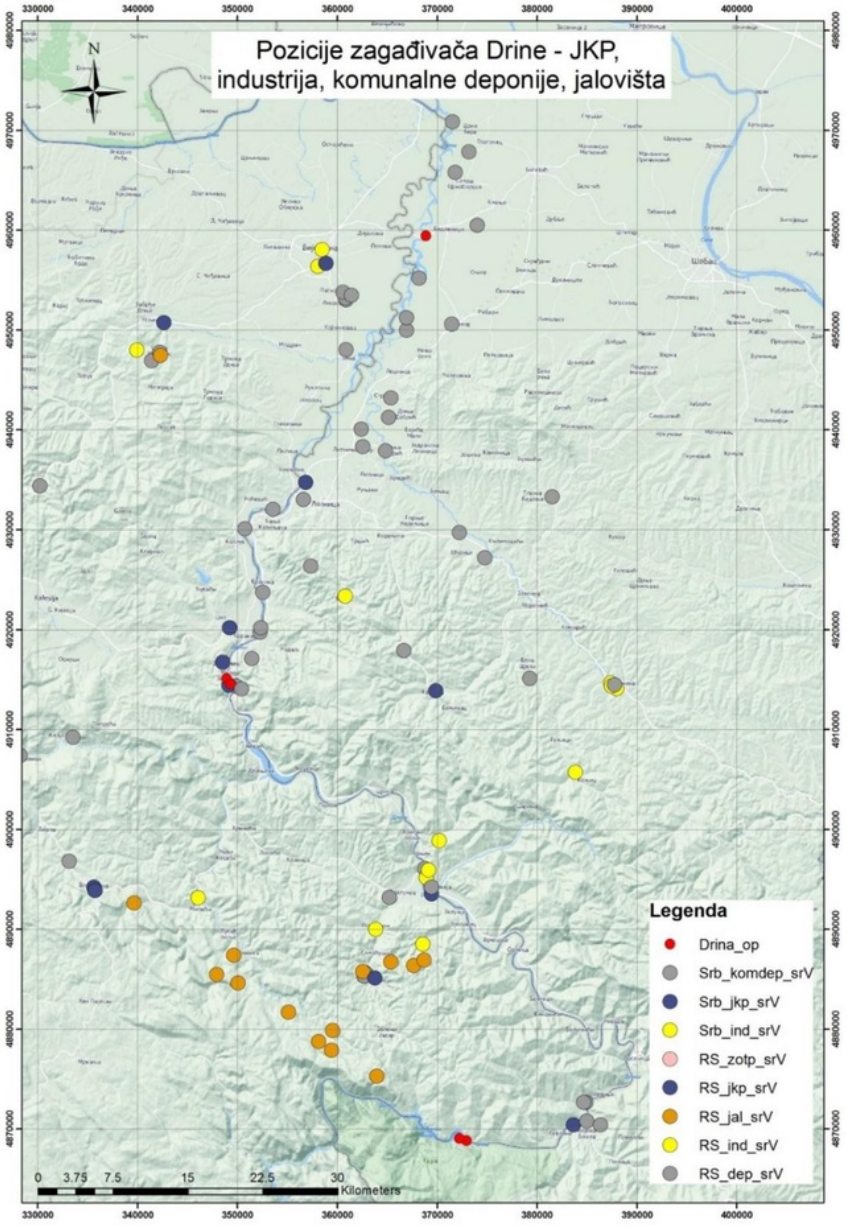
Problem odlaganja komunalnog otpada nije trajno rešen u opštini Mali Zvornik. Otpad se odvozi na sanitarnu deponiju u Loznicu (odlaže se otpad iz Loznice, Ljubovije i M. Zvornika). Postojeće

odlaganje otpada nije u skladu sa principima zaštite životne sredine. Gradska deponija, kao i industrijska deponija "Viskoze", nalazi se u blizini ušća Štire u Drinu. Kroz telo deponije prolaze odlaze vode koje dospevaju u Drinu, preko reke Štire, a deo se procеđuje i vrši pritisak na podzemne vode. Otpad se ne tretira, niti odvaja i reciklira, a kapacitet deponije je popunjen, zato se pristupilo sanaciji i rekultivaciji deponije.

Lokacije najznačajnijih zagađivača donjeg dela sliva reke Drine su prikazane na Sl. 12.

Poljoprivreda vrši pritisak na vodotokove preko uzimanja vode za navodnjavanje, ispiranja nutrijenata i pesticida sa površina pod poljoprovrednim usevima, ispiranjem nutrijenata, organskih materija i patogenih mikroorganizama sa stočarskih farmi. Direktni podaci koji se odnose na reku Drinu i njene pritoke nisu dostupni pa su ovde prikazani podaci o poljoprivrednim aktivnostima (Vujović i sar. 2016).

Proporcije poljoprivrednog zemljišta u upotrebi kreću se u rasponu od oko 70% u opštini Bogatić do 30% u opštini Bajina Bašta. Poljoprivreda predstavlja najdominantniju privrednu delatnost na području opštine Bogatić i oko 50% ukupnog stanovništva ove opštine se bavi poljoprivredom. Ukupna površina poljoprivrednog zemljišta na području opštine Bogatić iznosi 31.213 ha, od čega se koristi 26.908 ha. Uvođenjem sistema za navodnjavanje, u poslednje vreme (od 1991. do danas) stvaraju se povoljniji uslovi pre svega za razvoj povrtarstva većih razmera.



Slika 12. Pozicije zagađivača donjeg dela sliva reke Drine (Vujović i sar. 2016)

Na području opštine Ljubovija ukupna površina poljoprivrednog zemljišta iznosi 20.265 ha. Obradivo zemljište se najvećim delom nalazi u dolini reke Drine, a manji deo u brdsko-planinskom zaleđu. Pašnjaci u brdsko-planinskoj oblasti su dobra osnova za razvoj stočarstva i

pčelarstva, ali i organizovanog sakupljanja i prerade lekovitog bilja. Značajan deo poljoprivrede ovog kraja čini voćarska proizvodnja, pre svega maline, kupine i šljive, ali nema velikih komercijalnih zasada. Zbog konfiguracije terena ovo područje ima bogatu hidrografsku mrežu i povoljne uslove za podizanje ribnjaka. Trenutno postoji pet pastrmskih ribnjaka, a u perspektivi je i izgradnja objekta za preradu ribe.

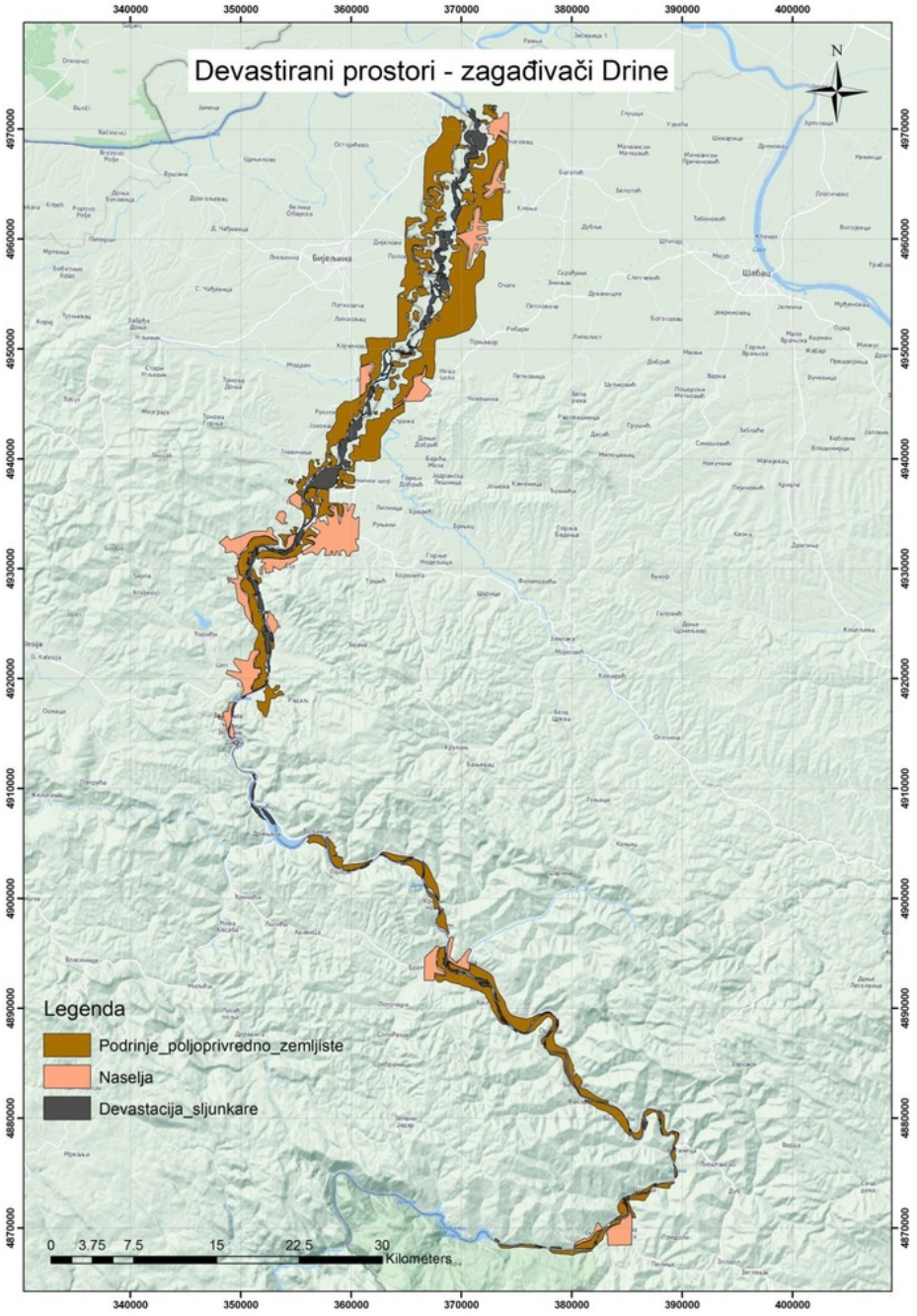
Ukupna površina poljoprivrednog zemljišta na području opštine Mali Zvornik iznosi 7686 ha. U poljoprivrednoj proizvodnji dominira uzgoj žitarica, na oko 40% površina obradivog zemljišta i ratarska proizvodnja. Ratarska proizvodnja u opštini Mali Zvornik se gotovo u celosti odvija na individualnim gazdinstvima. Ostatak poljoprivrednog zemljišta zauzimaju voćnjaci, livade i pašnjaci.

5.1.2. Devastirani prostori

Na području donjeg toka reke Drine u i inundacionom pojasu se nalaze kvartarni aluvijalni sedimenti u obliku peska i šljunka kako na obali tako i u rečnom toku. Podaci o rezervama nisu dostupni. Pre izgradanje brana HE Zvornik i HE Bajina Bašta zbog slabe kinetičke moći vodotoka u odnosu na gornji i srednji tok, u donjem toku je dolazilo do odlaganja velikih količina peska i šljunka naročito u periodu visokih voda tako da debljina ovih naslaga iznosi 2-10-m. Izgradnjom uzvodnih akumulacija ovaj proces je praktično zaustavljen. Detaljan opis lokacija na kojima se eksploatiše šljunak i pesak na području opština Badovinci, Ljubovija i Mali Zvornik (koje pripadaju području vodotoka koje je predmet ove disertacije) dat je u Studiji o održivom korišćenju i zaštiti prirodnih resursa u prekograničnom području Srbija – Bosna i Hercegovina koju je izrađena 2014. god u saradnji Centra za održivi ekološki razvoj i UNEKO.

Problematika eksploatacije peska i šljunka iz korita i priobalja ima izraženu prostornu i vremensku dimenziju. Eksploatacija aluvijalnog nanosa se vrši duž celog vodotoka, na dužini od oko 50 km. Nizvodno od HE "Bajina Bašta" do ušća Drine u Savu je evidentirano: 14 registrovanih preduzeća za eksploataciju šljunka ili njihovu separaciju, 2 divlja (nelegalna) iskopa šljunka i 2 napuštena lokaliteta eksloatacije šljunka (Sl. 13.).

Ekspoatacija se često odvija nekontrolisano, na proizvoljnim lokacijama i pri nedefinisanim uslovima. Neophodno je definisati lokacije na kojima se ova aktivnost može obavljati sa minimalnim uticajem na stanje vodotoka. To podrazumeva: 1. definisanje prostora i uslova za eksploataciju građevinskog materijala, 2. Strogu kontrolu eksploatacije šljunka iz plavnog područja reke Drine i njeno ograničavanje i 3. Obaveznu rekultivaciju prostora nakon završetka aktivnosti sa privođenjem nameni napuštenih kopova. Time bi se sprečili negativni uticaji koji se ogledaju u promeni korita vodotoka što izavziva eroziju koja ugrožava plodne oranice i naselja na desnoj obali, produbljivanje napuštenih rukavaca koji postaju ponovno aktivni, zatrpavanje depresija nastalih eksploatacijom raznim vidovima otpada.

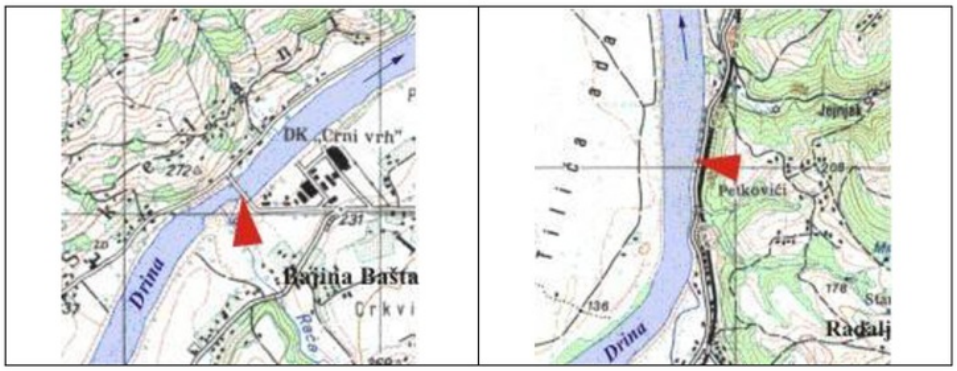


Slika 13. Devastirani prostori (Vujović i sar. 2016)

5.2. EKOLOŠKI STATUS REKE DRINE

5.2.1. Hidrološke karakteristike

Hidrološka merenja i osmatranja uspostavljena su od strane RHMZ Srbije. Osmatračku mrežu sliva Drine čini 10 stanica. Na stanicama se osmatraju vodostaji, protoci, temperatura vode, suspendovani nanos, pojava leda i kvalitet vode. Na toku Drine u posmatranom delu vodotoka postoje dve osmatračke stanice (Sl. 14.).

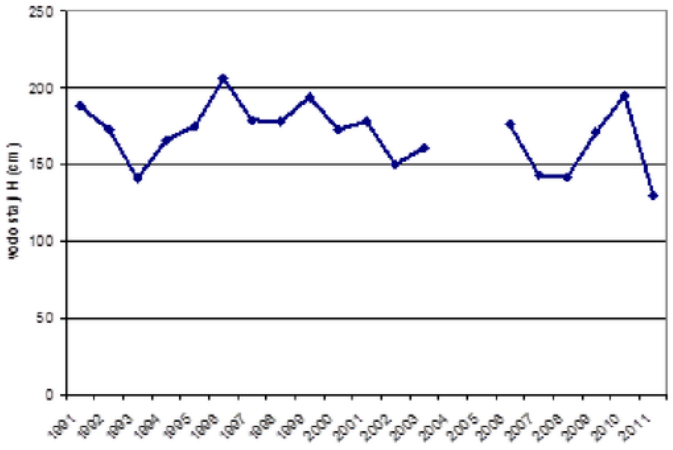


Slika 14. Položaj mernih stanica Bajina Bašta (levo) i Radalj (desno)

Analizirani su podaci o vodostaju i proticaju reke Drine registrovani u profilu v.s. Radalj. Treba napomenuti da je prirodni režim reke Drine u donjem delu njenog sliva u velikoj meri narušen, odnosno uslovljen je radom hidroelektrana Bajina Bašta i Zvornik.

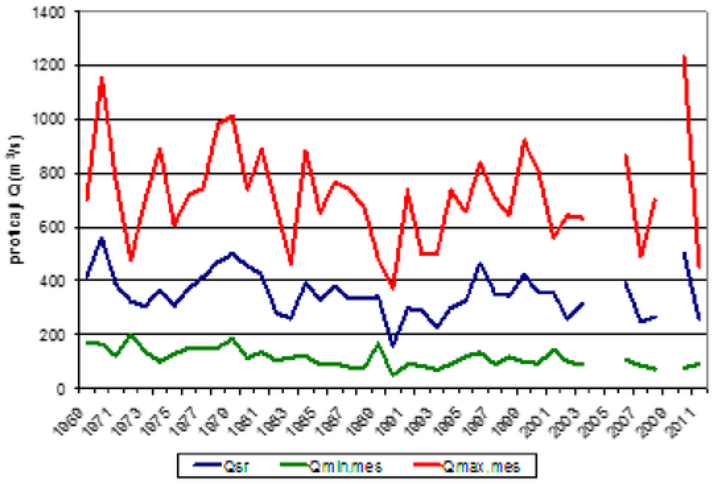
Vodomerna stanica Radalj na reci Drini uspostavljena je 1976. godine. Nalazi se na 76.7 km od ušća u reku Savu i kontroliše slivnu površinu u iznosu od 17.490 km^2. Kota nule vodomerne letve iznosi "0"=129.47 mnm. Za potrebe analize režima vodostaja koriste se srednje mesečne vrednosti vodostaja i prateći statistički parametri: standardna devijacija - σ, koeficijenti varijacije

– Cv i asimetrije – Cs, kao i ekstremne vrednosti (maksimalni i minimalni vodostaji). Na osnovu analize urađene za period od 1991-2011. godine. može se zaključiti da srednje višegodišnja vrednost vodostaja reke Drine u profilu v.s. Radalj iznosi 169 cm, dok se amplituda srednjih godišnjih vrednosti vodostaja kreće u intervalu od 130 cm (2011. godine zabeležena vrednost) pa do 206 cm (1996. godine). Srednje mesečne vrednosti se kreću u intervalu od 66 cm (septembar 2009. i avgust 2011. godine) pa do 328 cm (decembar 2010. godine). Apsolutni minimum zabeležen u periodu 1991-2011. je 3. oktobra 2010. godine u iznosu od 33 cm, dok je istorijski minimum zabeležen 20. aprila 1998. godine u iznosu od 0 cm. Trećeg decembra iste 2010. godine zabeležen je vodostaj u iznosu od 660 cm i ova vrednost se smatra apsolutnim maksimumom koji je zabeležen na ovoj stanici od njenog formiranja pa zaključno sa 2011. godinom. Mesec sa najvišim nivoom vode je april kada u proseku vodostaj iznosi 231 cm. Nakon aprila primetan je opadajući trend vodostaja sve do avgusta (104 cm), odnosno septembra (105 cm). Nakon septembra postoji generalni trend porasta do aprila. (Sl. 15.).



Slika 15. Srednje godišnji vodostaji reke Drine u profilu v.s. Radalj za osmatrački period 1991-2011

Za potrebe analize režima vodostaja izabrane su tri karakteristične godine, 2003. kao predstavnik srednjih vodostaja (Hsr= 161 cm), 2010, kao predstavnik godine sa visokim vodostajima (Hsr= 195 cm) и 2011. godina kao predstavnik godina sa niskim vodostajima (Hsr= 130 cm). Maksimalni vodostaji unutar godine vezani za prolećne mesece, uzrokovane prolećnim kišama i otapanjem snega. Nasuprot ovome, period avgust-septembar je period sa najnižim vrednostima vodostaja. Treba napomenuti da posle izgradnje zvorničke hidrocentrale vodostaj Drine u toku dana nizvodno od Zvornika oscilira oko 1 m. Srednji višegodišnji proticaj reke Drine u profilu v.s. Radalj iznosi 352 m^3/s, obzirom da se srednje godišnje vrednosti kreću u intervalu od 158 m^3/s (1990. godina) pa do 559.8 m^3/s (1970. godina). Srednje dnevne vrednosti proticaja se kreću u intervalu od svega 39 m^3/s (3. avgust 1991. godine) pa čak do 3480 m^3/s (18. novembar 1979. godine). 1991-2011. Tokom ovog meseca protekne skoro 5 puta manje vode nego u aprilu, odnosno u proseku protekne svega 134 m^3/s ili zapreminski 359 x 10^6 m^3 vode (Sl. 16.).



Slika 16. Dijagram srednje godišnjih proticaja i ekstremnih vrednosti reke Drine u profilu v.s. Radalj registrovanih u periodu od 1969-2011.

5.2.2. Fizikohemijske karakteristike vode reke Drine

Sistematsko praćenje kvalitativnih karakteristika površinskih voda sprovode državne institucije na osnovu rezultata analiza izvršenih u akreditovanim laboratorijama a u skladu sa međunarodnom legislativom, prvenstveno Okvirnom direktivom o vodama EU. Standardizovane analize se vrše na uzorcima koji su prikupljeni, takođe, standardizovanim i akreditovanim metodama. Odelenje za kontrolu kvaliteta RHMZ sprovodilo je ova ispitivanja do 2011. godine, prema specifičnom programu verifikovanom od strane Vlade Republike Srbije koji se donosi na godišnjem nivou. Zakonom o ministarstvima (2011. godina) poslovi monitoringa kvaliteta vode u državnoj mreži stanica prešli su u nadležnost Agencije za zaštitu životne sredine

Sistematsko praćenje kvalitativnih karakteristika površinskih voda se sastoji od izvođenja procedura uzorkovanja, i laboratorijskih analiza fizičkih, hemijskih, bioloških i radioloških parametara u cilju klasifikacije voda na osnovu kvaliteta. Prema izveštaju o rezultatima ispitivanja kvaliteta površinskih i podzemnih voda u slivu Drine kontrola kvaliteta vode vršena je na stanicama Badovinci, Jelav, Ljubovija i Bajina Bašta, akumulacijama Bajina Bašta i Zvornik, dok je kvalitet rečnog sedimenta kontrolisan na stanici Badovinci. Kvalitet površinskih voda uglavnom nije zadržan na propisanom nivou. JP Elektroprivreda Srbije vrši sistematsko praćenje kvaliteta voda u akumulacijama kao i otpadnih voda svojih postrojenja ali ovi podaci ne smeju biti objavljivani bez njihove saglasnosti.

Radi postizanja parcijalnog cilja: prikupljanje podataka koji nedostaju izvršena su merenja 19 parametara u vodi, 10 u suspendovanom nanosu i 14 u sedimentu reke Drine na način kao je opisano u odeljku Materijal i metode. Dobijeni rezultati su upoređivani sa graničnim vrednostima u skladu sa odgovarajućom uredbom (Sl. Glasnik RS, 50/2012) (PRILOG III, Tab. p4.).

Neke karakteristike vode reke Drine značajno variraju u prostoru i vremenu (rastvoreni O_2, BPK_5, HPK) dok su druge relativno konstantne (pH, elektroprovodljivost, sadržaj površinski aktivnih agenasa, sadržaj NH4 -N) ili se javljaju sporadične razlike (BPK, HPK, sadržaj fenola) (Tab. 3., 4., 5.).

Izmerene pH vrednosti vode reke Drine na svim lokalitetima i svim periodima uzorkovanja su bile u opsegu 8-8,5, što odgovara drugoj klasi kvaliteta. Voda reke Drine ima nizak sadržaj rastvorenih soli na svim lokalitetima. Vrednosti su podjednake, do i oko 300 µS/cm i nema većih razlika u odnosu na period uzorkovanja. Koncentracije rastvorenog kiseonika u vodi reke Drine na svim lokalitetima su iznad 8 mg O_2/l, što odgovara dobrom kvalitetu vode.

Najniža koncentracija rastvorenog kiseonika je izmerena na lokalitetu HE Bajina Bašta nizvodno od brane u oktobru mesecu i iznosila je 6,5 mg O_2/l. Izmerene koncentracije hemijske potrošnje kiseonika su u većini slučajeva bile ispod granice detekcije metode (<16 mg O_2/l).

U februaru su na svim lokalitetima izmerene nešto više vrednosti hemijske potrošnje kiseonika, koje su na lokalitetima HE Zvornik i Bajina Bašta i uzvodno i nizvodno bile u okviru III klase, a na lokalitetu Badovinci u okviru IV klase kvaliteta. Izmerene koncentracije biološke potrošnje kiseonika su u većini slučajeva bile ispod granice detekcije metode (<4 mg O_2/l). U februaru i aprilu su na svim lokalitetima izmerene nešto više koncentracije, koje su na lokalitetima Badovinci i HE Bajina Bašta uzvodno od brane bile u okviru IV klase kvaliteta. Na svim ostalim lokalitetima izmerene vrednosti biološke potrošnje kiseonika su bile u okviru II klase kvaliteta.

Tabela 3. Fizičkohemijski parametri vode koji su u okviru II klase

termin	1	2	3	4	5
pH					
Badovinci	8.17	8.48	8.48	8.48	8.18
Zvornik niz	8.02	8.35	8.35	8.35	8.19
Zvornik ak	8.2	8.28	8.28	8.28	8.21
Drina niz	7.96	8.21	8.21	8.21	8.16
Drina ak	8.42	8.13	8.13	8.13	8.48
Elektroprovodljivost (µS/cm)					
Badovinci	294	306	306	306	286
Zvornik niz	294	307	307	307	280
Zvornik ak	294	303	303	303	279
Drina niz	288	295	295	295	272
Drina ak	259	292	292	292	273
Rastvoreni kiseonik (mgO_2/l)					
Badovinci	8.96	10.83	10.83	10.83	10.32
Zvornik niz	8.6	10.07	10.07	10.07	10.77
Zvornik ak	8.34	10.05	10.05	10.05	11.01
Drina niz	6.61	10.31	10.31	10.31	9.03
Drina ak	8.22	8.85	8.85	8.85	11.28
Anjonski deterdženti (mg/l)					
Badovinci	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Zvornik niz	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Zvornik ak	<0,06	<0,06	0.08	<0,06	<0,06
Drina niz	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Drina ak	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06

Tabela 4. Fizičkohemijski parametri vode koji nisu u okviru II klase u svim merenjima (organske materije)

termin	1	2	3	4	5
HPK (mg O_2/l)					
Badovinci	<16	<16	39	<16	<16
Zvornik niz	<16	<16	21	<16	<16
Zvornik ak	<16	<16	21	<16	<16
Drina niz	<16	<16	17	<16	<16
Drina ak	<16	<16	25	21	<16
BPK_5					
Badovinci	<4	<4	7	<4	<4
Zvornik niz	<4	<4	4	4	<4
Zvornik ak	<4	<4	4	<4	<4
Drina niz	<4	<4	<4	<4	<4
Drina ak	<4	<4	5	14	<4
TOC (mg/l)					
Badovinci	2.65	1.51	1.02	0.92	0.79
Zvornik niz	1.41	2.07	0.87	0.79	0.77
Zvornik ak	1.09	1.93	1.01	0.76	0.79
Drina niz	0.49	1.75	1.11	1.22	0.85
Drina ak	0.87	1.24	1.03	0.82	0.60
Utrošak kalijum-permanganata (mg/l)					
Badovinci	5.06	4.55	5.05	<0,5	<0,5
Zvornik niz	4.42	329	1.26	<0,5	<0,5
Zvornik ak	4.42	4.552	5.31	<0,5	<0,5
Drina niz	4.42	4.8	5.05	<0,5	<0,5
Drina ak	4.42	4.8	2.02	<0,5	<0,5

Tabela 5. Fizičkohemijski parametri vode koji su u okviru IV klase u nekom periodu

	1	2	3	4	5
Amonijak (mgN/l)					
Badovinci	<0,02	<0,02	0.17	0.10	<0,02
Zvornik niz	<0,02	<0,02	0.21	0.06	0.045
Zvornik ak	<0,02	<0,02	0.10	0.06	0.115
Drina niz	<0,02	<0,02	0.08	0.02	<0,02
Drina ak	<0,02	<0,02	0.08	0.09	<0,02
Nitrati (mgN/l)					
Badovinci	0.167	0.446	0.404	0.493	0.42
Zvornik niz	0.224	0.468	0.361	0.44	0.417
Zvornik ak	0.219	0.483	0.383	0.436	0.467
Drina niz	0.176	0.473	0.364	0.564	0.379
Drina ak	0.16	0.428	0.264	0.641	0.383
Nitriti (mgN/l)					
Badovinci	0.005	0.003	0.011	0.006	0.009
Zvornik niz	0.006	0.003	0.009	0.005	0.007
Zvornik ak	0.007	0.003	0.009	0.004	0.006
Drina niz	0.012	0.006	0.01	0.003	0.006
Drina ak	0.003	0.005	0.007	0.002	0.006
Fenoli (mg/l)					
Badovinci	<0,025	<0,025	<0,031	0.07	<0,025
Zvornik niz	<0,025	<0,025	<0,025	0.07	<0,025
Zvornik ak	<0,025	<0,025	<0,025	0.06	<0,025
Drina niz	<0,025	<0,025	<0,025	0.046	0.026
Drina ak	<0,025	<0,025	0.03	0.05	0.028

Izmerene koncentracije ukupnog organskog ugljenika u vodi Drine na svim lokalitetima i u svim periodima uzorkovanja bile su ispod 5 mg/l, što je granična vrednost za drugu klasu kvaliteta. Izmerene koncentracije amonijačnog azota u vodi reke Drine su se kretale od veoma niskih koncentracija, koje su ispod granice detekcije metode do 0,2 mg N/l. Jedino na lokalitetu Badovinci i HE Zvornik uzvodno od brane, samo u februaru mesecu, izmerena koncentracija amonijačnog azota prelazi vrednost za drugu klasu, dok vode na svim ostalim lokalitetima zadovoljavaju II klasu kvaliteta. Na svim lokalitetima i u svim periodima uzorkovanja, koncentracije nitratnog azota su bile ispod granične vrednosti za II klasu kvaliteta. Izmerene koncentracije nitrita u vodi Drine su na svim lokalitetima niske i u okviru klase II, osim na lokalitetu HE Bajina Bašta nizvodno od brane, gde koncentracija neznatno prevazilazi propisanu vrednost za II klasu. Kada su u pitanju površinski aktivne materije (deterdženti), jedino je na lokalitetu HE Zvornik nizvodno od brane i to samo u februaru kvantifikovana koncentracija, ali je ona svakako daleko ispod propisane vrednosti za II klasu. Na svim ostalim lokalitetima, koncentracije deterdženata su veoma niske i kretale su se ispod granice detekcije metode, koja iznosi 0,06 mg/l. Izmerene koncentracije fenola na svim lokalitetima u aprilu mesecu su bile visoke i kreću se iznad vrednosti za IV klasu, što znači da takva voda odgovara V klasi. Na HE Bajina Bašta u maju i februaru i na lokalitetu Badovinci u februaru, koncentracije fenola su u okviru IV klase. U oktobru i novembru na svim lokalitetima su izmerene koncentracije fenola bile ispod granice detekcije metode.

Nedavno je analiziran status kvaliteta vode i prostorni i vremenski tredovi duž reke Drine preko 7 parametara značajnih za određivanje indeksa kvaliteta vode (Leščanin et al 2014) a na osnovu zvaničnih dostupnih podataka. Na osnovu hemijskih parametara kvaliteta vode može se videti da je na sve četiri kontrolne tačke (Bajina Bašta, Ljubovija, Jelav, Badovinci) reka Drina dovoljno

čista da se njena voda može upotrebiti u bilo koju svrhu (II kategorije), za vodosnabdevanje stanovništva uz minimalni tretman. Rezultati marenja iz 2015. i 2016. nisu saglasni sa ovom tvrdnjom.

5.2.3. Sadražaj teških metala u vodi

Sadržaj TM u vodi je prikazan na Tab. 6.

Nikl je kvantifikovan na svim lokalitetima samo u vodi koja je uzorkovana u aprilu mesecu i kretale su se oko 4-5 µg/l. Nikl je prioritetna supstanca i za njega propisana prosečna godišnja koncentracija iznosi 4 µg/l, dok je maksimalna dozvoljena koncentracija 34 µg/l. Sve vrednosti na svim lokalitetima su daleko ispod maksimalno dozvoljenih.

Sve izmerene koncentracije cinka u vodi reke Drine su bile ispod 70 µg/l, što je daleko ispod vrednosti propisane za II klasu kvaliteta (1 mg/l)

Na svim lokalitetima u aprilu i maju su izmerene nešto više koncentracije kadmijuma u vodi i bile su iznad prosečne godišnje koncentracije koja iznosi 0,15 µg/l. Sve vrednosti su bile ispod maksimalno dozvoljene koncentracije od 0,9 µg/l

Izmerene koncentracije hroma bile su najveće u aprilu mesecu i to na svim lokalitetima i tada su u okviru III klase. U svim ostalim periodima uzorkovanja, koncentracije hroma su niske i nalaze se u okviru II klase kvaliteta.

Sve izmerene koncentracije arsena u vodi Drine na svim lokalitetima su niske (manje od 5 µg/l) i prema tome vode se svrstavaju u II klasu kvaliteta.

Tabela 6. Sadržaj teških metala u vodi (µg/l)

		BBA	**BB**	**ZA**	**Z**	**Bad**
Ni	*1*	<1,06	<1,06	<1,06	<1,06	<1,06
	2	<1,06	<1,06	<1,06	<1,06	<1,06
	3	<1,06	<1,06	<1,06	<1,06	<1,06
	4	4.75	4.22	4.76	4.64	5.25
	5	<1,06	<1,06	<1,06	<1,06	<1,06
Zn	*1*	<0,011	<0,011	<0,011	<0,011	<0,011
	2	<0,011	<0,011	<0,011	<0,011	<0,011
	3	0.03	0.03	0.029	0.03	<0,011
	4	0.05	0.05	0.062	0.064	0.06
	5	0.04	0.04	0.064	0.062	0.04
Cd	*1*	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
	2	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
	3	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
	4	0.19	0.30	0.20	0.19	0.67
	5	0.27	0.26	0.23	<0.15	0.22
Cr	*1*	<0.44	<0.44	<0.44	<0.44	<0.44
	2	<0.44	<0.44	<0.44	<0.44	<0.44
	3	1.20	<0.44	2.513	4.767	6.116
	4	47.80	56.90	68.200	60.900	89.500
	5	6.90	6.50	6.200	6.300	5.600
Cu	*1*	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45
	2	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45
	3	1.01	<0,45	1.306	1.486	1.522
	4	1.16	1.41	1.900	1.290	1.760
	5	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45	<0,45
Pb	*1*	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92
	2	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92
	3	<2,9	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92
	4	<5,9	<5,9	<5,9	<5,9	<5,9
	5	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92	<2,92
As	*1*	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28
	2	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28
	3	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28	<1,28
	4	<1,28	3.41	<1,28	<1,28	<1,28
	5	2.40	2.20	2.90	2.70	4.10

Sve izmerene koncentracije olova i žive (na svim lokalitetima i u svim periodima uzorkovanja) su bile veoma niske, tj. ispod granica detekcije metode.

Najbolji kvalitet vode na svim lokalitetima je u oktobru mesecu, kada skoro na svim lokalitetima kvalitet odgovara II klasi (dobrom ekološkom potencijalu).

Najlošiji kvalitet vode na svim ispitivanim lokalitetima je u aprilu zbog izmerenih visokih koncentracija fenola, nikla i kadmijuma, potencijal vode se ocenjuje kao loš.

Voda na lokalitetu Badovinci se karakteriše kao IV klasa prema sadržaju: HPK, BPK, fenoli, nikl, kadmijum, dok je sadržaj fenola u IV ciklusu uzorkovanja bio u okviru klase V.

Koncentracije nikla i kadmijuma na lokalitetu HE Zvornik, kako uzvodno tako i nizvodno od akumulacije, su takve da karakterišu vodu u III/IV klasu. Koncentracije HPK i amonijaka su u okviru klase III, dok koncentracije ostalih merenih pokazatelja se kreću u okviru klase II.

Prema Izveštaju Hidrometeorološkog zavoda Srbije o kvalitetu vodotoka u 2015. godini (RHMZ 2015) na lokalitetima Bajina Bašta i Badovinci voda odgovara II klasi prema 18 parametara (Tab. 7.), a rezultati dodatnih merenja su sa njim u saglasnosti.

Kvalitet vode Drine na lokalitetu oko Bajine Bašte, uzvodno i nizvodno od akumulacije, odgovara klasi IV prema sadržaju BPK, fenola, nikla i kadmijuma. Zapaža se bolji kvalitet vode u jesenjem periodu uzorkovanja, kada je u okviru klase I/II prema svim ispitivanim parametrima na svim lokalitetima. Na kvalitet vode svakako utiču proticaji koji su ujesen bili značajno manji u odnosu na proleće. Ne zapaža se negativan uticaj brana u HE Bajina Bašta i Zvornik na kvalitet vode. Loša ocena kvaliteta je uglavnom posledica visokog sadržaja fenola, koja je detektovana samo u jednom terminu što ukazuje na antropogeno poreklo ovog zagađenja. U slivu reke Drine

se nalaze brojne lokacije drvnoprerađivačke industrije u kojoj se fenol koristi kao zaštitno sretstvo pa je verovatno došlo do nekontrolisanog izliva njihovih netretiranih otpadnih voda.

Tabela 7. Uporedni prikaz kvaliteta vode ujesen 2015. god

		Badovinci		Bajina Bašta	
parametar	jedinice	RHMZ	Studija	RHMZ	Studija
SS		10	11	10	11
Rastvireni O_2	mgO_2/l	9.98	12.19	10.84	12.06
pH		8.44	8.73	8.35	8.69
EC	$\mu S/cm$	289	273	282	280
NH_4 N	mgN/l	0.10	0.05	0.09	0.07
NO_2 N	mgN/l	0.005	0.007	0-009	<0.004
NO_3 N	mgN/l	0.40	0.40	0.40	0.40
Zn	µg/l	26.3	9.7	6.1	15.6
Cu	µg/l	2.8	1.7	1.6	1.2
Cr	µg/l	1.7	0.5	0.5	0.7
Pb	µg/l	1.0	<0.5	2.3	0.5
Cd	µg/l	0.17	<0.02	0.11	<0.02
Ni	mg/l	2.9	0.8	0.7	0.5
HPK	mgO_2/l	8.0	8.0	<5	<5
BPK_5	mgO_2/l	1.3	0.6	0.9	0.8
TOC	mg/l	2.9	2.6	1.1	1.8
Deterdženti	mg/l	0.020	<0.01	0.020	<0,01
fenoli	mg/l	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

5.2.4. Suspendovani nanos

Izmerene vrednosti sadržaja TM u suspendovanom nanosu i sedimentu su upoređivane sa vrednostima propisanim odgovarajućom uredbom o graničnim vrednostima zagađujućih materija (Sl. Glasnik RS, 50/2012). (PRILOG III, Tab.p5.)

Koncentracija suspendovanog nanosa u vodi Drine na svim lokalitetima je veoma mala i kretala se do 10 mg/l. U njemu je analiziran sadržaj metala i sadržaj gline i organske materije, kako bi se izvršila klasifikacija.

Najniže koncentracije nikla u suspendovanom nanosu na svim lokalitetima su izmerene u aprilu mesecu i kreću se ispod ciljne vrednosti (Tab. 8.). U svim ostalim periodima uzorkovanja (oktobar, novembar, februar, maj) i na svim lokalitetima izmerene koncentracije nikla su premašile maksimalno dozvoljenu koncentraciju od 44 mg/kg. Na svakom lokalitetu u jednom periodu uzorkovanja, koncentracija nikla prevazilazi čak i remedijacionu vrednost.

Koncentracije cinka u suspendovanom nanosu su takve da na svim lokalitetima u svakom periodu uzorkovanja prevazilaze ciljnu vrednost. Najniže koncentracije cinka u suspendovanom nanosu su izmerene u aprilu mesecu, kada su na svim lokalitetima ispod maksimalno dozvoljene koncentracije od 430 mg/kg. Koncentracije cinka izmerene u oktobru, novembru i februaru su visoke i prevazilaze čak i remedijacionu vrednost (720 mg/kg).

U jesenjem i zimskom periodu uzorkovanja koncentracije kadmijuma su na svim lokalitetima premašile ciljnu vrednost, ali su ispod maksimalno dozvoljene koncentracije (6,4 mg/kg). U prolećnom periodu uzorkovanja su na svim lokalitetima izmerene niže koncentracije kadmijuma (ispod ciljne vrednosti).

Tabela 8. Koncentracije teških metala (mg/kg) u suspendovanom nanosu. 1.2.3.4.5 – termin uzorkovanja. crveno: > RV, plavo: >MDK; ND: nije detektovan

		BBA	BB	ZA	Z	Bad
Ni	1	54,9	35,3	184	158	**266**
	2	160	**307**	177	192	165
	3	198	192	**227**	208	**211**
	4	2,14	2,96	14,72	40,4	2,02
	5	61,93	81,2	75,78	113	139
Zn	1	**1048**	646	**3233**	**2649**	**1813**
	2	**1262**	624	**3002**	**2118**	**1473**
	3	**962**	**935**	**998**	**942**	**988**
	4	189	241	472	686	213
	5	238,93	**767**	673,41	501	464
Cd	1	1,21	1,88	4,23	2,85	2,39
	2	0,19	2,23	4,08	4,11	1,96
	3	2,47	2,42	2,69	2,23	2,54
	4	0,07	0,08	0,08	0,07	ND
	5	ND	0,16	0,17	0,26	0,03
Cr	1	**502**	212	136	108	120
	2	75,0	134	144	93,9	92,9
	3	62,3	69,4	76,2	69,1	72,2
	4	14,2	59,0	40,5	36,5	57,1
	5	13,59	46,6	43,55	38,4	61,2
Cu	1	**402**	**314**	157	137	102
	2	58,2	109	147	121	88,5
	3	66,0	67,4	68,6	63,5	64,3
	4	39,1	32,8	45,4	45,5	22,5
	5	38,72	65,7	61,49	60,5	48,9

Pb	1	**627**	302	357	264	243
	2	63,2	68,6	248	281	109
	3	144	139	159	137	157
	4	2,51	2,54	4,81	2,29	ND
	5	18,48	165	157,84	132	99,0
As	1	ND	11,9	**59,5**	**55,5**	**92,8**
	2	12,4	**77,8**	**177**	**270**	**81,6**
	3	**90,3**	**81,2**	**93,4**	**83,4**	**94,1**
	4	38,3	14,57	6,78	17,3	6,57
	5	9,23	**65,7**	**59,62**	**135**	37,0
Hg	1	2,24	0,48	0,60	0,77	0,46
	2	0,18	0,54	0,27	0,32	0,37
	3	1,98	1,93	2,04	2,04	1,90
	4	ND	0,04	ND	ND	ND
	5	0,04	0,06	0,05	0,06	0,05

Koncentracije hroma u suspendovanom nanosu se na svim lokalitetima kreću ispod i oko ciljne vrednosti (36 mg/kg). Samo je na lokalitetu HE Bajina Bašta uzvodno od brane i to samo u oktobru mesecu, izmerena koncentracija premašila i maksimalno dozvoljenu i remedijacionu vrednost.

Koncentracije bakra u suspendovanom nanosu reke Drine su na svim lokalitetima premašile ciljnu vrednost. Na lokalitetu Badovinci maksimalno dozvoljena koncentracija nije premašena nijedanput. Na lokalitetu HE Zvornik, kako uzvodno tako i nizvodno od brane, izmerene koncentracije bakra u oktobru i novembru prevazilaze maksimalno dozvoljenu koncentraciju (110 mg/kg). Na HE Bajina Bašta i uzvodno i nizvodno, maksimalno dozvoljena koncentracija

bakra je premašena samo u oktobru mesecu. Remedijaciona vrednost nije premašena ni na jednom od lokaliteta.

Maksimalno dozvoljena koncentracija olova u suspendovanom nanosu je premašena samo na HE Zvornik uzvodno od brane i HE Bajina Bašta i to samo u oktobru mesecu. Koncentracije olova na svim ostalim lokalitetima se kreću oko ciljne vrednosti.

Maksimalno dozvoljena koncentracija arsena u suspendovanom nanosu na lokalitetu Badovinci je premašena u tri merenja (oktobar, novembar, februar), gde je premašena i remedijaciona vrednost. Na HE Zvornik, kako uzvodno tako i nizvodno od brane je skoro u svim periodima uzorkovanja, osim u aprilu, premašena i maksimalno dozvoljena koncentracija i remedijaciona vrednost. Na HE Bajina Bašta uzvodno od brane, maksimalno dozvoljena koncentracija i remedijaciona vrednost su premašene samo u februaru, a na nizvodnom lokalitetu u novembru, februaru i maju.

Najviše koncentracije žive u suspendovanom nanosu su izmerene na svim lokalitetima u februaru mesecu, kada su premašile maksimalno dozvoljenu koncentraciju (1,6 mg/kg). Maksimalno dozvoljena koncentracija je premašena i u oktobru mesecu na HE Bajina Bašta uzvodno od brane. Remedijaciona vrednost žive nije premašena ni na jednom od lokaliteta.

Na osnovu svih izmerenih koncentracija ispitivanih metala u suspendovanom nanosu reke Drine, izvršena je klasifikacija prema kvalitetu na osnovu Uredbe (Sl. Glasnik RS, 50/2012).

Najbolji kvalitet suspendovanog nanosa je u aprilu mesecu, kada kvalitet na svim lokalitetima odgovara prvoj ili drugoj klasi i smatra se delimično zagađenim. U ostalim periodima uzorkovanja na svim lokalitetima, kvalitet suspendovanog nanosa odgovara trećoj ili četvrtoj

klasi i smatra se zagađenim. Na svakom lokalitetu pripadnost ovim klasama određuju više metala, a najčešće nikl, cink, bakar i arsen.

5.2.5. Sediment

U sedimentima reke Drine analizirani su organske materije (HPK, BPK), nutrijenti i metali.

Koncentracije HPK su se kretale i do 90000 mg/kg, a veće koncentracije su izmerene u jesenjem i zimskom periodu uzorkovanja.

Koncentracije BPK su se kretale do 30000 mg/kg. U jesen i zimu su izmerene više koncentracije u odnosu na proleće na svim lokalitetima.

Na svim lokalitetima su izmerene nešto više koncentracije nutrijenata ujesen i zimi u odnosu na proleće. Koncentracije ukupnog azota su se kretale do 2500 mg/kg, a fosfora do 700 mg/kg.

Na svim lokalitetima su izmerene nešto više koncentracije nutrijenata u jesenjem i zimskom periodu u odnosu na prolećni. Koncentracije ukupnog azota su se kretale do 2500 mg/kg, a fosfora do 700 mg/kg.

Određen je i sadržaj organske materije i gline, kako bi se izvršila klasifikacija u skladu sa odgovarajućom uredbom (Sl. Glasnik RS, 50/2012) (PRILOG III, Tab. p6.).

Koncentracije cinka na lokalitetu Badovinci i HE Bajina Bašta uzvodno i nizvodno od brane su u svim periodima uzorkovanja premašile ciljnu vrednost, ali ne i maksimalno dozvoljenu koncentraciju (Tab. 9.). Nešto više koncentracije cinka su izmerene na lokalitetu HE Zvornik, gde su u tri perioda uzorkovanja premašene i remedijacione vrednosti.

Tabela 9. Koncentracije teških metala (mg/kg) u sedimentu: 1.2.3.4.5 – termin uzorkovanja.

crveno: > RV, plavo: >MDK; ND: nije detektovan (ispod granice detekcije metode)

		BBA	BB	ZA	Z	Bad
Ni	1	41,6	56,8	68,5	104	142
	2	33,2	**280**	50,78	82,90	90,3
	3	68,4	66,4	97,3	104	135
	4	1,43	2,66	20,6	43,9	0,42
	5	29,3	58,1	75,8	113	140
Zn	1	151	214	**811**	563	299
	2	184	233	**920,68**	**925,73**	342
	3	228	193	**1004**	**1066**	314
	4	142	266	592	717	255
	5	16,9	53,9	68,2	82,0	405
Cd	1	0,11	0,08	2,51	1,73	0,35
	2	0,16	0,17	1,82	2,51	0,31
	3	0,96	0,42	0,85	2,15	0,49
	4	0,06	0,10	0,09	0,08	ND
	5	ND	0,11	0,14	0,27	0,03
Cr	1	24,8	51,8	51,7	77,5	68,2
	2	24,9	83,4	48,68	34,50	46,3
	3	48,2	33,5	63,6	48,5	60,4
	4	11,6	59,84	43,9	45,6	64,9

	5	11,6	36,0	43,6	37,1	57,1
Cu	1	18,9	16,1	29,2	40,6	15,80
	2	20,9	70,2	48,46	48,40	34,2
	3	24,3	21,6	49,3	51,7	30,6
	4	34,6	37,54	51,2	54,3	29,9
	5	31,9	50,3	60,1	59,2	50,0
Pb	1	3,64	20,4	128	112	60,6
	2	20,4	33,3	114,83	130,95	53,8
	3	87,4	50,0	106	218	98,8
	4	2,12	4,44	5,87	2,69	ND
	5	16,8	128	163	141	96,5
As	1	1,52	34,7	109	70,0	35,8
	2	6,67	45,4	87,12	145,44	28,4
	3	31,2	21,5	82,4	115	48,3
	4	35,3	12,48	9,48	16,75	7,81
	5	7,77	51,2	58,9	129	36,4
Hg	1	0,24	0,25	0,48	0,46	0,24
	2	0,15	0,44	0,28	0,24	0,13
	3	0,41	0,39	2,51	0,65	2,00
	4	ND	0,05	- ND	ND	ND
	5	0,03	0,05	0,05	0,05	0,04

Koncentracije kadmijuma na lokalitetu Badovinci i HE Bajina Bašta uzvodno i nizvodno od brane su u svim periodima uzorkovanja bile ispod ciljne vrednosti. Nešto više koncentracije kadmijuma su izmerene na lokalitetu HE Zvornik, gde su u tri perioda uzorkovanja premašene ciljne vrednosti, ali ne i maksimalno dozvoljena koncentracija

Sve koncentracije hroma (na svim lokalitetima u svim periodima uzorkovanja) u sedimentima reke Drine su bile niske i kretale su se ispod ciljne vrednosti (100 mg/kg).

Koncentracije bakra u sedimentima reke Drine su bile oko ciljne vrednosti i ni u jednom slučaju nisu premašile maksimalno dozvoljenu koncentraciju.

Sve koncentracije olova u sedimentima reke Drine su bile oko ciljne vrednosti i ni u jednom slučaju nisu premašile maksimalno dozvoljenu koncentraciju.

Najniže koncentracije arsena u sedimentima reke Drine na svim lokalitetima su izmerene u aprilu mesecu, kada su bile ispod ciljne vrednosti. Na mestu Badovinci je u februaru mesecu premašena maksimalno dozvoljena koncentracije za arsen. Na HE Bajina Bašta nizvodno od brane su u novembru i maju koncentracije arsena premašile maksimalno dozvoljenu koncentraciju. Na HE Zvornik, kako uzvodno tako i nizvodno od brane, su koncentracije arsena, u svim periodima osim u aprilu, premašile čak i remedijacionu vrednost.

Većina izmerenih koncentracija žive u sedimentima reke Drine su bile oko ciljne vrednosti, dok je maksimalno dozvoljena koncentracija premašena samo u februaru i to na svim lokalitetima.

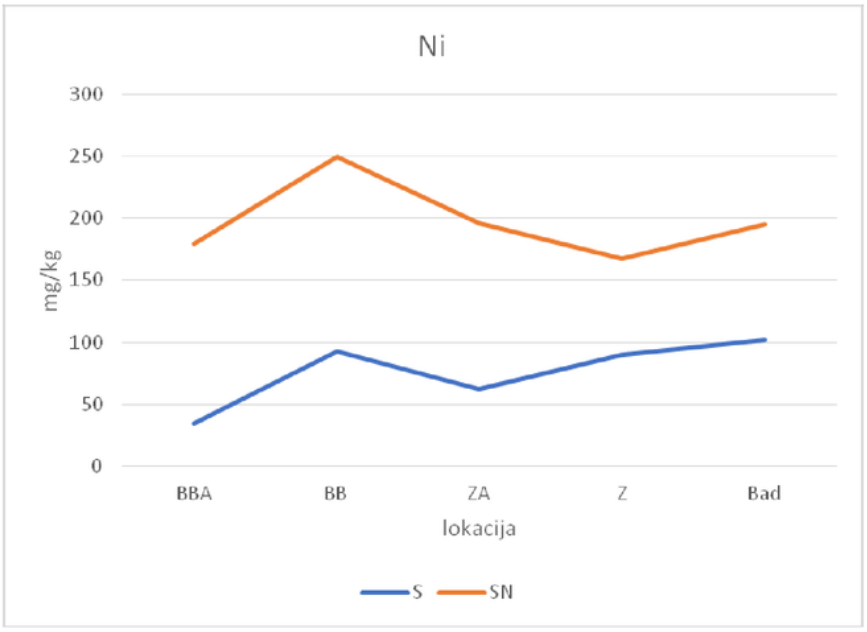
Remedijaciona vrednost nije premašena ni na jednom lokalitetu.

Na osnovu svih izmerenih koncentracija ispitivanih metala u sedimentu reke Drine, izvršena je klasifikacija u skladu sa Uredbom (Sl. Glasnik RS, 50/2012). Najbolji kvalitet sedimenta je u

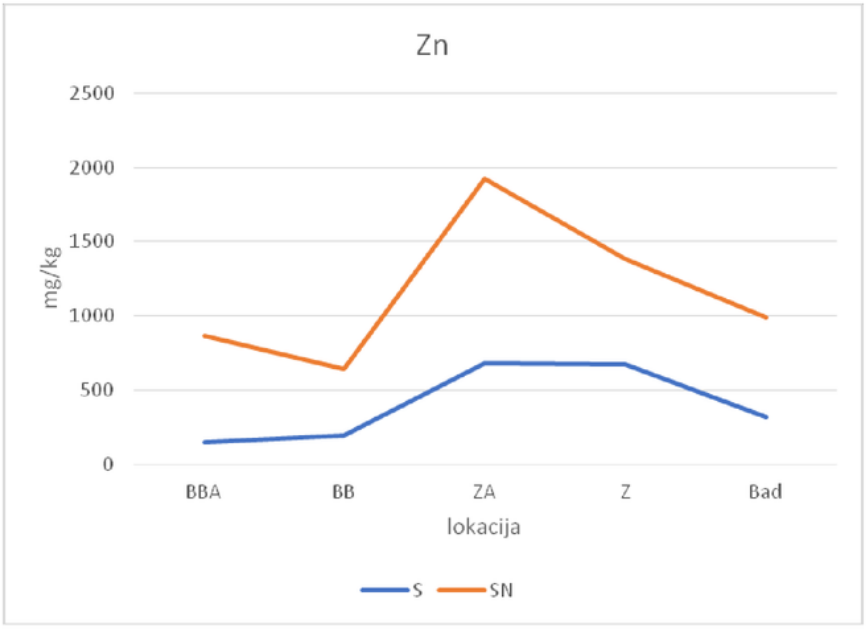
aprilu mesecu, kada kvalitet na svim lokalitetima odgovara prvoj ili drugoj klasi i smatra se delimično zagađenim. U ostalim periodima uzorkovanja na svim lokalitetima, kvalitet sedimenta odgovara trećoj ili četvrtoj klasi i smatra se zagađenim. Na svakom lokalitetu pripadnost ovim klasama određuju više metala, a najčešće nikl, cink i arsen. Najlošiji kvalitet sedimenta je na lokalitetu HE Zvornik uzvodno i nizvodno od brane, gde se karakteriše kao IV klasa i smatra se izuzetno zagađenim. Sedimenati ovakvog kvaliteta moraju biti čuvani na specifičan način koji onemogućava translokaciju polutanata u bilo koji od medija životne sredine. Posle izmuljavanja obavezna je remedijacija.

5.2.6. Prostorna distribucija teških metala u sedimentu i suspendovanom nanosu

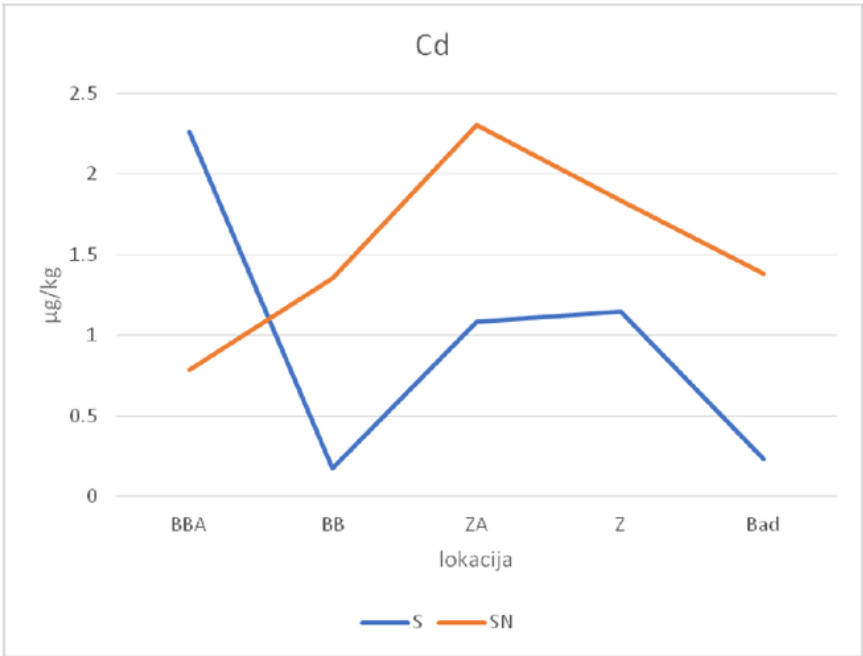
U cilju određivanja potencijalnih izvora teških metala u suspendovanom nanosu i sedimentu kao prirodnih i antropogenih, za svaki TM je izračunata srednja vrednost pet merenja (aritmetička sredina), prikazano na slikama 17-24. Sadržaj TM je veći u suspendovanom nanosu nego u sedimentu, što ukazuje da je aktuelen proces njihove dalje depozicije. Otstupanje od navedenog (za Cd na mernom mestu Bajina Bašta akumulacija i Hg na mernom mestu Zvornik akumulacija) može ukazati na antropogeni izvor zagađenja.



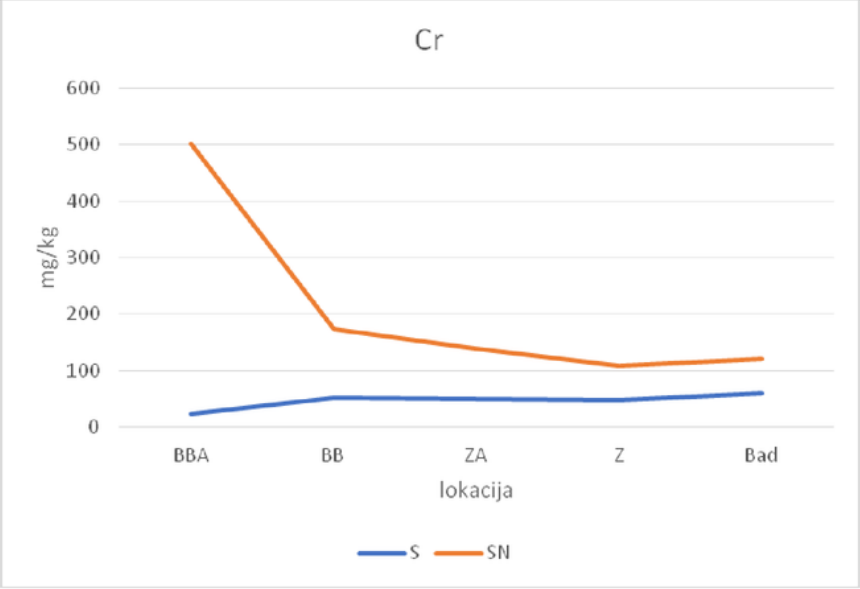
Slika 17. Srednje vrednosti koncentracija Ni u suspendovanom nanosu (SN) i sedimentu (S).



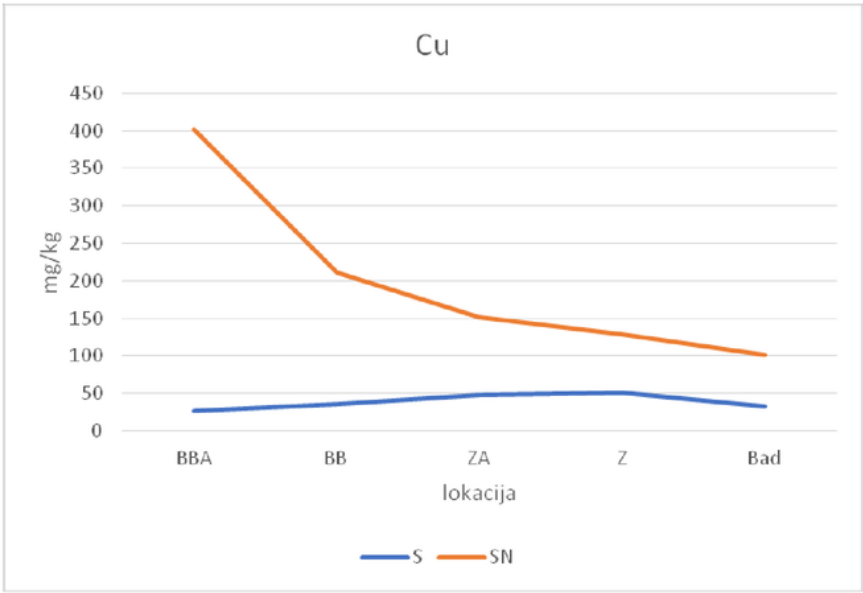
Slika 18. Srednje vrednosti koncentracija Zn u suspendovanom nanosu (SN) i sedimentu (S).



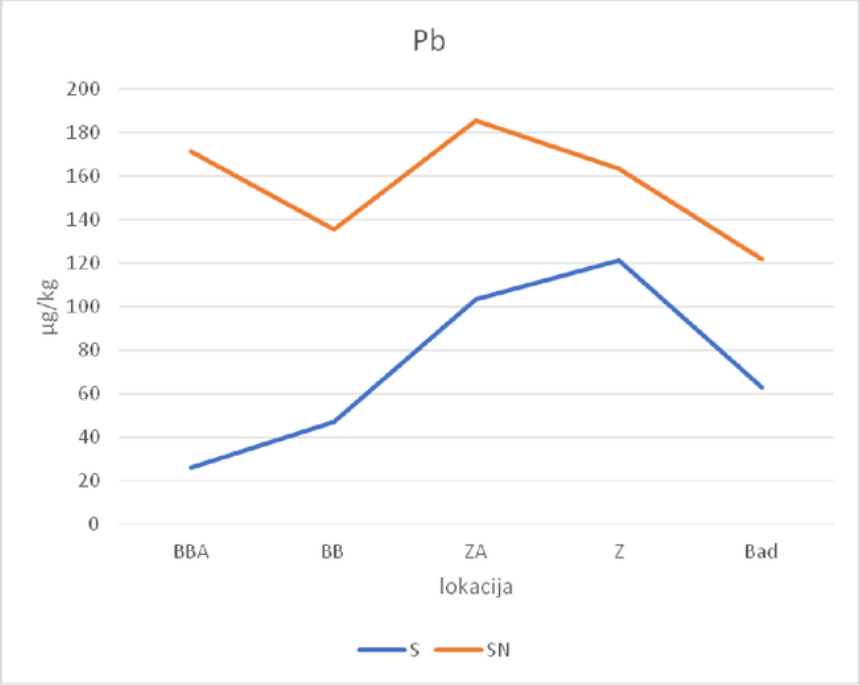
Slika 19. Srednje vrednosti koncentracija Zn u suspendovanom nanosu (SN) i sedimentu (S).



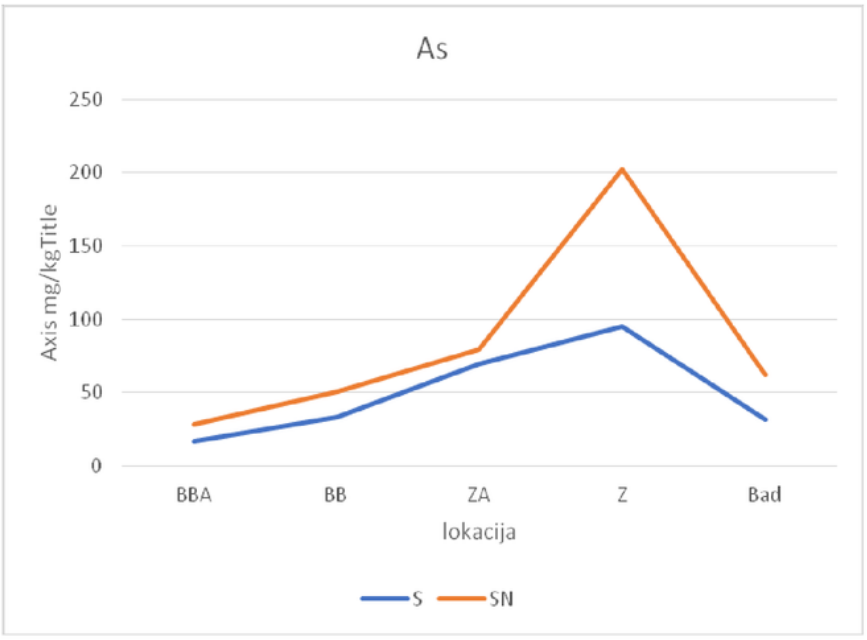
Slika 20. Srednje vrednosti koncentracija Cr u suspendovanom nanosu (SN) i sedimentu (S).



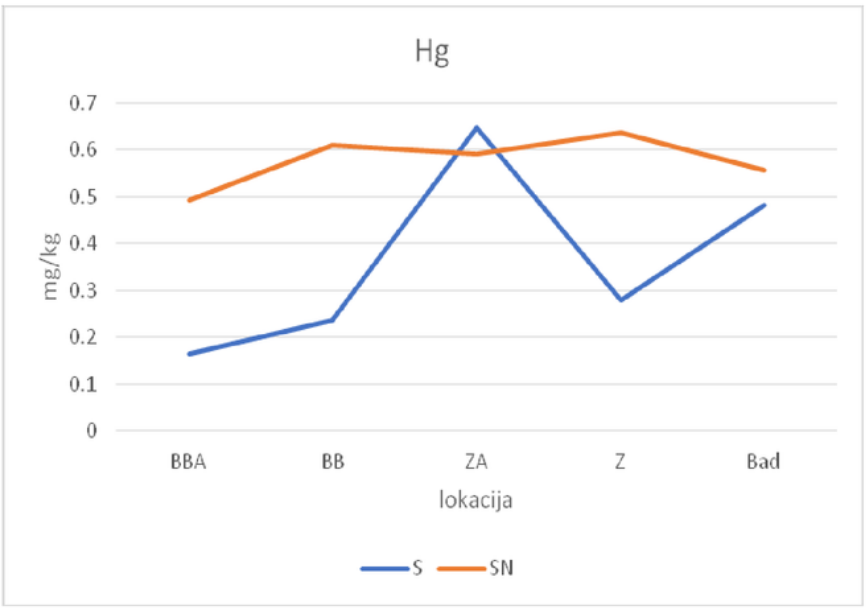
Slika 21. Srednje vrednosti koncentracija Cu u suspendovanom nanosu (SN) i sedimentu (S).



Slika 22. Srednje vrednosti koncentracija Pb u suspendovanom nanosu (SN) i sedimentu (S).



Slika 23. Srednje vrednosti koncentracija As u suspendovanom nanosu (SN) i sedimentu (S).



Slika 24. Srednje vrednosti koncentracija Hg u suspendovanom nanosu (SN) i sedimentu (S).

Na osnovu rezultata ispitivanja (Tab. 10.) može se reći da je kvalitet reke Drine nezadovoljavajući (i sastav vode i sastav sedimenta). Odstupanje od dobrog potencijala postoji za veći broj parametara i javlja se u više ispitivanih perioda. Za potpunu ocenu ekološkog statusa vode, potrebno je vršiti analize svih pokazatelja kvaliteta propisanih u aktuelnoj zakonskoj regulativi. Rezultati su pokazali da postoje varijacije u kvalitetu vode i sedimenta u različitim periodima uzorkovanja. Za efikasno upravljanje nephodno je nastaviti sprovođenje monitoringa vode i sedimenta, kao i identifikaciju svih izvora zagađivanja, da bi se procenili pritisci i njihovi uticaji u cilju poboljšanja kvaliteta i postizanja dobrog ekološkog potencijala.

Tabela 10. Zbirni prikaz klasifikacije kvaliteta vode, suspendovanog nanosa i sedimenta prema sadržaju teških metala. Brojevi označavaju termin uzorkovanja

		BB a	BB	Z a	Z	Bad
Ni	voda	četvrta 4	četvrta 4	četvrta 4	četvrta 4	četvrta 4
	nanos	treća 1,2,3,5	četvrta 2 treća 3,5	četvrta 3 treća 1,2,5	treća 1,2,3,5	četvrta 1,3 treća 2,5
	sediment	III 3	četvrta 2; treća 1,3,5	treća 1,2,3,5	treća 1,2,3,5	treća 1,2,3,5
Zn	voda			četvrta 1,2,3		
	nanos	četvrta 1,2,3	četvrta 3,5		četvrta 1,2,3	četvrta 1,2,3
	sediment			četvrta 1,2,3	četvrta 2,3	
Cd	voda	četvrta 4,5	četvrta 4,5	četvrta 3,4	četvrta 4	četvrta 2, 4, 5
	nanos					
	sediment					
Cr	voda					treća 4
	nanos	četvrta 1				
	sediment					
Cu	voda					treća 1
	nanos	četvrta 1	četvrta 1 treća 2	treća 1,2	treća 1,2	
	sediment					
Pb	voda					
	nanos	četvrta 1				
	sediment					
As	voda					
	nanos	četvrta 3	četvrta 2,3,5	četvrta 1,2,3,5	četvrta 1,2,3,5	četvrta 1,2,3
	sediment			četvrta 1,2,3,5	četvrta 1,2,3,5	
Hg	voda					
	nanos	III 1,3	III 3	III 3	III 3	III 3
	sediment			III 3		III 3

5.2.7. Analiza makrofita

Indikatorska funkcija makrofita se sve više potencira u ekološkim istraživanjima, jer je sadržaj nekog elementa u biljnom tkivu pokazatelj njegovog prisustva u vodenoj sredini. Submerzne vrste imaju naročito izraženu sposobnost akumulacije hemijskih elemenata iz vodenog okruženja, tako da koncentracija pojedinih elemenata u njihovom tkivu mogle biti 10, 100 ili nekoliko hiljada puta veća od njihove koncentracije u spoljašnjoj sredini (Ravera et al., 2003; Baldantoni et al., 2005). Zbog toga je uloga makrofita u kruženju teških metala u akvatičnim ekosistemima nezamenljiva. Ovo kruženje odvija se na dva načina: direktno – bioakumulacijom metala, i indirektno – usporavanjem toka struje vode, što dovodi do brže sedimentacije dispergovanih čestica sa jonima metala.

Kvalitet vode i osobine vodenih ekosistema direktno utiču na diverzitet i kvantitet pojedinih vrsta vodenih biljaka, koje su prema tome, indikatori uslova staništa. Pošto su akvatične makrofite biljni organizmi za koje voda ne predstavlja samo ekološki faktor nego i životnu sredinu one akumuliraju veću količinu hemijskih elemenata, doprinose kruženju nutrijenata, stabilizaciji sedimenta i bitno određuju stepen eutrofizacije.

Akvatične makrofite nemaju regulatorne mehanizme u pogledu usvajanja nutrijenata i teških metala, te se stoga njihov uticaj na spoljašnju sredinu ispoljava kroz procese biokoncentracije hemijskih elemenata, a povećana akumulacija nutrijenata i metala u njihovom tkivu najčešće je posledica njihove povećane koncentracije u vodenoj sredini (Yurukova & Kochev, 1996; Stanković et al., 2000). Efekte zagađenja moguće je utvrditi na osnovu stepena akumulacije pojedinih nutrijenata i teških metala u biljnom tkivu uz prethodnu korektnu procenu neophodne količine istih elemenata za metabolizam biljaka. Tada bi se povećana akumulacija u tkivu biljke

mogla objasniti njihovom povećanom koncentracijom u vodenoj sredini, odnosno zagađenjem (Gerloff and Krombholz, 1966; Yurukova and Kochev, 1996).



Slika 25. Myriophyllum spicatum

HE Bajina Bašta, 200 m uzvodno od brane



Slika 26. Potamogeton pusillus

HE Zvornik, 200m uzvodno od brane

U oktobru 2015. godine, realizovano je uzorkovanje biljnog materijala u cilju određivanja sadržaja i koncentracije teških metala. Prikupljeni biljni materijal je osušen i tokom decembra 2015. godine pripremljen je matični rastvor za analizu teških metala. Hemijske analize suvog biljnog materijala obuhvatile su određivanje koncentracije teških metala: nikl, cink, kadmijum, hrom ukupan, bakar, olovo, arsen i živa.

Sadržaj TM je upoređivan sa njihovim sadržajem u suspendovanom nanosu i sedimentu a prikazan na Sl. 27-32.

Sadržaj nikla je najviši u suspendovanom nanosu a najmanji u *Potamogeton pusillus,* što je obrnuti redosled za *Myriophyllum spicatum,* ali je u oba slučaja nekoliko puta viši u odnosu na vodu.

Koncentracija Zn u makrofitama je na nivou njegove koncentracije u vodi.

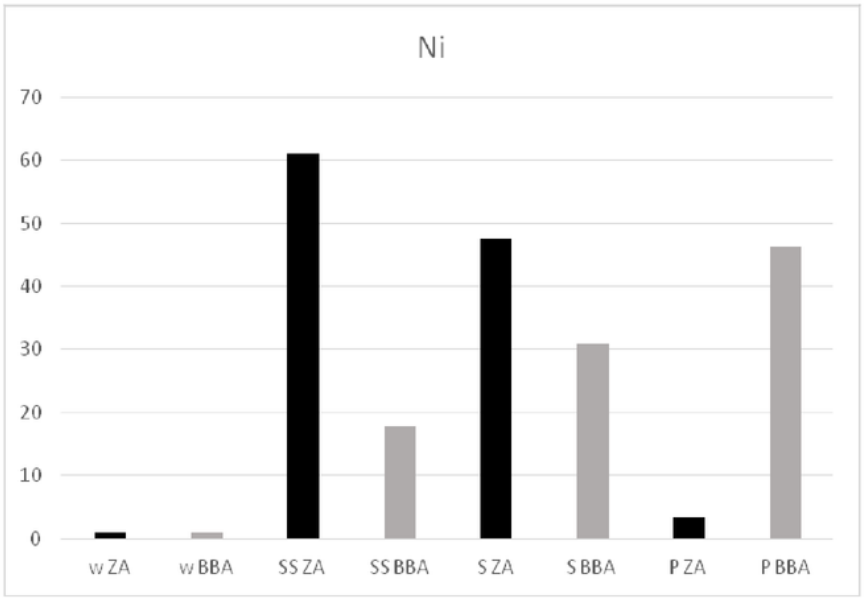
Sadržaj kadmijuma u *Potamogeton pusillus* je jednak sadržaju u sedimentu, a u *Myriophyllum spicatum* jednak kao u suspendovanom nanosu.

Sadržaj bakra je sličan u obe ispitivane vrste.

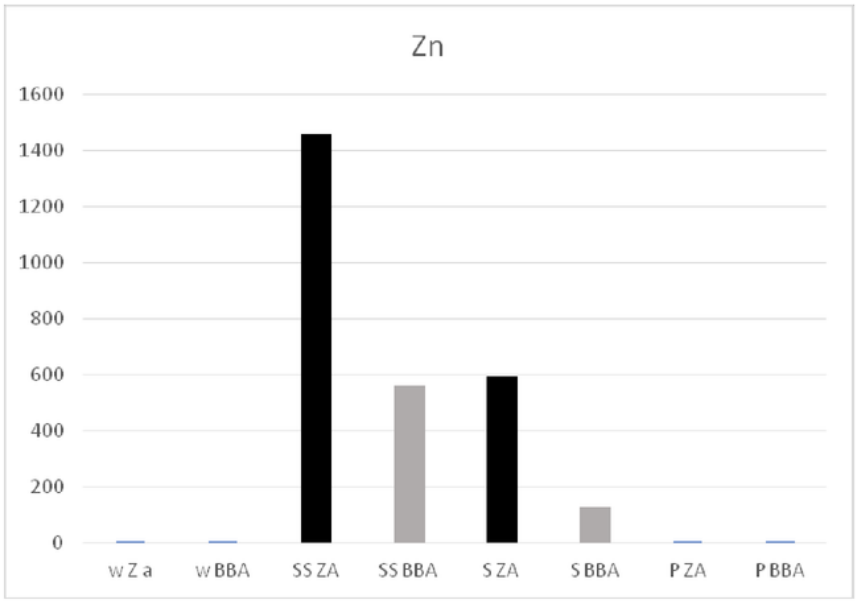
Sadržaj olova u *Myriophyllum spicatum* gotovo kao u suspendovanom nanosu, značajno viši nego u vodi. U *Potamogeton pusillus* olovo je akumulirano oko 6 x više u odnosu na sediment i 2.5 x više u odnosu na suspendovani nanos.

Arsen nije akumuliran u koncentracijama većim nego što su u vodi.

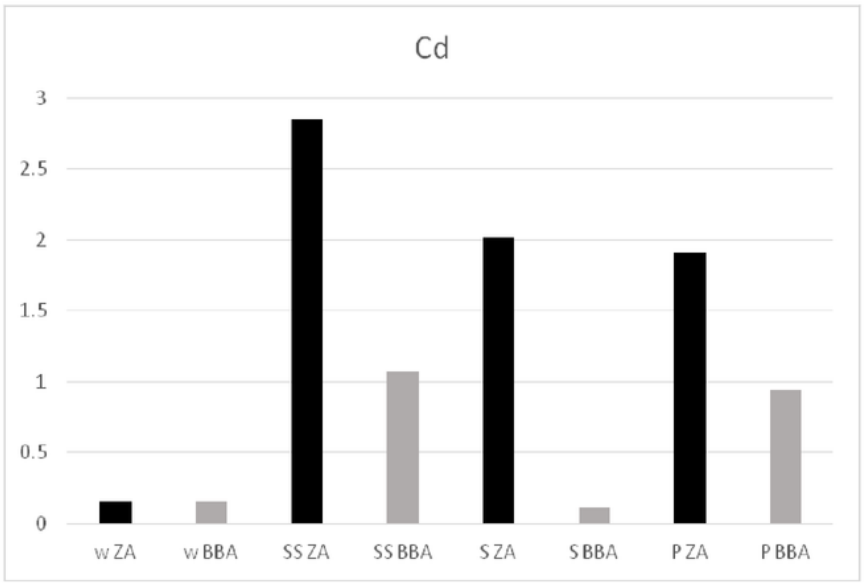
Biomonitoring prisustva teških metala koristeći makrofite ima prednosti jer daje vremenski integrisane informacije o kvalitetu vodenih ekosistema (Ravera et al, 2003;. Baldantoni i dr., 2005).



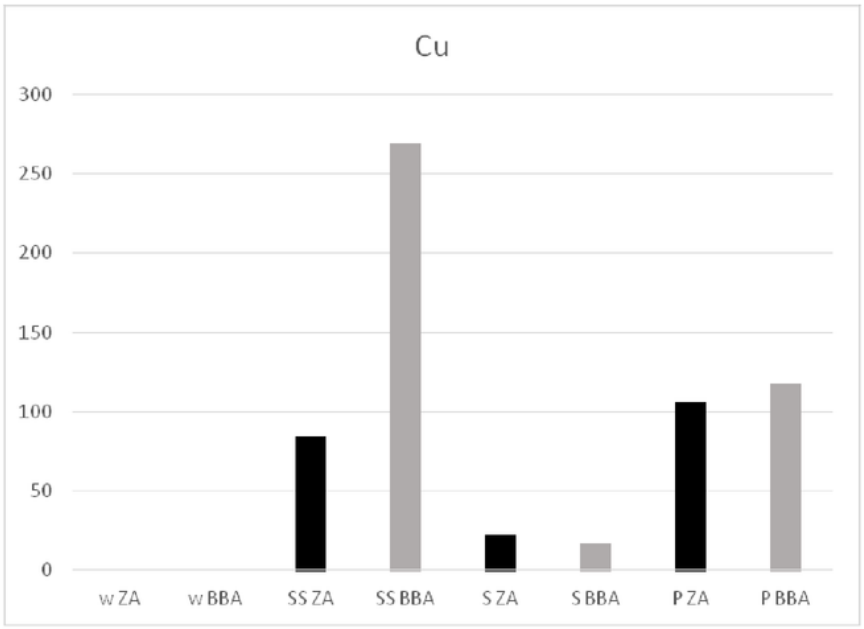
Slika 27. Sadržaj Ni u vodi (w), suspendovanom nanosu (SS), sedimentu (S) i makrofitama (P).



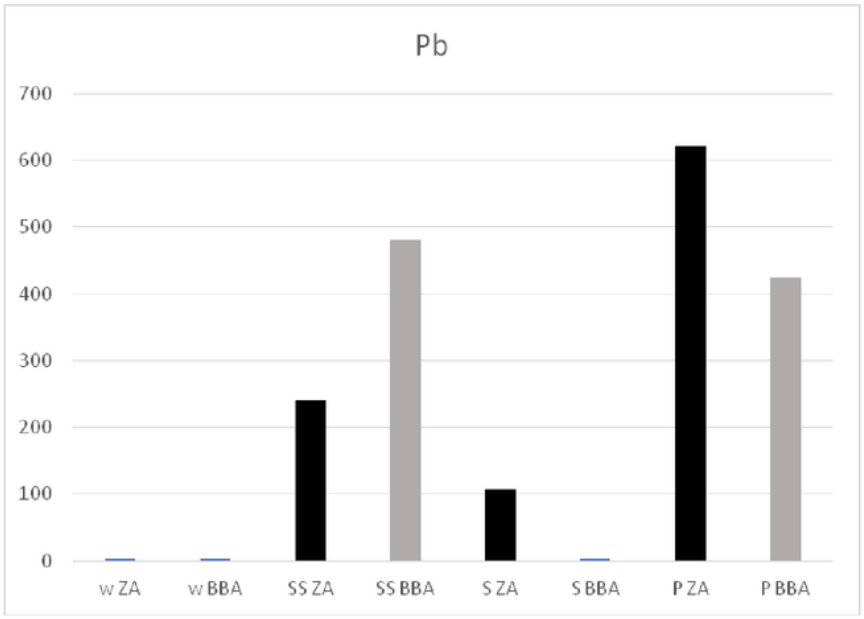
Slika 28. Sadržaj Zn u vodi (w), suspendovanom nanosu (SS), sedimentu (S) i makrofitama (P).



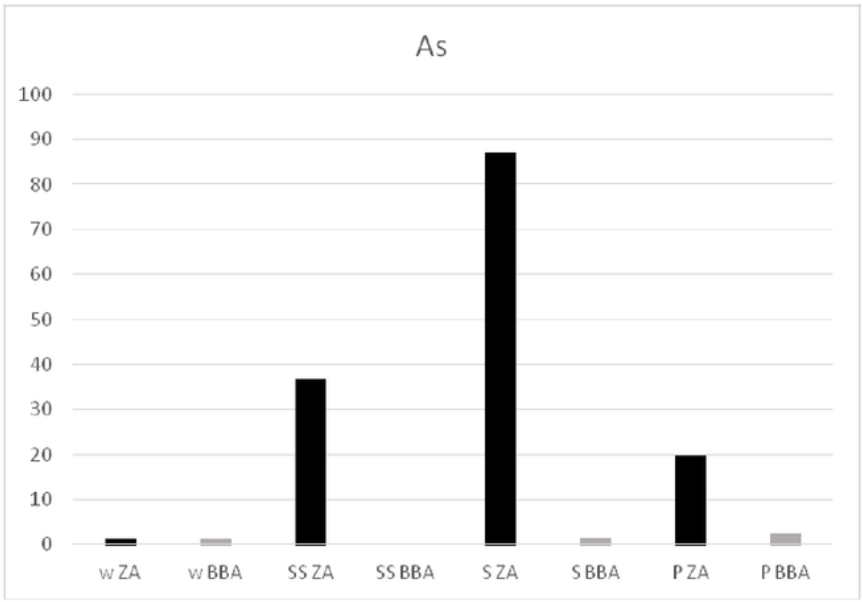
Slika 29. Sadržaj Cd u vodi (w), suspendovanom nanosu (SS), sedimentu (S) i makrofitama (P).



Slika 30. Sadržaj Cu u vodi (w), suspendovanom nanosu (SS), sedimentu (S) i makrofitama (P).



Slika 31. Sadržaj Pb u vodi (w), suspendovanom nanosu (SS), sedimentu (S) i makrofitama (P).



Slika 32. Sadržaj As u vodi (w), suspendovanom nanosu (SS), sedimentu (S) i makrofitama (P).

Stopa akumulacije teških metala u makrofitama zavisi od biljnih vrsta, vrste metala i njegove koncentracije, kao fizikohemijskih svojstava vode koja određuju bioraspoloživosti TM. U akumulaciji HE Bajina Bašta *Miriophillum spicatum* akumulira svaki metal osim arsena, Ni preko koncentracija u suspendovanom nanosu i sedimentu. Na akumulaciji HE Zvornik *Potamogeton pusillus* Pb akumulira čak preko koncentracije u suspendovanom nanosu i sedimentu. *Potamogeton* i druge vrste makrofita koje prirodno naseljavaju vodene ekosisteme mogu da apsorbuju teške metale kako preko korena, iz sedimenta i/ili izdanaka iz vode i suspendovanog nanosa pa su veoma pogodne za praćenje bioraspoloživih teških metala (Levander et al 1996).

Stanje akvatičnih ekosistema može se adekvatno pratiti preko promene zajednice, strukture, fiziološke aktivnosti i ultrastrukturnih komponenti makrofita. Niska koncentracija biodostupnih metala u rekama je posledica njihovog protoka i zavisi od njegove brzine. Koncentracije

toksičnih teških metala, kao što su hrom, kadmijum i olovo je obično niža u odnosu na esencijalne metale kao što su gvožđe, mangan, nikal i cink (Raju et al. 2013). U našem slučaju redosled Cd<Ni<As<Cu<Pb<Zn ne odgovara ovome.

Iz rezultata (Sl. 27.-32.) može se videti da su koncentracije analiziranih teških metala i do nekoliko puta veće u biljnom tkivu u odnosu na koncentraciju u površinskoj vodi. Makrofite kao bioindikatori stanja akvatičnih ekosistema imaju prednosti u odnosu na analizu vode, jer ukazuju na prisustvo zagađujućih materija u dužem vremenskom periodu. Dobijeni rezultati ukazuju na neophodnost daljeg praćenja koncentracija teških metala i makronutrijenata u akvatičnim makrofitama u cilju indikacije i ocene kvaliteta vode reke Drine a u cilju održivog razvoja podrinja kod nas. Za naredni period se može preporučiti izrada atlasa makrofita u slivu reke Drine, u delu koji protiče kroz Srbiju, sa analizom sadržaja teških metala, koji bi pružio sliku kretanja ovih polutanata na godišnjem nivou bio prvi korak u izradi plana ekoremedijacije, ako se ustanovi dovoljan potencijal akumulacije polutanata. Plan ekoremedijacije uključuje i primenu makrofita kao bioloških sistema za remedijaciju vodotokova.

5.2.8. Geološke karakteristike

Radi objašnjenja distribucije teških metala u reci Drini konsultovan je geolog (prof dr Boris Vakanjac) koji je pomogao u tumačenju dobijenih rezultata.

Od zagađivača u smislu ležišta mineralnih sirovina i geohemijskih karakteristika stena, a u oblasti uzorkovanja najznačajnija su tri geološka sistema:

1. Visoko do nisko-temperaturni hidrotermalni depoziti u vulkanskim stenama u oblasti Srebrenice

2. Srednje do niskotemperaturni hidrotermalni depoziti u vezi sa grandolitima u oblast Boranje

3. Serpentiniti kao izvor Ni i Cr

1. Visoko do nisko-temperaturni hidrotermalni depoziti u vulkanskim stenama u oblasti Srebrenice

Srebrnica je uglavnom izgrađena od tercijarnih dacito-andezita, u osnovi su paleozojskih permo-karbonski filiti sa interkalacijama krečnjaka argilošista. Pored olova i cinka konstatovane su i povećane koncentracije Ag, Au, Ge, Bi, Cd, Cu, As, Ni, Ga, Sn, Mo, W i Sb. (Jankovic i Petkovic 1982.; Strucl 1981). Zapadno od Srebrnice nalazi se ležište Čumavići sa sulfidima i sulfosolima nosiocima Pb, Zn, Cu, As, Ag, Sb kao i prisustvom Au, Cd, Mn i drugih elemenata, takođe ovo ležište ima sličnosti sa ležištem Rujevac koje je u okviru rudnog rejona Boranje. Detaljno je rudna mineralizacija Srebrnice opisana u Radosavljević i Dimitrijević (2001).

2. Srednje do niskotemperaturni hidrotermalni depoziti u vezi sa grandolitima u onlast Boranje

Od ležišta vezanih za granitoid Boranje najznačajnija su Veliki Majdan, Rujevac i Brasina, tercijarne su starosti. Ležišta su razvijena u južnom delu granodiorita Boranje. Veliki Majdan je izgrađen od skarnova i srednjetemperatunih žica sa sulfidima i sulfosolima Pb, Zn, Ag, Mn, Cu, (As, Sb) i Au, sa različitim rudnim mineralima (Janković i Petković 1982; Čikin et al. 1983).

Rujevac je srednje do nisko temperaturno hidrotermalno ležište. Hemijski sastav rude i od korisnih komponenti i zagađivača konstatovani su sledeći elementi: Sb, Zn, Pb, As, Cd, Ag, Hg i Tl.. Rudna mineralizacija i mineralne parageneze su detaljno opisane u Radosavljević 2012. Ležište je vezano za plitke intruzije u vulkananitima, a u oblasti kontaktne zone granodiorita. Mineralni sastav je predstavljen sulfidima i sufosolima, gde u ovom slučaju treba pomenuti aurpigment zbog arsena i cinabarit zbog žive (Janković et al. 1977).



Slika 33. Agregat sfalerita i drugih sulfida iz rudnika Veliki Majdan

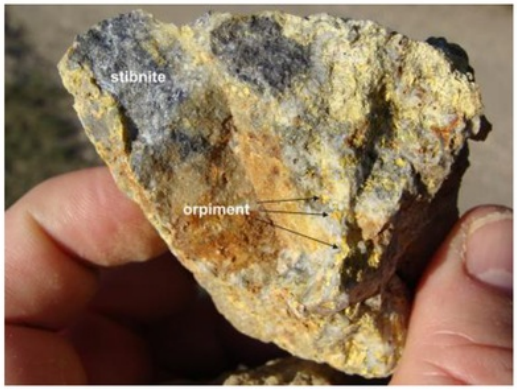


Slika 34. Tretirane rudničke vode iz rudnika Veliki Majdan

Barsina je generalno slična Rujevcu. Od rudnih minerala najvažniji su stibnit, pirit, halkopirit i galenenit, od elemenata od interesa su Sb, Hg, As, (Au, Tl) (Durković 1982).



Slika 35. Deponija jalovine rudnika Rujevac (Fotografija Vakanjac B. 2013.)



Slika 36. Stibnit i auirpiment u uzorku sa deponije jalovina rudnika Rujevac, (Fotografija Vakanjac B. 2013.)

Ležišta i pojave vezana za severo-istočni deo grandiorita Boranje povezana su sa pritokama reke Jadar koje nose zagađenje a posle formiranja svog aluviona se ulivaju u reku Drinu, (Sl. 34.)

U primarnoj mineralizaciji sulfida u toku oksidacionaog procesa se stvara slaba sumporna kiselina koja rastvara metale koji se onda mogu transportovati vodom ili delimično neutralisati karbonatima. Rastvoreni metali iz sulfida, koji se transportuju vodom u prisustvu karbonata i čestica gline talože se u bazenima kao što je akumulacija HE Zvornik.

3. Serpentiniti kao izvor Ni i Cr

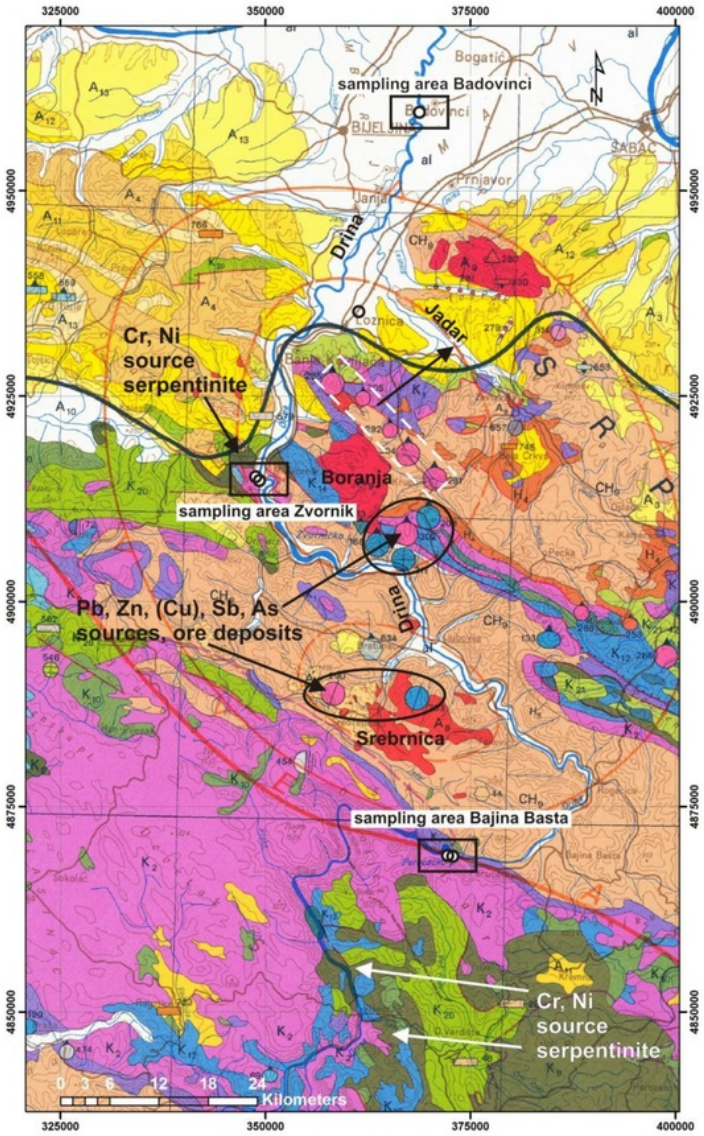
Drna seče ofiolite (sa serpentinitima) na dva mesta: u rejonu Višegrada u dužini od oko 11km, gde i rekom Rzav se donosi materijal iz serpentinita, dakle pre pozicija uzorkovanja i u rejonu Zvornika - posle uzorkovanja u oblasti HE Zvornik u dužini od oko 3,5 km a pre Badovinaca.

Poznato je da serpentiniti nose povišene koncentracije pored ostalih elemenata, Cr i Ni, (Tomanec i Vakanjac 2015). Između ostalog Ni u serpentinitima je prisutan u sulfidima kao bravoit i milerit i drugi, a poznati su procesi formiranja niklonosnih lateritskih kora raspadanja (Marsh and Anderson 2011), kao što je Mokra Gora na Zlatiboru.

Pored nikla tipičan mineral u serpentinitima je hromit, prisutan kao oksid sa primesama. Hromit je oksid koji se sastoji od hroma, gvožđa i kiseonika, teorijske formule $FeCr_2O_4$, javlja se u bazičnim i ultrabazičnim magmatskim stenama, kao i u metamorfnim i sedimentnim. Vredan je zato što je jedini ekonomski mineral za proizvodnju hroma. Postoje i drugi minerali koji sadrže hrom ali se ne eksploatišu kao ruda hroma (Gu and Wills 1988).

U rejonu uzorkovanja serpentiniti se javljaju zapadno i istočno od Zvornika. U većini slučajeva su u tektonskom kontaktu sa paleozojskim, trijaskim i gornjokrednim naslagama. Uvek su jako škriljavi, brečasti i ispresecani brojnim pukotinama. Česta je intenzivna alteracija - karbonatizacija i silifikacija, koje su najčešće udružene. Stene su izgrađene od serpentina sa

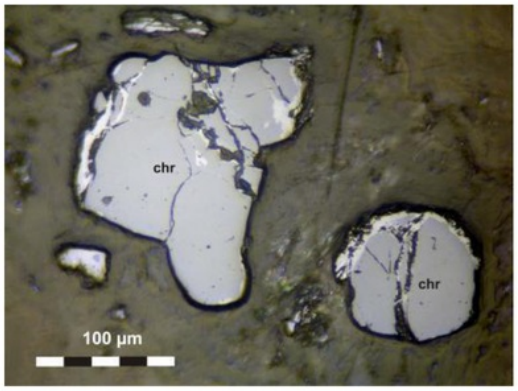
mnogo sekundarnih karbonata, kalcedona i opala. Na više mesta su serpentiniti probijeni gabrovima i rodingitima (Donja Trešnjica, Vlaške Njive, Zvornik, Snagovo). Proboji su malih dimenzija - obično su to žice debljine 2-30 m.



Slika 37. Metalogenetska karta Jugoslavije 1:500000, sa mestima uzorkovanja, depozitima sulfidnih minerala i pozicijama serpentinita.



Slika 38. Niklonosni lateriti Mokre Gore (Zlatibor), BBV2013



Slika 39. Zrna hromita u serpentintskom matriksu. BBV 2015.

Posmatrjući prosečne rezultate analize metala polutanata (Sl. 17.-24.) uočava se da koncentracija Zn, Cd, Cu, Pb i As je redovno niža kod merne pozicije Badovinci, dok su vrednosti za Ni i Cr više. Na pozicijma uzorkovanja u rejonu HE Zvornik koncentracija Zn, Cd, Cu, Pb i As naglo raste što je rezultat antropogenog uticaja eksploatacije mineralnih sirovina na prostoru miocenskih vulkanita Srebrnice i ležišta nastalih u vezi sa granitoidom Boranje. Deo zagađenja ostaje u mulju HE Zvornik, a reka Drina ne dobija ponovo inpute Zn, Cd, Cu, Pb i As. Posle HE Zvornik kada reka Drina ponovo seče serpentinite u rejonu Zvornika u reku Drinu ulaze nove količine Cr i Ni, zato je koncentracija Cr i Ni je veća u mernom mestu Badovinci.

Na osnovu navedenog može se zaključiti da akumulacija HE Zvornik ima čak i pozitivan uticaj na životnu sredinu zato što se deo polutanata (Zn, Cd, Cu, Pb i As) deponuje u mulju akumulacije. Što se tiče povećanih koncentracija Cr i Ni one nisu antropogenog kararaktera zato što ležišta i eksploatacije Cr i Ni na tom prostoru nema i nije ih bilo, a postoje stene koje su karakteristični nosioci povišenih koncentracija ova dva metala, tako da je koncentracija Cr i Ni u reci Drini oduvek bila povišena.

5.3. PREDLOG METODA REMEDIJACIJE

U prethodnom poglavlju su izneti rezultati koji ukazuju da ekološki status reke Drine na ispitivanom području, od akumulacije HE Bajina Bašta do Badovinaca, nije zadovoljavajući. Zbog toga je neophodno preduzeti mere koje će doprineti poboljšanju ekološkog statusa. Predložene mere moraju biti u skladu sa važećom nacionalnom regulativom Republike Srbije kao i sa međunarodnom regulativom, s obzirom da sliv reke Drine, osim Srbije, obuhvata Albaniju, Crnu Goru, Bosnu i Hercegovinu, a državna granica između Srbije i Bosne i Hercegovine se nalazi upravo na reci Drini u ispitivanom segmentu. Mere koje se predlažu moraju biti interaktivne i bazirane na rešavanju problema čiji su ciljevi da harmonizuje ekosistem sa socijalnim potrebama. S toga, ona doprinosi integrisanom menadžmentu vodenih resursa tri važna elementa: evoluciono-ekološki kontekst, mišljenje orijentisano na proces i ekosistemske procese kao alat za menadžment (Zalewski 2014). Da bi se to postiglo neophodno je primeniti prvenstveno preventivne mere koje će spečiti dalju degradaciju a odnose se na rečni sliv, kao i korektivne mere koje treba da poboljšaju stanje na već degradiranim lokacijama. Ovde će biti reči o fizičkim, hemijskim i biološkim metodama remedijacije koje treba da pruže pomoć donosiocima odluka prilikom odabira prioriteta radi postizanja ciljeva postavljenih u dokumentima.

5.3.1. Remedijacija polutanata poreklom od industrije

U ispitivanom području su evidentirani brojni industrijski pogoni, prvenstveno rudnici, dvoprerađivačka i prehrambena delatost. Dodatna ispitivanja kvaliteta vode, suspendovanog

nanosa i sedimenta su pokazala da se u ekositemu reke Drine (Vujović isar. 2016) nalaze povišene koncentracije fenola i teških metala.

U odnosu na teške metale može se pretpostaviti da je njihovo poreklo prvenstveno geološko, odnosno da su stene i minerali koji se nalaze kao geološka podloga izvor ovog zagađenja. Rudnici uglavnom imaju instalirane sisteme za prečišćavanje otpadnih voda, iako njihova funkcionalnost nije u svim slučajevima na zadovoljavajućem nivou. Potencijalni problem mogu biti deponije rudničke jalovine. Poplave koje su se dogodile ujesen 2014. god. su izazvale pucanje brane na deponiji flotacijske jalovine rudnika antimona „Stolice“ što je izazvalo izivanje ogromnih količina jalovine sa vrlo visokim sadržajem teških metala, prvenstveno Pb, As i An. 2016. god. Vlada Republike Srbije je donela Uredbu o programu sanacije zagađenja Kostajničke reke, Korenite i Jadra usled izlivanja jalovine sa flotacijskih deponija rudnika antimona "Stolice" (Sl. Glasnik RS" br. 39/16) koja predviđa remedijacione mere na teritoriji opštine Krupanj. Sanacija zagađenja i revitalizacija ekosistema rečnih tokova i zagađenih površina u priobalju reka realizovaće se u dve faze. Prva faza obuhvata radove na sanaciji deponija jalovišta i formiranje prostora za odlaganje materijala koji će se prikupiti čišćenjem nizvodnih terena. Na ovaj način će se zaustaviti dalji unos zagađenog mulja u vodotokove i stvoriti uslovi za radove i mere druge faze, koja obuhvata čišćenje i remedijaciju nizvodnih terena. Sredstva za sprovođenje ove uredbe obezbediće se iz Fonda solidarnosti Evropske unije u iznosu od 248.000.000 dinara.

Kako je Drina veliki vodotok sa visokim potencijalom samoprečišćavanja a dodatna merenja su vršena 2015. i 2016. god. na lokaciji Badovinci (jedina nizvodno od ušća reke Jadar u Drinu) nisu detektovane povišene koncentracije Pb, ali je nađena povišena koncentracija As u suspendovanom nanosu (Tab. 14.). Može se pretpostaviti da jedan od izvora As može biti i priobalje reka Korenite i Jadra iz koga se još uvek spiraju TM u nekim periodima. Bilo bi

svrsishodno u drugoj fazi predvideti i preduzeti ekoremedijacione mere koje podrazumevaju primenu prvenstveno fizičkih i biološkig metoda. Ovo bi doprinelo poboljšanju ekološkog statusa sliva kroz sprečavanje izlivanja polutanata u budućnosti kontrolom hidromorfoloških procesa, povećanje potencijala samoprečišćavanja i očuvanje biodiverziteta što sve zajedno mora biti što je moguće sličnije prirodnim ekosistemima (Muhar et al. 2016). Tom prilikom treba izbegavati greške „preteranog menanadžmenta“, izravanvanje korita, visoki nasipi za odbranu od poplava, preterano čvste obaloutvrde, (Schiemer 2016) a akcenat staviti na tampon zone kod malih vodotokova koja se odlikuju stabilnom biljnom zajednicom i može predstavljati prelaz između akvatičnih i terestričnih ekosistema. Ovakvi prelazni ekositemi su, takođe, efikasni u sprečavanju eutrofikacije izazvane ispiranjem nutrijenata sa poljoprivrednih površina.Izuzetno visoka koncentracija ukupnih fenola je detektovana u proleće 2016. god. na svim mernim mestima, tako da voda reke Drine po ovom parametru odgovara III ili IV klasi. Može se pretpostaviti da je izvor fenola drvnoprerađivačka industrija koja ove supstance koristi kao konzervanse. Mere koje treba preduzeti su preventivnog karaktera a podrazumevaju izgradnju sistema za prečišćavanje otpadnih voda drvne industrije. Prečišćavanje otpadne vode koja sadrži fenole može se postići primenom fizičkih, hemijskih i bioloških metoda.

Fizičke metode obuhvataju:

1. Odvajanje fenola ekstrakcijom pomoću organskih rastvarača (n-heksan, cikloheksan, benzen, toluen, etilbenzen, kumen, acetatni estri). Posle ovoga se mora koristiti i biološka metoda.

2. Adsorpcija. U konvencionalnim reaktorima faza zasićenja (adsorpcije, tj. nanošenja) je praćena fazom desorpcije (eluiranje, tj. regeneracija) koja nije uvek moguća ili pogodna. U tom slučaju adsorbens se uklanja i uništava spaljivanjem u posebnim pećima. Pogodni

adsorbensi su aktivnu ugalj, silika gel, zeoliti, jeftini adsorbensi (Low-cost adsorbent, LCA) obično prirodni materijali, nusproizvod industrije imaju malu ili nultu cenu.

3. Membranska filtracija obuhvata mikrofiltraciju, ultrafiltraciju, nanofiltraciju i procese reverzne osmoze

Hemijske metode:

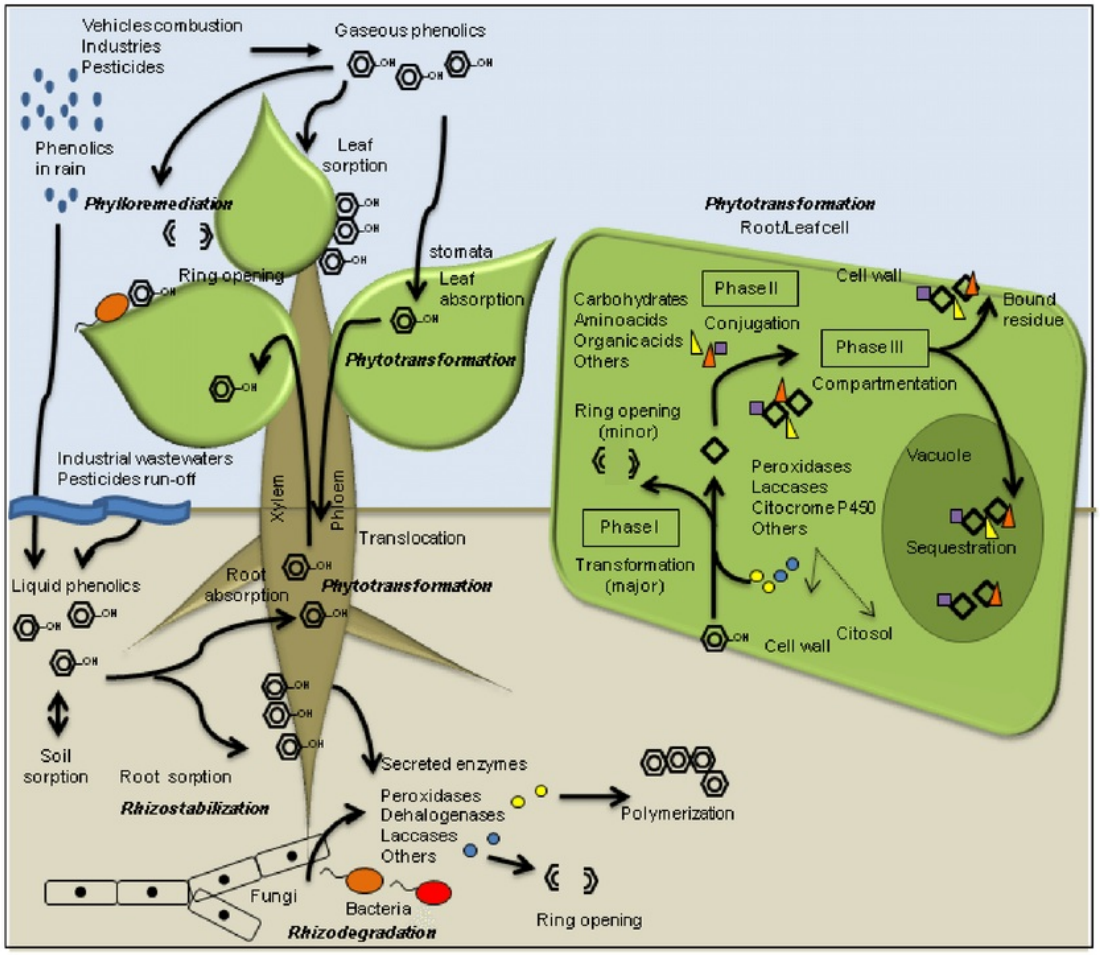
1. Koagulacija/flokulacija sa dodatkom reagenasa
2. Napredni oksidacioni procesi (advanced oxidation processes), obuhvata: Fenton-ov reagens, hlor i hlorne derivate, ozonoizaciju, elektrohemijsku metodu
3. Fotohemijska oksidacija. Obuhvata fotohemijski tretman i foto Fenton

Biološke metode:

Aerobne i anaerobne bakterije kao i gljive mogu da produkuju ekstracelularne enzime koji učestvuju u razgradnji fenola. Kod gljive bele truleži proces se odvija adsorpcijom boje na micelijum gljive, pravom razgradnjom molekula boje ili kombinovanim procesom. Tretman otpadne vode se vrši pomoću rastvorenih ili imobilisanih enzima od kojih su najznačajniji polifenol oksidaze (fenoloksidaze), oksidoreduktaze koje katalizuju oksidaciju fenolnih jedinjenja a dele se na tirozinaze i lakaze.

Metoda fitoremedijacije kao integrativna (uključuje fizičke, hemijske i biološke metrode) je preporučena za tretman otpadnih voda koje sadrže fenole (Agostini et al. 2010). Na Sl. 40. je dat šematski prikaz mehanizama uključenih u transformaciju fenola u sistemu biljka-zemljište-vazduh. Fenoli različitog porekla mogu biti stabilizovani ili razloženi u rizosferi ili filosferi,

adsorbovani i/ili absorbovani korenom i/ili listom, translocirani i metabolisani unutar biljne ćelije.



Slika 40. Mehanizmi transformacije fenola u procesu fitoremedijacije (Agostini et al. 2010).

5.3.2. Remedijacija polutanata poreklom od poljoprivrede

U slivu reke Drine poljoprivreda je najviše razvijena u donjim tokovima pritoka i u oblasti Mačve u okolini mernog mesta Badovinci. Najznačajniji polutanti poreklom od poljoprivrede su nutrijenti, pesticidi i neki teški metali. S ozirom da u vodi prilikom dodatnih merenja nisu nađene

njihove povišene koncentracije, voda je u okviru II i III klase, može se konstatovati da uticaj poljoprivrede nije veliki. Ipak, u okviru preventivnih mera treba predvideti konstruisanje vegetativnih tampon zona, primenom fizičkih i bioloških metoda, radi smanjenja rizika od polutanata iz poljoprivrede.

5.3.3. Remedijacija polutanata poreklom iz naselja

Na obalama Drine ima više od 50 divljih deponija na području Republike Srbije, preko 20 na području Crne Gore kao i oko 50 deponija na području Republike Srpske. Otpad i razno smeće baca se po gotovo svim potocima i rečicama koje se ulivaju u Drinu, koja zatim ogromne količine smeća odnosi do hidroelektrana u Bajinoj Bašti i Malom Zvorniku. Mere koje treba sprovseti u cilju postizanja dobrog ekološkog statusa reke Drine su preventivne (izgradnja sanitarnih deponija komunalnog otpada i sistema za prikupljanje komunalnog otpada koje će pokrivati većini naselja) i korektivne (odnose se na devastirane prostore koji ostaju posle uklanjanja divljih deponija).

Zakonodavstvo u Republici Srbiji i evropska legislativa zahtevaju remedijaciju - rekultivaciju smetlišta, kao i deponija koja ne ispunjavaju zahtevane uslove. Rekultivacija predstavlja proces saniranja, zatvaranja i preuređivanja kontaminiranog područja primenom fizičkih metoda: obezbeđivanje lokacije (sprečiti dalje deponovanje smeća, ograditi deponiju/ smetlište i umanjiti rizik nedozvoljenog pristupa deponiji), oblikovanje tela smetlišta, drenaža (uključujući odvođenje sakupljene procedne vode) i obodni kanali, otplinavanje i tretiranje deponijskog gasa, postavljanje gornjeg nepropusnog sloja, kao i bioloških metoda: obnavljanje vegetacije. Posle zatvaranja divlje deponije komunalnog otpada se procenjuje da li moguće na istoj lokaciji formirati kontrolisanu deponiju (podloga odgovarajuće vodopropustljivosti, hidrogeološki

uslovi). Zatim se sprovode fizičke metode: obezbeđivanje adekvatnog nagiba, minimalno sabijanje zemljišta i izgradnja drenažnih kanala.

U praksi se najčešće primenjuje fizička metoda (*ex situ*) koja podrazumeva uklanjanje otpada sa divlje deponije i njegovo ponovno deponovanje na sanitarnu deponiju. Primenjuje se u slučajevima kada na se divljoj deponiji nalazi manja količina otpada koji ugrožabva zdravlje ljudi i životnu sredinu, a zbog male količine otpada nije opravdano konstruisanje sanitarne deponije na istom mestu.

Preventivne mere u cilju sprečavanja širenja uticaja divljih deponija se sprovode na licu mesta (in situ) u slučaju da nije prisutan veliki rizik za životnu sredinu, prvenstveno fizičkim metodama:

1. Formiranje jedne gomile od rasutog otpada i njeno prekrivanje
2. Prekrivanje se može vršiti vodonepropusnim slojem od sintetičkog materijala koji obezbeđuje izolaciju od atmosferskih voda, čime se onemogućava njihovo prodiranje u telo deponije i ispiranje polutanata iz njega.
3. Postavljanje obodnih kanala koji treba da obezbede dalji transport atmosferskih voda van lokacije deponije
4. Formiranje vegetativnog prekrivača na sloju naknadno postavljenog plodnog zemljišta ili bez njega ako se proceni da nije potrebno.
5. Na većim deponijama, gde je sloj otpada debljine nekoliko metara postavljaju se i biotrnovi za evakuaciju metana i pijezometri radi kontrole procednih voda.

Potpuna sanacija *in situ* metodom znači da nema premeštanja otpadnog materijala niti okolnog zagađenog tla već će celokupna količina otpada biti inkapsulirana, hermetički zatvorena. Ovo ima nekoliko prednosti:

- izbegavanje prenosa otpada i zagađenog zemljišta čime se sprečava i eventualno zagađivanje okolnog prostora,
- izbegavanje troškova iskopa materijala i njegovog transporta,
- nije potrebno tražiti novu lokaciju,
- moguće je i dalje odlaganje otpada na istoj lokaciji u skladu sa planom sanacije do zatvaranja.

U opštinama Mali Zvornik, Ljubovija i Loznica jedan broj divljih deponija komunalnog otpada je delimično saniran (Sl. 41.). Predstoji njihova biološka remedijacija.

Biološke mere rekultivacije odlagališta komunalnog otpada pripadaju korektivnim merama ekoremedijacije. Cil je uspostavljanje biocenoza koje su što je moguće sličnije prirodnim koje se nalaze u neposrednom okruženju čime bi se postigao kontinuitet pejzaža i predela u celini. Poljoprivredne ili šumske kulture zasnovane na ovakvim podlogama doprinose njihovoj stabilnosti i značajno smanjuju rizik od raznošenja polutanata sa deponije. Da bi se izbegla erozija humusnog sloja, po celoj prekrivenoj površini prvo se seje seme trave koje je svojstveno ovom području (privremena biološka rekultivacija) čime se formira livada kombinovanog travnoleguminoznog sastava. Poljoprivredni ili šumski pokrivači, zasnovani na humusnoj podlozi koja je prethodno naneta preko sloja otpada ili bez njega, moraju se pravilno negovati u toku razvoja da bi se postigla njihova remedijaciona uloga u celini. Posle više godišnjih ciklusa ove površine dobijaju svojstva prirodnog zemljišta i može početi njihovo

korišćenje na konvencionalane načine. Ipak, treba naglasiti, da otsustvo struktuiranosti podloge i loši uslovi vodno-vazdušnih kretanja u podlozi ograničavaju izbor biljnih vrsta na visokoadaptivne, a one su samo u izuzetnim slučajevima i nativne.

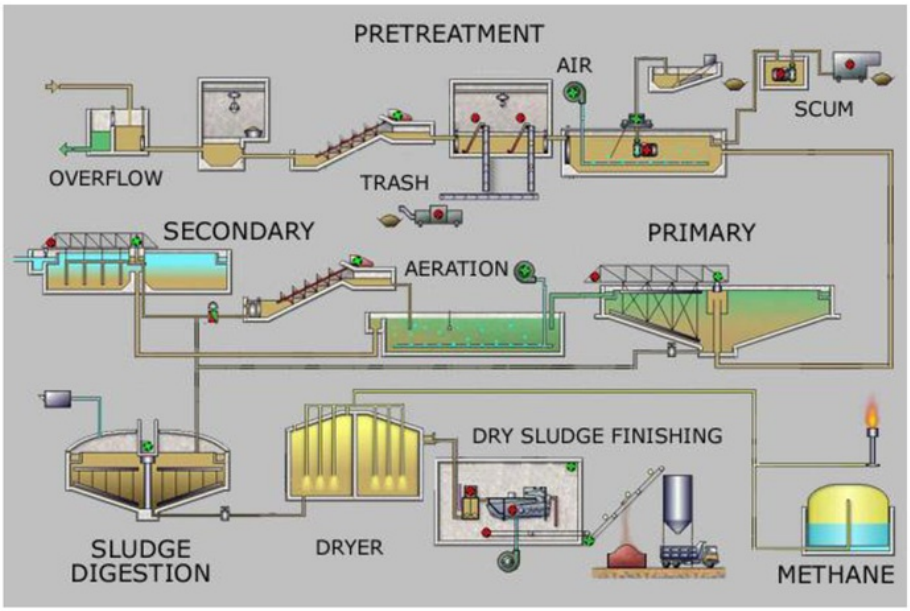
Za ozelenjavanje prostora deponije (trajna rekultivacija) predlažu se vrste drveća i žbunja koje imaju i nizak rast (radi sprečavanja vetroizvala), plitak koren koji se više razvija u širinu nego u dubinu i koje su autohtone.



Slika 41. Divlja deponija- Jedan deo uz put Kozjak – Gornji Dobrić je očišćen, a na drugi se i dalje odlaže smeće uz staro korito reke Jadar. Gore: 2008. God. Dole: 2013. God. foto S. Vukosavljević

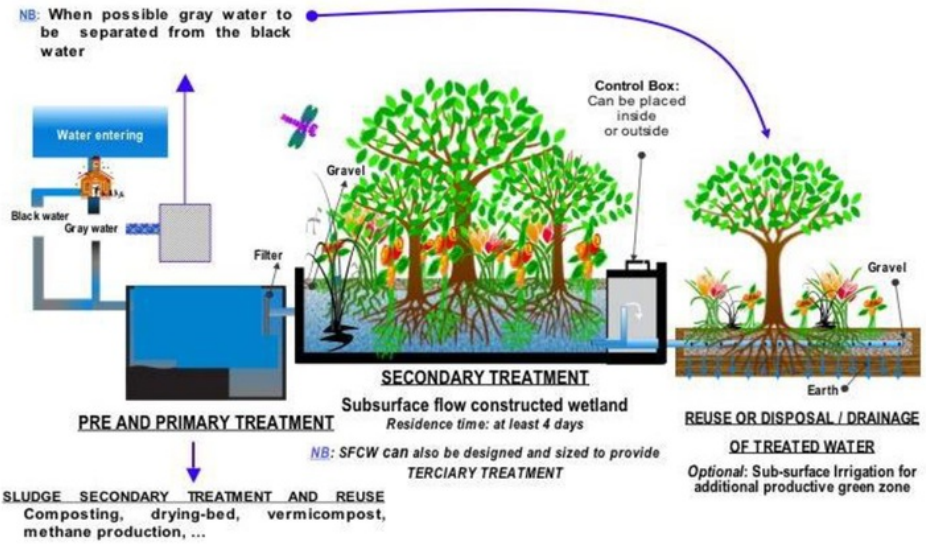
Na ekološki status reke Drine negativno utiču komunalne otpadne vode s obzirom da sistem kanalizacije nije uspostavljen u većini naseljenih mesta a i tamo gde jeste uglavnom ne funkcionišu postrojenja za njihovo prečišćavanje. Kada se radi o većim naseljima potrebno je izgraditi kanalizacionu mrežu u delovima u kojima nedostaje, kolektor za sakupljanje otpadnih voda i prečistač. Ovi prečistači rade na principu hemijskih ili bioloških metoda a u oba slučaja poseduju i fizičku kompnentu separacije (Sl. 42. i 43.). U slučaju kada se radi o ruralnim naseljima, predlaže se decentralizovani tip kanalizacione mreže koji podrazumeva više manjih prečistača koji su tipa konstruisanih močvara. Na ovaj način se izbegava transport otpadnih voda na veće udaljenosti jer se voda tretira blizu mesta nastanka a biološki biljni prečistači efikasno uklanjaju organske materije kao i mikroorganizme. U oba slučaja su uključene fizičke (mehaničke) metode: uklanjanje velikih čvstih delova, taloženje; hemijske metode: oksigenacija. Proces protiče u nekoliko faza: primarni tretman (uklanjanje velikih delova i sedimentacija), sekundarni tretman (aerobni biološki procesi, aktivni mulj, bazeni sa površinskom aeracijom, fluidizovani reaktori, filtracija, biofilteri, membranski bioreaktori, sekundarna sedimentacija, biodiskovi) i tercijarni tretman (filtracija, odlaganje u lagune, konstruisane močvare) (Spellman 2009).

Konstruisanje prečistača komunalnih otpadnih voda će značajno smanjiti prisustvo nutrijenata i organsko opterećenje reke Drine i njenih pritoka.



Slika 42. Dijagram toka konvencionalnog prečistača

(newworldencyclopedia.org/entry/Sewage_treatment)



Slika 43: Dijagram toka prečistača tipa konstruisane močvare

(newworldencyclopedia.org/entry/Sewage_treatment)

5.3.4. Remedijacija šljunkara

Na delu toka reke Drine su prisutni mnogobrojni legalni i ilegalni iskopi građevinskog materijala, šljunka i peska (Vujović i sar. 2016) koji predstavljaju otvorene kopove nemetaličnih mineralnih sirovina. Za ove objekte je neophodno koristiti najbolje dostupne tehnologije pri remedijaciji kako bi se maksimalno umanjili njihovi uticaji na predeo. Neophodno je, takođe, stalno unapređivanje dostupnih tehnika i tehnologija s obzirom da se radi o terenima koji su degradirani kako u pogledu biodiverziteta, tako i u pogledu pedoloških i hidroloških uslova. Značaj ekoremedijacije ovako degradiranih prostora je prepoznat i u nacionalnim strateškim dokumentima ("Sl. Glasnik RS", br. 33/2012).



Slika 44. Renaturalizacija rečne obale (pratiarmati.it/en/installation-examples/rivers-and-waterways/river-banks)

Potencijalne koristi od usluga ekosistema prilikom aplikacije različitih opcija remedijacije iskopa peska i šljunka se ogledaju u mogućnosti nadoknade staništa za biodiverzitet (Emmrich et al. 2014) pružajući novo stanište za vodene organizme. Ustaljena praksa u Evropi podrazumeva tehničku rekultivaciju-remedijaciju (Tropek i Kovicka 2011.) koja se sastoji od zemljanih radova, prekrivanja slojem plodnog zemljišta, setve zeljastih biljaka, sadnje žbunja ili drveća ili različitih njihovih kombinacija ne uzimajući u obzir spontanu sukcesiju kao alat restauracije. U našem slučaju, bliska povezanost šljunkara sa površinskim i podzemnim vodama kao i činjenica da se one uglavnom nalaze u pojasu koji nije branjen od poplava primat spontane sukcesije je svakako potenciran (Hauer et al 2016.). Za šljunkare ne bi trebalo predviđati tehnike remedijacije već ostaviti okruženju da na tim mestima vremenom formira novi ekosistem. Ovakva mesta moraju biti zaštićena od nekontrolisanog deponovanja otpada u njima. U perspektivi bi trebalo, na nekim od njih primeniti „meke“ tehnike revitalizacije malih vodnih tela (Sl. 44.) ubrzavaju prirodnu sukcesiju a imaju za cilj omogućavanje korišćenja ovih lokacija, prvenstveno u rekreativne svrhe.

5.3.5. Remedijacija sedimenta

Sediment zagađen prvenstveno tešim metalima je prisutan u reci Drini u celom ispitivanom toku, a njihova koncentracija određuje III ili IV klasu (Tab. 17.) sa kvalifikacijom zagađen ili veoma zagađen što podrazumeva remedijaciju nakon eskavacije. Postupak sa ovim sedimentom je zapravo najveći ekološki izazov u ovom delu sliva Drine. Brane hidroelektrana Bajiba Bašta i Zvornik u toku dugogodišnjeg postojanja izazivaju akumulaciju sedimenta iznad brane u količini koja može ugroziti stabilnost same brane a u svakom slučaju zauzima znatan deo zapremine akumulacionih jezera. Najznačajnije pitanje ostaje otvoreni predmet diskusije: Da li opravdano

uklanjanje sedimenta sa ekoloških, ekonomskih i energetskih aspekata?. Odgovor na ovo prevazilazi predmet ove disertacije. Ukoliko bi se pristupilo uklanjanju sedimenta na raspolaganju su metode za njegovu remedijaciju: hemijska imobilizacija, of fizičkih metoda prekrivanje, cementiranje, in situ zalivanje, vitrifikacija, solidifikacija. Od bioloških metoda najperspektivnija je fitoremedijacija tehnikama fitoekstrakcije, rizofiltracije, fitostabilizacije kao u metoda bioremedijacije.

U akvatičnom ekosistemu teški metali se nalaze slobodno rastvoreni ili kao organometalni kompleksi sa prirodnim organskim ligandima. Neki su povezani sa česticama i adsorbovani i/ili istaloženi sa karbonatima, oksihidrokslima, sulfitima ili česticama gline. Tako sediment pretstavlja rezervoar teških metala u akvatičnom ekosistemu. U sedimentu teški metali se raspoređuju između vode (u porama ili vodenom stubu) i čvrste faze (sediment i/ili suspendovani nanos i živi organizmi) (Lors i Mamindy-Pajany 2014).

Akumulacija teških metala u nativnim makrofitama u akumulacijama HE Bajina Bašta i HE Zvornik, u nekim slučajevima u koncentracijama višim u odnosu na njihovu koncentraciju u sedimentu (Sl. 27.-32.) kao i viša koncentracija teških metala u suspendovanom nanosu u odnosu na sediment (Sl. 17.-24.) ukazuju na potencijalnu mogućnost *in situ* remedijacije ovih akvatičnih sistema. Upotreba makrofita u remedijaciji plitkih jezera i akumulacija je dobro proučena i široko primenjivana u svetu ali je moguć i razvoj integrativne metode fitoremedijacije u akumulacijama kao što su pomenute. Nativne makrofite bi pomoću neke mehaničke podloge gajti u akumulacijama. Na ovaj način bi se omogućilo uklanjanje teških metala iz vode i suspendovanog nanosa a ukoliko bi se razvijale u probalju omogućila bi se i remedijacija sedimenta.

6. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

U radu je razmatrana hipoteza da se na osnovu sistematskog praćenja kvalitativnih karakteristika površinskih voda koje sprovode državne institucije na osnovu rezultata analiza izvršenih u akreditovanim laboratorijama a u skladu sa međunarodnom legislativom, prvenstveno Okvirnom direktivom o vodama EU ne dobijaju svi podaci neophodni za ocenu ekološkog statusa reke Drine u skladu sa Okvirnom direktivom o vodama. Pomoćne hipoteze su: a) Radi postizanja dobrog ekološkog statusa je neophodno identifikovati sve tačkaste i difuzne zagađivače na odabranom delu vodotoka; b) primeniti fizičke, hemijske i biološke metode monitoringa stanja vodotoka radi određivanja trenutnog ekološkog stanja vodotoka na izabranim mernim mestima i c) analizirati sve dostupne rezultate ispitivanja radi obrazovanja predloga mera remedijacije vodotoka primenom fizičkih, hemijskih i bioloških metoda.

Termin ekoremedijacija se primarno odnosi na remedijaciju ekosistema a delimično se preklapa sa ekosistemskim inženjerstvom, ekohidrologijom i hidrobiologijom u procesu održivog upravljanja ekosistemom. Ekoremedijacioni plan obuthvata tri segmenta, monitoring zatečenog stanja, predlog mera ekoremedijacije i evaluaciju postignutih efekata. Generalni cilj je razvoj modela ekoremedijacionog plana regulisanih vodotokova, u ovoj disertaciji je fokus na opisu aktuelnog stanja vodotoka reke Drine.

Reka Drina je izabrana kao veliki regulisani međunarodni vodotok koji treba da omogući održivo korišćenje prirodnih resursa u samom toku i u slivu sa ekološkog, ekonomskog i društvenog aspekta.

Drina, kao međunarodni vodototok je bila predmet brojnih istraživanja. Analizom dostupnih podataka o pritiscima na reku Drinu ustanovljeno je da u ispitivanom području, koje obuhvata

prostor između HE Bajina Bašta i Badovinaca, negativni antropogeni uticaj može biti očekivan od hidroenergetskih postrojenja (HE Bajina Bašta i HE Zvornik), industrije (rudarstvo, prehrambena i drvoprerađivačka), naselja (ispusti neprečišćenih kanalizacionih voda, neuređene komunalne deponije), poljoprivrede i iskopa građevinskih materijala koji se nalaze u priobalju reke Drine ili njenih pritoka. Hidrološke karakteristike, prvenstveno veliki protok i brzina vode uslovljavaju visok stepen samoprečićavanja tako da je voda, prema zvaničnim podacima II ili, eventualno, III kategorije, dok se kvalitet suspendovanog nanosa i sedimenta ne prati sistematski.

Kako je akvatični ekosistem integrisana celina, eventualni polutanti koji u njega dospevaju se distribuiraju između vode, sedimenta i organizama a njihovi sadržaji variraju u vremenu i prostoru. Iz tog razloga se ukazala potreba za dodatnim merenjima parametara kvaliteta vode, sedimenta, suspendovanog nanosa kao i prisustva makrofita na oficijalnim mernim mestima (ili u njihovoj blizini) HE Bajina Bašta i Badovinci i dodatnim (HE Zvornik) u pet mernih ciklusa u toku 2015. i 2016. god. Praćeno je 19 parametara kvaliteta vode, 10 parametara kvaliteta suspendovanog nanosa i 14 parametara kvaliteta sedimenta na lokacijama: HE Bajina Bašta uzvodno i nizvodno od brane, HE Zvornik uzvodno od i nizvodno od brane i Badovinci, a sadržaj teških metala u nativnim makrofitama u obe akumulacije. U toku uzorkovanja i analiza su korišćene standardizovane fizičke, hemijske i biološke metode.

Na osnovu prikupljenih podataka i nacionalne regulative izvršena je klasifikacija vode, suspendovanog nanosa i sedimenta. Ustanovljeno je da nije postignut dobar ekološki status reke Drine. Rezultati analiza na lokacijama i terminima koji su zajednički za oficijelna i dodatna merenja a odnose se na kvalitet vode su međusobno saglasni i voda odgovara II ili III klasi. Međutim, na osnovu sadržaja ukupnih fenola, na nekim mernim mestima u aprilu klasa je IV. Na osnovu sadržaja teških metala na nekim od lokaliteta i u nekim terminima određivanja voda (Ni,

Zn, Cd), suspendovani nanos (Ni, Zn, Cr, Pb, As) i sediment (Ni, Zn, As) odgovaraju IV klasi: zagađen ili ekstremno zagađen.

Uporednom analizom prostorne distribucije teških metala u suspendovanom nanosu i sedimentu sa geološkim karakteristikama sliva utvrđeno je da su koncentracije Zn, Cd, Cu, Pb i As redovno niže kod merne pozicije Badovinci, dok su vrednosti za Ni i Cr više. Na pozicijma uzorkovanja u rejonu HE Zvornik koncentracija Zn, Cd, Cu, Pb i As naglo raste što je rezultat antropogenog uticaja eksploatacije mineralnih sirovina na prostoru Srebrnice i Boranje. Deo zagađenja ostaje u mulju HE Zvornik, a reka Drina ne dobija ponovo inpute Zn, Cd, Cu, Pb i As. Posle HE Zvornik kada reka Drina ponovo seče serpentinite u rejonu Zvornika u reku Drinu ulaze nove količine Cr i Ni, zato je koncentracija Cr i Ni je veća u mernom mestu Badovinci. Na osnovu navedenog može se zaključiti da akumulacija HE Zvornik ima čak i pozitivan uticaj na životnu sredinu zato što se deo polutanata (Zn, Cd, Cu, Pb i As) deponuje u mulju akumulacije. Što se tiče povećanih koncentracija Cr i Ni one nisu antropogenog kararaktera.

Nativne makrofite, *Myriophyllum spicatum* u akumulaciji HE Bajina Bašta i *Potamogeton pusillus* u akumulaciji HE Zornik, akumulitaju teške metale značajno iznad njihove koncentracije u vodi a Pb čak više u odnosu na suspendovani nanos i sediment što ukazuje na ulogu makrofita u procesu samoprečišćavanja ispitivanog akvatičnog ekosistema.

Sediment zagađen teškim metalima mora biti predmet remedijacije nakon izmuljivanja. Pitanje ekološke opravdanosti izmuljivanja sedimenta iz akumulacija ostaje otvoreno i van okvira ove disertacije.

Ekološki status koji nije zadovoljavajući iziskuje primenu ekoremedijacionih mera i tehnika koje se sistematizuju kroz ekoremedijacioni plan. Predložene su preventivne metode (prvenstveno fizičke i biološke) koje treba primeniti u rečnom slivu radi eliminisanja ili umanjenja

antropogenih pritisaka od poljoprivrede, industrije, naselja. Ove mere obuhvataju planiranje i konstruisanje vegetativnih pojaseva na obalama vodotokova (reke Drine i njenih pritoka), uklanjanje i rekultivaciju divljih, nekontrolisanih deponija, projektovanje i izradu prečistača industrijskih i komunalnih otpadnih voda. Takođe treba predvideti i projektovanje i izradu konstruisanih akvatičnih ekosistema u samom toku reke Drine i njenih pritoka, kao i "meku" rekultivaciju napuštenih iskopa peska i šljunka u okviru korektivnih mera ekoremedijacionog plana.

Oficijelni monitoring ekološkog statusa reke Drine, iako se sistematski sprovodi ne daje uvek dovoljno podataka, pa u okviru ekoremedijacionog plana svakako treba predvideti i dodatni monitoring sedimenta i suspendovanog nanosa a monitoring kvaliteta vode vršiti učestalije. U program monitoring treba uključiti i ispitivanje makrofita, njihove distribucije, vrsta kao i sadržaja teških metala jer se na ovaj način dobija integrisana slika stanja vodotoka dok analize vode, suspendovanog nanosa i sedimenta primenom fizičkih i hemijskih metoda daju trenutno stanje.

16

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da su glavna i pomoćne hipoteze potvrđene.

PRIMENA FIZIČKIH, HEMIJSKIH i BIOLOŠKIH METODA U EKOREMEDIJACIJI VODOTOKA - STUDIJA SLUČAJA REKE DRINE - II provera

ORIGINALITY REPORT

1%

SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	www.cis.org.rs Internet	67 words — < 1%
2	www.mpr.gov.me Internet	39 words — < 1%
3	projekti.futura.edu.rs Internet	37 words — < 1%
4	www.guygold.com Internet	28 words — < 1%
5	Ramaraj, Rameshprabu, David Dah-Wei Tsai, and Paris Honglay Chen. "Freshwater microalgae niche of air carbon dioxide mitigation", Ecological Engineering, 2014. Crossref	24 words — < 1%
6	www.green-limes.rs Internet	22 words — < 1%
7	serbia.rec.org Internet	17 words — < 1%
8	konferencija.futura.edu.rs Internet	16 words — < 1%
9	Josimov-Dundjerski, Jasmina, Andjelka Belic, and Radovan Savic. "Nitrate concentrations in streams	16 words — < 1%

of Vojvodina", Letopis naucnih radova Poljoprivrednog fakulteta, 2014.
Crossref

10	Marinovic, Dragan, Vladimir Savic, Marina Stojanovic, Danilo Popovic, Vesna Nikolic-Vujacic, and Svetlana Nikolic. "Quality of the river Ibar from Biljanovac to Kraljevo", Tehnika, 2015. Crossref	14 words	< 1%
11	www.yahont.biz Internet	13 words	< 1%
12	experteng.co.rs Internet	13 words	< 1%
13	The Handbook of Environmental Chemistry, 2015. Crossref	13 words	< 1%
14	0354-6055, 2007 Publications	12 words	< 1%
15	www.doiserbia.nb.rs Internet	11 words	< 1%
16	fedorani.ni.ac.rs Internet	10 words	< 1%
17	www.dh.uns.ac.rs Internet	9 words	< 1%
18	revistas.unipar.br Internet	9 words	< 1%
19	www.scribd.com Internet	8 words	< 1%
20	C. Neal. "The hydrochemistry of plantation spruce forest catchments with brown earth soils, Vyrnwy in mid-Wales", Hydrology and Earth System Sciences, 2004 Crossref	8 words	< 1%

21	seminarski.in.rs Internet	8 words — < 1%
22	www.znrfak.ni.ac.rs Internet	8 words — < 1%
23	www.barinfo.co.me Internet	8 words — < 1%
24	Marjanovic, Vesna, and Aleksandra Ivanovic. "Selection the stabilization/solidification process and selection the binders and reagents depending on the type of waste material in the function of environmental protection", Mining and Metallurgy Engineering Bor, 2015. Crossref	8 words — < 1%
25	Ninković, Miloš. "Istraživanje životne sredine primenom GIS tehnologija i njenih internet servisa", Proceedings of the 1st International Scientific Conference - Sinteza 2014, 2014. Crossref	7 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES	OFF	EXCLUDE MATCHES	< 5 WORDS
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY	ON		