MIKROBIOLOŠKA DEKONTAMINACIJA PRIOBALNOG ZEMLjIŠTA U SLIVU REKE KOLUBARE PRIMENOM VISOKOENERGETSKOG JONIZUJUĆEG ZRAČENjA

By Vuk Gajić

WORD COUNT 39167 TIME SUBMITTED 12-SEP-2022 10:46AM

PAPER ID 90410688

UNIVERZITET SINGIDUNUM

BEOGRAD

DEPARTMAN ZA POSLEDIPLOMSKE STUDIJE

DOKTORSKA DISERTACIJA

MIKROBIOLOŠKA DEKONTAMINACIJA PRIOBALNOG ZEMLjIŠTA U SLIVU REKE KOLUBARE PRIMENOM VISOKOENERGETSKOG JONIZUJUĆEG ZRAČENjA

MENTOR:

Prof. dr Gordana Dražić

STUDENT:

MSc Vuk Gajić

BROJ INDEKSA:

485048/2019

BEOGRAD, 2022. god.

Mentor:

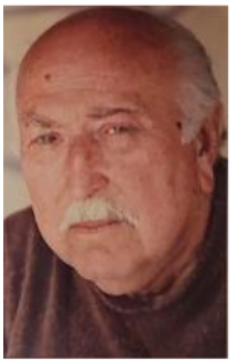
dr Gordana Dražić, redovni profesor Univerziteta Singidunum Beograd

Članovi komisije:

dr Jelena Milovanović, redovni profesor Univerziteta Singidunum Beograd

dr Ivica Vujčić, naučni saradnik Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ – Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju – Univerzitet u Beogradu

Datum odbrane:_____, Beograd.



Prof. dr Milenko Ristić

Posveta

Na prvu loptu se uvek čini da je neka prepreka nesavladiva, no na kraju se svaki problem premosti i savlada.

Zato sam srećan što si me naučio bitnim životnim stvarima koje me svakodnevno vode kroz život.

Zaslužio si da ovaj moj uspeh bude posvećen baš Tebi i nadam se da si ponosan na svog unuka.

Zahvalnica

Doktorska disertacija „Mikrobiološka dekontaminacija priobalnog zemljišta u slivu reke Kolubare primenom visokoenergetskog jonizujućeg zračenja“ predstavlja vrhunac mog dosadašnjeg rada i truda.

Iskoristio bih priliku da se zahvalim izuzetnim ljudima koji su mi pružili pomoć i podršku na mom putu ka uspehu.

Prvenstveno želim da se zahvalim mom mentoru, prof. dr Gordani Dražić, koja me već dugi niz godina prati kroz moje usavršavanje, što kao profesor, što kroz mentorstva, uvek imajući strpljenja i dobre savete.

Zahvaljujem se i komentoru prof. dr Jeleni Milovanović, koja je, takođe, godinama radila i pomagala mi da dođem do mog cilja.

Veliku zahvalnost dugujem dr Ivici Vujčiću, naučnom saradniku na Institutu za nuklearne nauke „Vinča“, u Beogradu, i njegovim kolegama, koji su mi pomogli pri ispitivanju svih uzoraka i pri analizi dobijenih rezultata.

Zahvalnost dugujem prof. dr Borisu Vakanjcu i prof. dr Vesni Ristić Vakanjac na pomoći i dostavljenim materijalima.

Zahvalnost dugujem prof. dr Mesudu Adžemoviću na podršci tokom celokupnih studija.

Posebnu zahvalnost dugujem Branku Đukeliću na saradnji i požrtvovanosti prilikom obilaska terena od interesa tokom istraživanja i prikupljanja uzoraka.

Ovim putem bih se zahvalio i ostalim profesorima i kolegama sa kojima sam sarađivao kroz svoje studije.

REZIME

Reka Kolubara, sa svojim pritokama duž celog sliva, akumulira polutante iz različitih izvora. Urbane sredine sa nedostatkom postrojenja za tretmane otpadnih voda i mulja, kao i industrija, glavni su izvori zagađenja u slivu ove reke. Kolubara svojim proticanjem transportuje polutante, koji potom kontaminiraju priobalno zemljište čineći ga opasnim po životnu sredinu, zdravlje ljudi i životinja.

Različite metode se mogu koristiti za dekontaminaciju zemljišta. Ove metode uključuju biološki tretman/bioremedijaciju, hemijsku oksidaciju, stabilizaciju zemljišta, fizičke metode (kao što je ispiranje zemljišta) ili tretman visokoenergetskim jonizujućim zračenjem.

Gama zračenje je dobro poznata metoda inhibicije mikrobne aktivnosti. U ovoj doktorskoj disertaciji je ispitan uticaj različitih doza i brzina doze gama zračenja na mikrobiološku dekontaminaciju na primeru priobalnog zemljišta u slivu reke Kolubare. Takođe je ispitana i homogenost raspodele doze apsorbovanog zračenja ozračenog materijala. Ispitivani su efekti zračenja na smanjenje ukupnog broja mikroorganizama i uklanjanje plesni i patogenih bakterija iz uzoraka zemljišta. Utvrđeno je da doza gama zračenja od 3 kGy neutrališe sve patogene bakterije, doza od 5 kGy deaktivira plesni u uzorcima zemljišta, dok je doza od 10 kGy optimalna za uklanjanje svih prisutnih mikroorganizama u uzorcima i za sterilizaciju tretiranog zemljišta. Istraživanje je pokazalo da brzina doze gama zračenja ne utiče značajno na mikrobiološku dekontaminaciju zemljišta.

Određen je sadržaj teških metala u zemljištu na nekoliko ključnih lokacija duž samog sliva, a dobijene vrednosti su upoređene sa graničnim maksimalnim i remedijacionim vrednostima zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu koje su propisane regulativom. Utvrđeno je da je prisustvo teških metala u obrađenim uzorcima zemljišta ispod remedijacionih propisanih vrednosti. Jedini izuzetak je neznatno povećan sadržaj bakra u jednom uzorku. Međutim, većina uzoraka premašuje granične maksimalne vrednosti teških metala, što otvara potrebu za daljim ispitivanjem ovog područja radi identifikacije zagađivača i prisustva teških metala u zemljištu.

Kao rezultat ove doktorske disertacije utvrđeno je trenutno stanje životne sredine i stepen kontaminacije priobalnog zemljišta mikroorganizmima i plesnima na strateški odabranim

lokacijama duž sliva reke Kolubare. Upoređivanjem dobijenih podataka sa 48 tačaka uzorkovanja duž sliva reke Kolubare i sa prostornim referencama urbanih i industrijskih sredina kroz koje protiče Kolubara i njene pritoke, utvrđeno je da se povišene vrednosti mikroorganizama i plesni poklapaju sa protokom reke kroz urbane i industrijske zone.

Izveden je zaključak da se kontaminirano priobalno zemljište iz sliva Kolubare može dekontaminirati gama zračenjem kao jednom inovativnom metodom remedijacije. Ova napredna tehnologija dostupna je u Srbiji, jer u okviru Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ u Beogradu postoji industrijsko postrojenje za tretman gama zračenjem.

ABSTRACT

The Kolubara River, with its tributaries along the entire basin, accumulates pollutants from various sources. Urban areas with a lack of wastewater and sludge treatment plants, as well as industry, are the main sources of pollution in the basin. By its flow, Kolubara transports pollutants, which then contaminate the coastal land, making it dangerous for the environment and human and animal health.

Different methods can be used to decontaminate the soil. These methods include biological treatment or bioremediation; chemical oxidation; soil stabilization; physical methods, such as soil leaching; or high-energy ionizing radiation treatment.

Gamma radiation is a well-known method of inhibiting microbial activity. In this doctoral dissertation, the influence of different doses and dose rates of gamma radiation on microbiological decontamination on the example of coastal soil in the Kolubara river basin was examined. The homogeneity of the dose distribution of the absorbed radiation of the irradiated material was also investigated. The effects of radiation on the reduction of the total number of microorganisms and the removal of mold and pathogenic bacteria from soil samples were investigated. A dose of gamma radiation of 3 kGy was found to neutralize all pathogenic bacteria, a dose of 5 kGy deactivates mold in soil samples, while a dose of 10 kGy is the optimal dose of 10 kGy for the introduction of bacteria and sterile organisms. The study showed that the dose rate of gamma radiation does not significantly affect the microbiological decontamination of the soil.

The content of heavy metals in the soil at a couple of key selected locations along the basin was determined, and the obtained values were compared with the maximum and remediation values of pollutants, harmful and dangerous substances in the soil as prescribed by the Regulation. It was determined that the presence of heavy metals in the investigated soil samples was below the remedial prescribed values. The only exception was the slightly increased copper content in one sample. But most of the samples exceed the limit values, which indicates the need for further testing of this area and the identification of pollutants as well as the presence of heavy metals in the soil.

As a result of this doctoral dissertation, the current state of the environment and the degree of contamination of the coastal land with microorganisms and molds at strategically selected

locations along the Kolubara river basin were determined. By comparing the obtained data from 48 sampling points along the Kolubara river basin and with spatial references of urban and industrial environments through which the Kolubara and its tributaries flow, we obtained the following results: Elevated values of microorganisms and molds coincide with river flow through urban and industrial zones. In this way, we connected pollution and its sources of pollution.

It was concluded that contaminated coastal land from the Kolubara basin can be decontaminated by gamma radiation treatment as an innovative method of remediation. This advanced soil treatment technology is available in Serbia because, within the Vinca Institute of Nuclear Sciences in Belgrade., there is an industrial plant for gamma radiation treatment.

Sadržaj:

UVOD 13

1. CILjEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANjA 18

2. PODRUČJE I PREDMET ISTRAŽIVANjA 20

2.1. Osnovni podaci o slivu reke Kolubare 20

2.1.1. Geografski položaj istraživanog područja 20

2.1.2. Klimatske karakteristike istraživanog područja 30

2.1.2.1. Režim padavina 31

2.1.2.2. Režim temperature vazduha 36

2.1.2.2.1. Vremenski parametri za opštinu Obrenovac u periodu istraživanja 36

2.1.2.2.2. Vremenski parametri za opštinu Barajevo u periodu istraživanja 37

2.1.2.2.3. Vremenski parametri za opštinu Lazarevac u periodu istraživanja 38

2.1.2.2.4. Vremenski parametri za opštinu Ub u periodu istraživanja 38

2.1.2.2.5. Vremenski parametri za opštinu Lajkovac u periodu istraživanja 38

2.1.2.2.6. Vremenski parametri za opštinu Ljig u periodu istraživanja 39

2.1.2.2.7. Vremenski parametri za opštinu Mionica u periodu istraživanja 39

2.1.2.2.8. Vremenski parametri za grad Valjevo u periodu istraživanja 39

2.1.3. Geološke i geomorfološke karakteristike područja istraživanja 40

2.1.3.1. Geološke karakteristike područja istraživanja 46

2.1.3.2. Reljef terena i savremeni morfološki procesi 48

2.1.4. Hidrografske i hidrološke karakteristike istraženog područja 51

2.2. Jonizujuće zračenje 57

2.2.1. Vrste jonizujućeg zračenja 57

2.2.2. Izvori jonizujućih zračenja 59

2.2.3. Primena jonizujućeg zračenja 60

2.3. Primena jonizujućeg zračenja u zaštiti životne sredine 64

2.3.1. Tretman dimnih gasova 67

2.3.2. Tretman otpadnih voda 68

2.3.3. Tretman kanalizacionog mulja 69

2.3.4. Sanacija zemljišta 74

2.3.5. Sterilizacija zemljišta 75

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANjA 77

3.1. Prikupljanje podataka, merenja i zapažanja 77

3.2. Izvori prostornih podataka 78

3.2.1. Prostorni podaci 78

3.2.1.1. Vektorski podaci 79

3.2.1.2. Rasterski podaci 80

3.2.2. Rasterske karte 80

3.2.2.1. Georeferenciranje 80

3.2.2.2. Ortofoto 81

3.2.2.3. Digitalni model terena 81

3.3. Uzorkovanje 81

3.4. Ozračivanje uzoraka gama zracima 88

3.4.1. Metod kalibracije i utvrđivanja homogenosti raspodele doze apsorbovanog zračenja ozračenog materijala 89

3.4.2 Metodologija ozračenja uzoraka u šaržnom režimu 90

3.5. Mikrobiološka analiza 91
3.5.1. Određivanje prisustva plesni 92
3.5.2. Određivanje prisustva *E. coli* 92
3.5.3. Određivanje prisustva *S. aureus* 93
3.5.4. Određivanje prisustva *P. aeruginosa* 93
3.5.5. Određivanje koncentracije teških metala u zemljištu 93

3.6. Sinteza etanol-monohlorobenzena 94

4. REZULTATI I DISKUSIJA 95

4.1. Određivanje ukupnog broja mikroorganizama u zemljištu na različitim tačkama duž toka reke Kolubare 95

4.2. Uticaj gama zračenja na mikrobiološku dekontaminaciju 107

4.3. Efekat različitih brzina doza gama zračenja na mikrobiološku dekontaminaciju 108

4.4. Rezultati kalibracija i utvrđivanja homogenosti raspodele doze apsorbovanog zračenja ozračenog materijala 108
4.4.2. Rezultati ozračivanja uzoraka u kontejneru za brzo ozračivanje 112

4.5. Utvrđivanje uticaja gama zračenja na sadržaj patogenih mikroorganizama u uzorcima zemljišta 114

4.6. Sadržaj plesni u zemljištu i uticaj različitih doza gama zračenja na dekontaminaciju 117

4.7. Koncentracije teških metala u zemljištu 122

4.8. Poređenje metode tretmana zemljišta upotrebom jonizujućeg zračenja sa ostalim metodama za sterilizaciju zemljišta 126
4.8.1 Poređenje inovativnih i starih tehnologija i metoda za sterilizaciju zemljišta 126
4.8.2 Upoređivanje operativnih troškova i primena inovativnih i starih tehnologija i metoda 128

ZAKLjUČAK 129

LITERATURA 132

PRILOZI 149

Slike 149

Tabele 150

UVOD

Priobalni ekosistemi mogu biti izloženi antropogenim uticajima, uključujući zagađenja usled ljudskih aktivnosti (Ruiz-Fernández *et al*., 2012). Poslednjih godina, zagađenje reka i priobalnog zemljišta je sve veći problem zbog brzog rasta broja stanovnika u urbanim sredinama i samog industrijskog razvoja (Yang *et al*., 2020). Sve više se istražuju polutanti koji se ispuštaju u vodotokove, nakon čijeg transporta i deponovanja dolazi do njihove akumulacije u priobalnom zemljištu (Islam *et al*., 2015; Kalnejais *et al*., 2010). Najčešći polutanti su organske materije propraćene patogenim mikrooganizmima, poreklom iz otpadnih voda i mulja, generisanih u urbanim sredinama, kao i teški metali u različitim oblicima, poreklom iz industije i aktivnih industrijskih zona, kao i iz poljoprivrednih aktivnosti (Förstner, Wittmann, 1981). Organska materija tokom razlaganja troši kiseonik i novonastali anaerobni uslovi stvaraju vodonik sulfid i metan, koji negativno utiču na životnu sredinu (Molamahmood *et al*., 2020). Teški metali se mogu apsorbovati tokom razlaganja organske materije i kasnije ukloniti desorpcijom, rastvaranjem, supstitucijom, hidrolizom ili mikrobnom aktivnošću. Teški metali u zemljištu mogu negativno uticati na vodene ekosisteme i na sam kvalitet voda (Håkanson, Jansson, 1983). Lako se mogu rastvoriti u vodi, gde ih apsorbuju vodeni organizmi, kao što su ribe i beskičmenjaci, izazivajući mnogobrojne negativne biološke efekte (Gheorghe *et al*., 2017). Mogu izazvati razne toksične efekte koji ometaju rast, metabolizam ili reprodukciju organizama, sa ogromnim posledicama po ceo lanac ishrane, uključujući i ljude (Stankovic *et al*., 2013).

Reka Kolubara sa svojim slivom se nalazi u zapadnoj Srbiji, duga je oko 100 km i nastaje spajanjem dve reke, Obnice i Jablanice, u blizini grada Valjeva. Sam sliv reke Kolubare zauzima površinu od oko 3650 km^2, a njen basen je bogat ležištima lignita, koja se aktivno eksploatišu. Rabas, Kladnica, Tamnava, Gradac, Banja, Lepenica, Ribnica, Toplica, Ljig, Peštan, Turija, Ub, Lukavica i Beljanica su glavne veće pritoke reke Kolubare. Maksimalni protok Kolubare na ušću u reku Savu iznosi oko 28 $m^3 \cdot s^{-1}$ (Drndarski *et al*., 1993). Grafički prikaz reke Kolubare i njenih glavnih pritoka dat je na Slici 1.



Slika 1. *Grafički prikaz sliva reke Kolubare (Substrate map: software SAS.Planet.Nightly.201020.10106, Basemap: Bing Maps-satellite zoom 15).*

Duž teritorije sliva reke Kolubare nalaze se mnogobrojna ležišta raznih mineralnih sirovina (lignita, kamena, gline, šljunka i peska...). Sliv reke Kolubare je jedna od najugroženijih lokacija u Srbiji zbog stepena i vrste degradacije. Rečna korita su drastično pomerana u donjem delu sliva zarad eksploatacije lignita, i dužina same Kolubare je zbog ovih regulacija skraćena za 20 km. Sama reka Kolubara deli rudarski basen na istočni i zapadni kop.

Razvoj industrije u ovom području je baziran na eksploataciji rudnika lignita, na blizini kamenoloma, kao i na eksploataciji ostalih sirovina (slika 2). Antropogeni uticaj je doveo do morfološke promene čitavog područja, kao i do mnogobrojnih geomorfoloških procesa: promena korita rečnih tokova, ubrzana erozija obala, taloženje nanosa i drugi ekološki problemi koji dovode do znatnog zagađenja, što su pokazala ranija istraživanja vode i erozije zemljišta na reci Kolubari (Dragicevic *et al*., 2012).

Istraživanje voda reke Kolubare i njenih pritoka je pokazalo da rudarstvo nije jedini izvor polutanata i lošeg kvaliteta vode. Direktno ispuštanje komunalnih otpadnih voda u vodotokove, deponije u blizini rečnih korita i prekomerna upotreba agrohemikalija u poljoprivredi su među vodećim uzrocima lošeg kvaliteta vode uzorkovane uzvodno od površinskih kopova rudnika uglja. U periodu od 2012. do 2016. godine nijedan od 46 ispitana uzorka vode na reci Kolubari nije odgovarao drugoj klasi kvaliteta površinskih voda, kao ni 9 ispitanih uzoraka na njenim pritokama Beljanici, Turiji i Peštanu (Samardzic, 2017).

Voda može biti zagađena iz više izvora, od otpadnih voda i mulja, fabrika, rudarskih aktivnosti, ispiranja asfaltiranih puteva do poljoprivrednih oticanja (slika 3). Kontaminirana voda spira neophodne hranljive materije i okolno zemljište u vodotokove. Polutanti iz vodotokova čine priobalno zemljište kiselim i negativno utiču na rastvorljivost i dostupnost hranljivih materija u ovom području (Eugenio *et al*., 2018). Takođe, mnogi teški metali i mikroorganizmi iz reka mogu prodreti u priobalno zemljište i tamo se deponovati, čineći zone priobalja nepodesnim za eksploataciju u poljoprivredi (Hillel, 2008). Mikroorganizmi iz reka dospevaju u priobalno zemljište i tu se zadržavaju na mineralima gline ili jedinjenjima organske materije. Ova jedinjenja imaju tendenciju da se biohemijski postepeno razgrađuju u zemljištu.

Teški metali se akumuliraju u zemljištu i u većim koncentracijama postaju toksični. Njihova rastvorljivost zavisi od mnogobrojnih faktora sredine u kojoj se nalaze (Bose, Bhattacharyya, 2008). Na rastvorljivost teških metala u zemljištu najviše utiču pH vrednost rastvora, ukupan sadržaj metala, ukupan sadržaj ugljenika i sadržaj oksida u samom zemljištu (Smolders *et al*., 2009).



Slika 2. *Kamenolom u Markovoj Crkvi*
Uslikano: 11.08.2020. (lična arhiva)



Slika 3. *Rudnik uglja Kolubara*
Uslikano: 12.09.2020. (lična arhiva)

Mikroorganizmi se mogu naći u svim staništima u životnoj sredini. Većina mikroorganizama nije patogena i ne uzrokuje bolesti. Naprotiv, mikroorganizmi imaju važnu ulogu u održavanju plodnosti zemljišta, razgradnji biološkog otpada na deponijama i kompostnim gomilama. Samo 1% ukupnih mikroorganizama su patogene bakterije ili bakterije koje izazivaju bolesti.

Escherichia coli (skraćeno *E. coli*) je bakterija koja se nalazi u životnoj sredini, hrani, u probavnom traktu životinja i ljudi. *E. coli* se, obično, koristi kao indikator fekalnih voda. Prihvatljivi nivo *E. coli* u zemljištu je 1,26 cfu·g^{-1} (jedinice koje formiraju kolonije u jednom gramu) (Navab-Daneshmand *et al*., 2018).

Staphylococcus aureus (skraćeno *S. aureus*) je toksigeni patogen (Haagsma *et al*., 2013; Castro *et al*., 2018), i značajan je uzročnik brojnih bolesti (Azara *et al*., 2017; Fursova *et al*., 2018), uključujući sindrom toksičnog šoka, meningitis, a i izazivač je sepse (Aguilar *et al*., 2010). Prisustvo ove bakterije u poljoprivrednom zemljištu nije dozvoljeno (Ingham, 2020).

Pseudomonas aeruginosa (skraćeno *P. aeruginosa*) je gram-negativna bakterija u obliku štapa. Može izazvati bolesti biljaka, životinja i ljudi (Diggle, Whiteley, 2020). Prisustvo ove bakterije u poljoprivrednom zemljištu je zabranjeno (Deredjian *et al*., 2014).

Tokom poslednje dve decenije, visokoenergetsko jonizujuće zračenje se koristi kao inovativna metoda za remedijaciju kontaminiranog zemljišta (Wen *et al*., 2010; Al-Bachir *et al*., 2003; Zhang *et al*., 2015). Gama zračenje može ukloniti patogene bakterije, plesni i ukupne mikroorganizme iz zemljišta (Lessel, 1990; Etzel *et al*., 1969).

1. CILjEVI I HIPOTEZE ISTRAŽIVANjA

Cilj doktorske disertacije je ispitivanje mogućnosti tretmana biološki kontaminiranog zemljišta u slivu reke Kolubare dejstvom visokoenergetskog jonizujućeg zračenja (doza zračenja, jačina doze), kao i identifikacija izvora zagađenja. Takođe, cilj istraživanja je i ispitivanje sadržaja teških metala, sa krajnjim ishodom u vidu definisanja mera remedijacije devastiranog zemljišta, kao i kreiranje prostorne raspodele proučavanih elemenata u vidu karata (distribucije konstatovanih i izmerenih elemenata i naseljenih područja u slivu reke Kolubare).

Definisani ciljevi istraživanja se realizuju kroz sledeće korake:

- odrediti sadržaj teških metala u zemljištu duž reke Kolubare;
- odrediti sadržaj mikroorganizama u zemljištu duž reke Kolubare;
- generisati prostornu raspodelu proučavanih elemenata (distribucije konstatovanih i izmerenih elemenata, zagađivača, naseljenih i poljoprivrednih područja, neiskorišćenih prostora i vodotokova);
- prikazati hidrografsku mrežu reke Kolubare i njenih pritoka sa aspekta zagađenja teškim metalima i mikroorganizmima;
- optimizovati i definisati uslove tretmana zemljišta primenom visokoenergetskog jonizujućeg zračenja, koji će dati najbolje rezultate pri uklanjanju zagađujućih materija iz zemljišta.

Opšta hipoteza je da su urbane, industrijske i eksploatacione aktivnosti u slivu reke Kolubare dovele do kontaminacije priobalnog zemljišta. Kontaminirano zemljište može značajno ugroziti zdravlje ljudi i životinja, a nepodobno je i za razvoj poljoprivrede u tom kraju. Postoji potreba za sanacijom priobalnog zemljišta sliva reke Kolubara i njenih pritoka, usled kontaminacije.

Posebne hipoteze:

- dosadašnja istraživanja sprovedena na području od interesa ukazuju da postoji kontaminacija polutantima;
- kontaminacija nije jednaka na celoj površini sliva reke Kolubare;
- prisustvo teških metala iznad granične maksimalne i remedijacione vrednosti zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu propisanih regulativom;
- tretman visokoenergetskim jonizujućim zračenjem može biti pogodna metoda za mikrobiološku dekontaminaciju zemljišta i vode;
- primarni izvor zagađenja polutantima su urbane sredine (otpadne vode i mulj) i industrija (kopovi uglja i kamenolomi).

2. PODRUČJE I PREDMET ISTRAŽIVANjA

Predmet doktorske disertacije je priobalno zemljište sliva reke Kolubare, sa ciljem ispitivanja mogućnosti korišćenja nove metode za dekontaminaciju zemljišta (Matić *et al*., 2017). Područje istraživanja obuhvata prostor priobalja reke Kolubare, od njenog formiranja u gradu Valjevu, prateći njen tok kroz opštine Lajkovac, Mionica, Ljig, Ub, Lazarevac, Barajevo i Obrenovac – sve do ulivanja u reku Savu. S obzirom na postojanje većih urbanih sredina i razvijenu industriju u čitavom istraživanom području, ova tema je posebno relevantna za procenu kvaliteta životne sredine (Popović *et al*., 2013). Širenje urbanih područja, stvaranje otpadnih voda i mulja, površinsko iskopavanje uglja, kamena i drugih sirovina, kao i poljoprivredne aktivnosti duž plavnih zona u pomenutom slivu doprinose zagađenju priobalnog zemljišta (Vakanjac *et al*., 2014).

Područje istraživanja obuhvata strateški odabrane lokacije duž pojasa uz same obale reke Kolubare, počevši od grada Valjeva i nastavljajući kroz opštine Lajkovac, Mionica, Ljig, Ub, Lazarevac, Barajevo i Obrenovac, pa sve do ušća reke Kolubare u reku Savu. Prisustvo velikih i malih industrijskih zagađivača duž sliva Kolubare opravdava opsežna istraživanja prisustva i koncentracije polutanata, pre svega patogenih mikroorganizama i teških metala koji se transportuju, i to ne samo vodotokovima, već i ocednim i podzemnim vodama kroz zemljište duž sliva reke Kolubare (Buhač *et al*., 2012).

2.1. Osnovni podaci o slivu reke Kolubare

2.1.1. Geografski položaj istraživanog područja

Matematičko-geografski i fizičko-geografski položaji čine apsolutni položaj, koji je skoro nepromenljiv.

Prostorni koordinatni sistem (geografska širina i dužina) određuje matematičko-geografski položaj. Kolubarski basen se nalazi u središnjem delu severne umerene temperaturne zone Srbije i pokriva 4,12% ukupne površine zemlje. Na jugu se graniči sa Valjevskim planinama (Medvednik, Jablanik, Povlen, Maljen i Suvobor), na istoku sa Šumadijom (Bukulja,

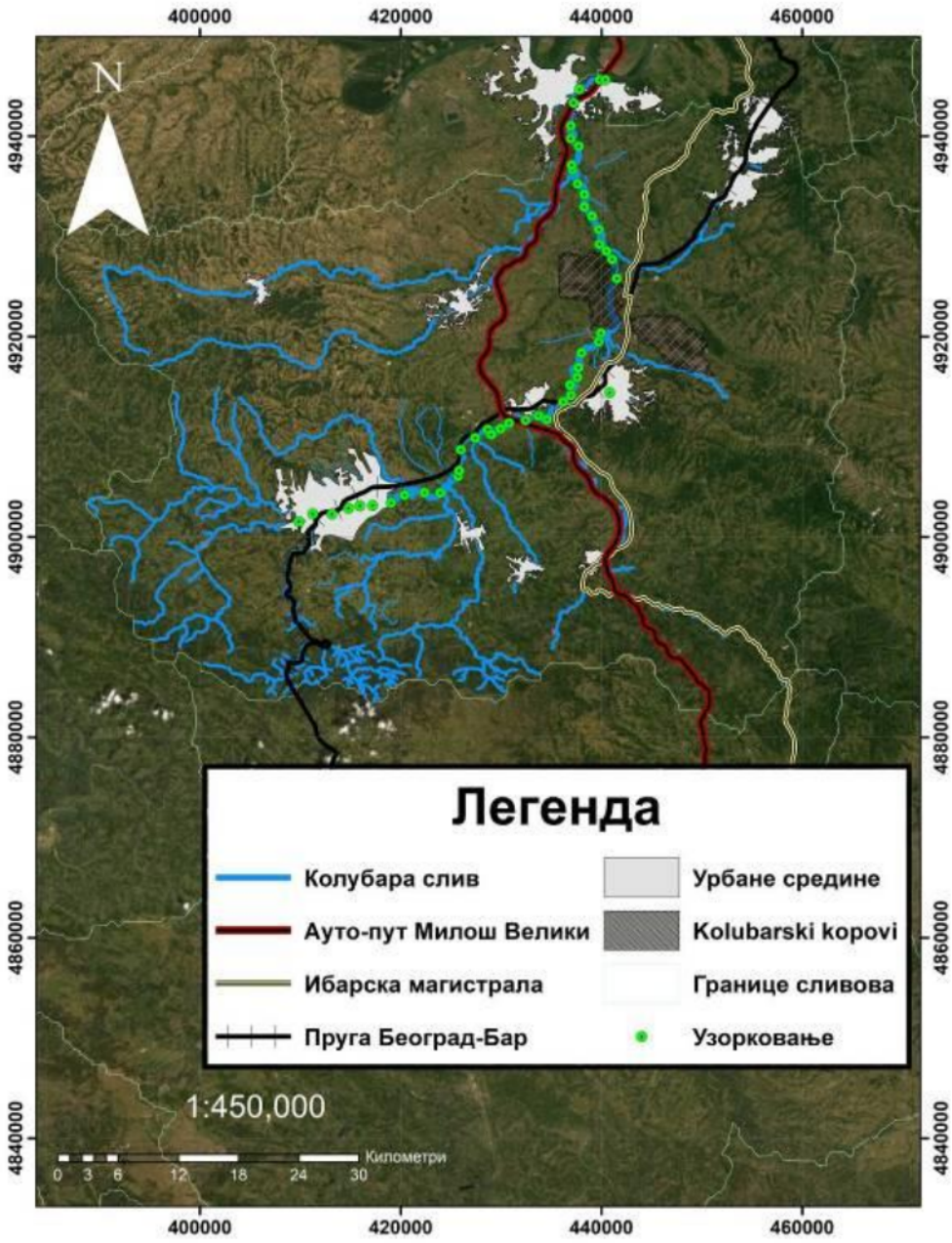
Kosmaj), a na zapadu i severu sa planinama Vlašić i Cer. Sliv ima oblik nepravilnog četvorougla u morfografsko-teritorijalnom pogledu, a rastojanje između najzapadnije tačke na severoistočnim padinama Vlašića i najistočnije tačke na Kosmaju u pravcu zapad-istok iznosi 81,2 kilometra. U pravcu sever-jug, rastojanje između najsevernije tačke sliva na ušću Kolubare u Savu i njegove najjužnije tačke kod Nakučana iznosi 64 kilometra. Sliv reke Kolubare se na severnoj strani graniči sa Dobravom i desnim kratkim pritokama reke Save. Sliv Velikog Luga, Kubršnice i Jasenice, leve pritoke Velike Morave, čini istočnu granicu. Slivovi Dičine, Čemernice i Skrapeža, pritoke Zapadne Morave, čine južnu granicu. Desne pritoke Drine čine granicu na jugozapadu. Sliv Jadra je sa zapada omeđen slivom reke Kolubare (Dragićević, 2002).

Fizičko-geografski položaj sliva Kolubare je složen i šarolik. Nalazi se na krajnjem severu jugoistočne Evrope, na granici sa Centralnom Evropom, prema evropskoj makroregionalnoj kategorizaciji. Kolubarski basen se nalazi u samom centru umerenog klimatskog pojasa, sa veoma povoljnim uslovima za život, za naseljavanje i za poslovanje, što rezultira visoko razvijenom saobraćajnom infrastrukturom. Položaj Kolubarskog basena u regionalno-geografskoj podeli je kontaktni na granici panonske i peripanonske Srbije. Kolubarski basen pripada peripanonskoj Srbiji, ako se reka Sava smatra granicom između nizije i oboda Panonskog basena.

Relativni položaj se može menjati, a njegove promene su uglavnom određene prirodom i brzinom socioekonomskih, geopolitičkih i geostrateških dešavanja, koja se direktno ili indirektno odražavaju na promene. Opštine Obrenovac, Barajevo, Sopot, Lazarevac, Koceljeva, Ub, Valjevo, Lajkovac, Mionica, Ljig, Aranđelovac, Gornji Milanovac i Kosjerić su deo sliva Kolubare. Sliv se nalazi na području Kolubarskog, Mačvanskog, Moravičkog, Šumadijskog i Zlatiborskog okruga, kao i dela grada Beograda – prema regionalnoj podeli.

Sliv reke Kolubare je po prirodnim karakteristikama sličan ostalim slivovima u okruženju. U prošlosti su tektonski procesi uticali na morfološki razvoj rečne mreže. Mali zaliv Panonskog mora poznat kao Kolubarski zaliv nastao je u blizini sliva reke Kolubare tokom paleogena i ranog neogena. Fluvijalna erozija je nastala u ovom zalivu kada se more povuklo, i tako formirala sadašnju hidrološku mrežu reke Kolubare. Na formiranje hidrološke mreže u slivu reke Kolubare uticale su tektonske karakteristike ovog područja, posebno Kolubarsko-peštanski rased i Posavski rased. Najviša tačka sliva je 1346 m nadmorske visine, dok je

najniža tačka 73 m. Reka Kolubara je poslednja velika desna pritoka reke Save i zbog dužine toka je klasifikovana kao reka srednje veličine u Srbiji (oko 90 km) i površine sliva (oko 3650 km^2). Formira se od dve reke sastavnice: Obnice i Jablanice, koje se spajaju u blizini grada Valjeva. Sa leve strane, veće pritoke su Rabas, Kladnica i Tamnava, dok su sa desne strane njene veće pritoke – Gradac, Banja, Lepenica, Ribnica, Toplica, Ljig, Peštan, Turija i Beljanica. Ušće Kolubare u Savu nalazi se na teritoriji opštine Obrenovac. Duž sliva reke Kolubare nailazimo na brojna urbana naselja koja su najveći izvori zagađenja. Nedostatak tretmana otpadnih voda i mulja poreklom iz mnogobrojnih urbanih sredina duž sliva reke Kolubare, najviše doprinose kontaminaciji priobalnog zemljišta patogenim mikroorganizmima. Putna infrastruktura je, takođe, razvijena duž slive reke Kolubare. Dva najveća putna pravca u slivu su Ibarska magistrala, duž koje su razvijena urbana naselja celom trasom puta kroz Kolubarski sliv, kao i nov auto-put Miloš Veliki, koji na više mesta preseca reku Kolubaru i njene pritoke. Takođe, treba spomenuti i železnički saobraćaj i prugu Beograd–Bar, koja većim delom prati tok reke Kolubare i njene pritoke. Reka Kolubara je podeljena na dva dela: gornji tok Kolubare i srednji tok Kolubare (Gavrilović, Dukić, 2002) (slika 4).



Slika 4. *Grafički prikaz sliva reke Kolubare, urbanih sredina, važnih saobraćajnica i Rudarskog basena Kolubara (Substrate map: software SAS.Planet.Nightly.201020.10106, Basemap: Bing Maps-satellite zoom 15).*

Tabela 1. Podaci o broju stanovnika i opštinama Kolubarskog sliva (*izvor*: Republički zavod za statistiku)

Opština	Okrug	Površina [km²]	Površina u slivu [km²]	Procenat opštine u slivu [%]	Udeo u ukupnoj povr. sliva [%]	Broj stanovnika 2011. god.	Broj stanovnika u slivu
Mladenovac	Beograd	343.5	0.2	0.1	0.01	53096	0
Sopot	Beograd	273.2	144.1	52.8	4.0	20367	4885
Voždovac	Beograd	147.4	1.2	0.8	0.03	158213	0
Čukarica	Beograd	157.2	2.1	1.3	0.1	181231	339
Barajevo	Beograd	215.3	210.0	97.6	5.8	27110	27110
Lazarevac	Beograd	382.7	382.7	100.0	10.5	58622	58622
Obrenovac	Beograd	411.1	161.7	39.3	4.4	72534	23336
Osečina	Kolubarski	316.4	17.6	5.6	0.5	12536	543
Valjevo	Kolubarski	903.9	829.5	91.8	22.8	90312	90312
Mionica	Kolubarski	330.0	321.5	97.4	8.8	14335	14335
Ljig	Kolubarski	278.0	276.2	99.3	7.6	12754	12754
Lajkovac	Kolubarski	193.3	193.3	100.0	5.3	15475	15475
Ub	Kolubarski	452.4	420.8	93.0	11.446	29101	28201
Šabac	Mačvanski	792.5	21.2	2.7	0.6	115884	813
Loznica	Mačvanski	617.9	0.1	0.02	0.003	79327	0
Koceljeva	Mačvanski	255.1	221.3	86.7	6.1	13129	13369
Vladimirci	Mačvanski	337.5	6.4	1.9	0.2	17462	210
G.Milanovac	Mačvanski	838.9	163.1	19.4	4.5	44406	3886
Topola	Šumadijski	347.9	4.1	1.2	0.1	22329	5
Aranđelovac	Šumadijski	377.2	222.4	59.0	6.1	46225	11852
B. Bašta	Zlatiborski	676.0	0.4	0.1	0.01	26022	0
Kosjerić	Zlatiborski	357.9	38.5	10.8	1.1	12090	523
Požega	Zlatiborski	429.0	0.02	0.004	0.001	29638	4
Ukupno						**1152198**	**306574**

U tabeli 1 su obrađeni podaci o opštinama i broju stanovnika Kolubarskog sliva po popisu iz 2011. godine. Neke opštine koje teritorijalno pripadaju Kolubarskom slivu, a koje u manjim procentima i sa malim brojem ljudi naseljavaju ovaj prostor, neće biti detaljnije obrađene u ovom radu.

U samom slivu Kolubare, po popisu iz 2011. godine, živi oko 300 hiljada ljudi, od kojih oko dve trećine naseljavaju veće urbane sredine: Valjevo, Lazarevac, Barajevo i Obrenovac.

Usled nedostatka postrojenja za preradu otpadnih voda i muljeva, kao i kanalizacionih mreža u nekim naseljima, većina otpadnih voda se direktno ispušta kako u samu Kolubaru, tako i u njene pritoke. Urbane sredine, sa svojim neregulisanim otpadnim vodama, vrše veliki pritisak na životnu sredinu, kako samih reka tako i okolnog zemljišta, koje je kontaminirano mikroorganizmima duž celog sliva.

Gornji tok reke Kolubare

Kolubaru čine dve sastavne reke: desna sastavnica Jablanica (21.5 km) i leva sastavnica Obnica (40 km), koje se sastaju na 193 m nadmorske visine ispred grada Valjeva (slika 5). Same doline ove dve reke su uske, i na nekim mestima duboke do 200 m. Reka Sušica, pritoka reke Jablanice sa njene desne strane, urezala je dolinu kanjona u Lelićkom krasu, koja je duboka oko 300 m, a duga 7.5 km. Dolina same reke Kolubare se kod Valjeva naglo širi, protiče kroz Valjevsku kotlinu i, u vidu lakta, zavija dolinom sa smera jug-sever ka smeru zapad-istok. Zbog bujičastih odlika svojih sastavnih delova i pritoka, korito je vijugavo i široko. Pre regulacije korita Kolubare, dolina je bila sklona čestom plavljenju.



Slika 5. *Ušće reka Jablanice i Obnice i formiranje reke Kolubare kod Valjeva*
Uslikano: 13.08.2020. (lična arhiva)

Reka Gradac, koja se sa desne strane uliva u Kolubaru u gradu Valjevu, prva je veća pritoka. Gradac je vodom najbogatija pritoka Kolubare. Gradački tok usekao je klisurasto-kanjonsku dolinu dužine 22.7 km. Gradac ima dužinu od 28 km i ukupan pad od 187 m, od ušća Bukovske reke i reke Zabave, gde se formira, pa sve do ušća u Kolubaru (Dokmanović *et al*., 2013).

U gornjem toku reke Kolubare postoji nekoliko većih urbanih celina: Valjevo, Mionica, Banja Vrujci.

Valjevo je grad u zapadnoj Srbiji koji važi za administrativni centar Kolubarskog okruga. Prema popisu iz 2011. godine, administrativno područje Valjeva ima 90312 stanovnika, a 59073 živi u urbanoj sredini. Grad poseduje postrojenje za tretman otpadnih voda „Gorić“, ali je potrebna njegova tehnološka modernizacija kako bi se rad postrojenja uskladio sa standardima Evropske unije. Grad je okružen Valjevskim planinskim vencem (Medvednik,

Jablanik, Povlen, Maljen, Suvobor) sa blago nagnutim padinama. Divčibare su visoravan u Maljenskom planinskom vencu. Nalaze se na 1000 metara nadmorske visine. U blizini centra Valjeva završava se kanjon reke Gradac, a na 15 km od centra nalazi se veštačko jezero Rovni.

Mionica je varoš i opština u zapadnoj Srbiji, u okrugu Kolubara. Varoš ima 1571 stanovnika, dok opština ima 14335 stanovnika i ne poseduje postrojenje za tretman otpadnih voda i mulja. Varoš se nalazi na 92 km jugozapadno od Beograda. Sa površinom od 329 km^2, sa južne strane granica su joj planine Maljen i Suvobor, a na zapadnoj i severnoj strani granice su joj reke Kolubara i Toplica.

Banja Vrujci je banjska varoš u severozapadnom regionu Srbije, smeštena između planinskog venca Suvobora i sliva reke Toplice. Varoš ne poseduje postrojenje za tretman otpadnih voda i mulja. Najpoznatija je po svojoj termalnoj vodi, koja se distribuira u raznim zemljama širom sveta pod brendom „Voda Voda“.

Srednji tok reke Kolubare

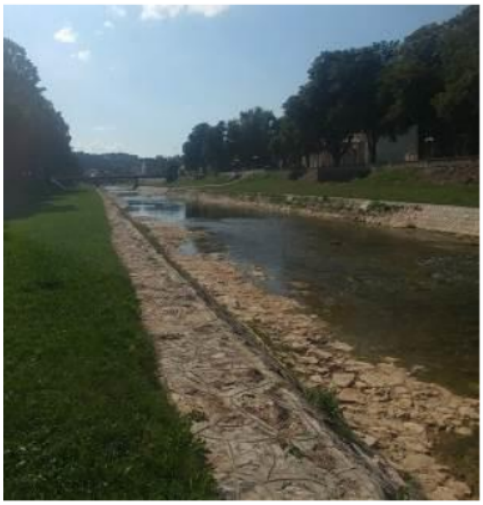
Dolina Kolubare se na svega 120–150 m nizvodno od Valjevske kotline sužava u malu klisuru u blizini sela Slovca, smeštenu između brda Jerinin grad i brda Oštrikovac. Dolina je prvenstveno široka nizvodno od Slovca, sa ogromnom aluvijalnom ravni koja se proteže do 3 km prema Liso Polju.

Pritiču joj reka Ljig (dužine 29 km) i Peštan, sa Turijom (dužine 28 km), sa njene desne strane, dok reka Tamnava, sa Ubom, pritiče sa njene leve strane (dužine 89.8 km). Kolubara je duga oko 90 km (126.5 km sa Obnicom) od ušća reka Jablanice u Obnicu do ušća u Savu kod opštine Obrenovac, sa prosečnom nadmorskom visinom od svega 206 m. Prema ovim podacima, nizije dominiraju u većem delu sliva Kolubare, a pobrđa, niske planine (do 1000 m visine) i srednje visoke planine (do 1500 m visine) su prisutne u samom izvorišnom predelu sliva i duž pritoke reke Ljig.

Kolubara je kod Lajkovca široka oko 30 m, a dubina joj varira od 0.5 do 3 m, a kod Obrenovca dostiže širinu od 45 m, dok joj dubina varira od 1 do 2 m, pa za vreme visokog

vodostaja na Savi manji brodovi mogu ploviti uzvodno, do samog Obrenovačkog mosta, na oko 3 km od mesta ulivanja reke Kolubare u reku Savu.

Nagle i velike fluktuacije vodostaja i tokova u slivu Kolubare važna su karakteristika vodnog režima. Otežavaju potencijalno rešavanje i regulisanje glavnih problema upravljanja slivom – snabdevanje vodom samih naselja i industrije, pa se posebna pažnja mora pokloniti zaštiti od poplava, zaštiti od bujica i vodne erozije (slike 6 i 7). Kolubara spada u kategoriju reka sa izraženim režimom ciklusa kiše i snega (Jovanović, 1956). Dobar deo Kolubarskog sliva u sušnim periodima ima problem sa snabdevanjem pijaćom vodom.



Slika 6. *Regulacija vodotoka reke Kolubare u gradu Valjevu Uslikano: 14.08.2020. (lična arhiva)*



Slika 7. *Regulacija vodotoka reke Ljig Uslikano: 20.09.2020. (lična arhiva)*

Na ovom prostoru je razvijen veći broj urbanih celina: Ljig, Lajkovac, Lazarevac, Barajevo, Ub, Koceljeva i Obrenovac.

Lajkovac je grad i opština u Kolubarskom okrugu, u zapadnoj Srbiji. Po popisu iz 2011. godine, ima 3249 stanovnika, dok opština ima 15475 stanovnika. Naselje ne poseduje postrojenje za tretman otpadnih voda i mulja. Nalazi se u dolini reke Kolubare, u blizini Ibarske magistrale.

Ljig je grad u Srbiji, koji se nalazi u Kolubarskom okrugu. Broj stanovnika je 3226, dok opština ima 12754 stanovnika, prema popisu iz 2011. godine. Grad ne poseduje postrojenje za tretman otpadnih voda i mulja. Planina Rajac se nalazi 8 km južno od Ljiga, a planina Rudnik 27 km jugoistočno. Kroz Ljig protiče istoimena reka Ljig, koja je pritoka reke Kolubare i duga je 48.9 km.

Opština Lazarevac je u sastavu grada Beograda. U urbanoj sredini živi 25526 stanovnika, sa ukupno 58622 stanovnika na području opštine, po popisu iz 2011. godine. Opština ne poseduje postrojenje za tretman otpadnih voda i mulja. Rudnik RB Kolubara, koji se nalazi u Lazarevcu, najveći je kop lignita u Srbiji.

Opština Barajevo je u sastavu grada Beograda. Ima 27110 stanovnika, prema podacima popisa iz 2011. godine. Opština poseduje postrojenje za tretman otpadnih voda, u naselju Gaj. Sa nadmorskom visinom od 140 do 364 m, opština se nalazi u donjem severnom delu Šumadije, jugoistočno od Beograda. Najveći deo opštinskog zemljišta nalazi se u slivu reke Turije, desne pritoke Peštana, koja se uliva u Kolubaru, čime ceo prostor geografski pripada Kolubarskom slivu. Veštačko jezero „Duboki potok" nalazi se u blizini Barajeva i ima veliko vikend naselje. Jezero se nalazi 30 km južno od Beograda i 2 km severoistočno od Barajeva. Jezero je dugačko 800 m, široko 100 m, veliko je 7.2 ha i ima prosečnu dubinu od 6 m. Jezero je sa jedne strane okruženo gustom šumom, a sa druge pašnjacima.

Ub je grad i opština u zapadnoj Srbiji, koja se nalazi u Kolubarskom okrugu. U gradu živi 6164 stanovnika, a u opštini 29101 stanovnik, prema popisu iz 2011. godine. Grad ne poseduje postrojenje za tretman otpadnih voda i mulja. Kroz naselje protiče istoimena reka Ub, desna pritoka reke Tamnave. U blizini grada postoje razni rudnici i resursni centri. Radljevo polje ima zalihe od 344 miliona tona uglja, Zvizdarsko polje ima zalihe od 280 miliona tona uglja. Takođe postoje i rudnici gline, peska, kamena i krečnjaka. Na ovom prostoru se nalazi najveći proizvođač kvarcnog peska u Srbiji, sa godišnjom proizvodnjom od oko 400 hiljada tona. Glinene jame nalaze se ispod slojeva peska i kvarcnog peska. Opština Ub poseduje najveći izvor visokokvalitetne gline u Srbiji. Procenjene su zalihe sa više od 1.8 miliona tona gline.

Koceljeva je naselje u Srbiji u Mačvanskom okrugu. U opštini Koceljeva broj stanovnika je 4182, dok opština ima 13129 stanovnika, prema popisu iz 2011. godine. Naselje nema postrojenje za tretman otpadnih voda i mulja. Kroz naselje protiče reka Tamnava.

Opština Obrenovac je u sastavu grada Beograda. Opština ima 72524 stanovnika, dok gradsko područje ima 24568 stanovnika, prema podacima iz popisa iz 2011. godine. Opština nema postrojenje za tretman otpadnih voda i mulja. Na rubu opštine nalazi se najveća termoelektrana u zemlji, TE Nikola Tesla. Tokom poplava 2014. godine, Obrenovac je bio potpuno poplavljen i evakuisan. Obrenovac se nalazi 30 km južno od Beograda, uz okuke reke Save na severu. Na svom putu ka Savi, reka Kolubara teče istočno od grada. Obrenovac je opština sa površinom od 411 km^2.

Sve pomenute urbane sredine u gornjem i srednjem toku reke Kolubare planiraju remont i unapređenje postojećih i izgradnju jednog ili više novih postrojenja za preradu otpadnih voda i mulja, u zavisnosti od potreba i broja stanovnika. Tokom 2021. godine, otpočela je realizacija projekta „Čistija Srbija“, koji ima za cilj da u narednih pet godina unapredi stare i izgradi nove kanalizacione mreže i postrojenja za tretman otpadnih voda i mulja.

2.1.2. Klimatske karakteristike istraživanog područja

Srbija pripada pojasu sa umereno kontinentalnom klimom, gde su leta topla, pa i vrela, a zime hladne na severu, dok su blage na jugu, jer su teritorijalno bliže Jadranskom moru. Na našim prostorima se smenjuju četiri godišnja doba. U zavisnosti od geografske širine, temperatura varira od 6.1 °C do 11.1 °C. Leta su topla, čak i vrela, sa prosečnim temperaturama tokom dana od 26.7 °C do 32.2 °C. U avgustu mesecu je vrhunac letnje sezone. Dešava se da u toku leta, naše predele pogode topli talasi koji dolaze iz Sahare. Zime na našim prostorima su prilično hladne, sa dosta snega na severu. Na jugu su zime manje surove zbog blizine Mediterana i njegovog uticaja. Polarne vazdušne mase često mogu da prodru na naše područje, pri čemu donose hladnoću i temperature znatno ispod nule. Tokom proleća ima dosta padavina i uglavnom je prohladno, sa mogućom snežnim padavinama. Tokom jesenjeg perioda, naročito tokom novembra, ima puno vlage i perioda sa maglom (Đukanović, 2000). Prema podacima meteorološke stanice najbliže Obrenovcu, klima na području od interesa je umereno kontinentalnog tipa, sa prosečnom temperaturom od 11°C i prosečnom godišnjom

količinom padavina od 722 mm za period od 1925. do 2010. godine, dok je prosečna godišnja količina padavina za period od 2011. do 2020. godine iznosila 660 mm, sa prosečnom temperaturom od 14°C . U periodu od 1961. do 2005. godine, prosečni godišnji proticaj reke Kolubare (na mernoj stanici Draževac) iznosio je 21,8 m^3/s, dok je prosečni godišnji proticaj reke Kolubare (na mernoj stanici Draževac) za period od 2011. do 2020. godine iznosio 25,9 m^3/s.

Pregledom podataka vidimo da je u poslednjih 10 godina došlo do povećanja prosečne temperature u odnosu na prethodni period sa 11°C na 14°C, dok se smanjila prosečna godišnja količina padavina sa 722 mm na 660 mm. Prosečni godišnji proticaj reke Kolubare, kod merne stanice Draževac, se u poslednjih 10 godina povećao na 25,9 m^3/s, (u prethodnom periodu je iznosio 21,8 m^3/s). Pojave prosečno manjih količina padavina i povišene prosečne temperature sa povećanim prosečnim godišnjim proticajem reke Kolubare možemo objasniti klimatskim promenama, i ako su količine padavina manje i temperature više – sve su češći ekstremi poput velikih suša ili poplava.

2.1.2.1. Režim padavina

Vodni bilans određenog predela direktno zavisi od samog režima padavina. Od količine padavina na nekom prostoru zavisi raznovrsnost flore i faune. Same padavine čine ulaznu komponentu vodnog bilansa, pa ih zato smatramo najbitnijim klimatološkim elementom pri izradi vodnog bilansa. No, padavine takođe predstavljaju najnestabilniji meteorološki element koji je neravnomerno raspoređen po prostoru i vremenu. Na količinu padavina utiču reljef, geografska širina, vazdušne mase, nadmorska visina, itd.

Reka Kolubara, sa svojim pritokama, se karakteriše čestim i obilnim poplavama. Izliva se jednom do dva puta godišnje. Usled antropogenog uticaja na hidrološki sistem u donjem delu sliva, ovaj prostor oko Kolubare je u velikoj opasnost od poplava. Tokom proleća 1937. godine, katastrofalne poplave su pogodile ovaj prostor, tj. prostor oko Kolubare i njenih pritoka u donjoj polovini sliva, koje su trajale skoro dva meseca (od marta do maja). Poplave većih razmera događaju se sve češće na ovom području: 1965, 1975, 1981, 1996, 1998, 1999, 2001, 2004, 2006, 2008, 2010. i 2014. godine.

Poznavanje količine i intenziteta padavina na delu topografske površine je polazna osnova za sva naredna hidrološka i geomorfološka proučavanja. Dosadašnja istraživanja su pokazala da ukupne godišnje padavine nisu važne za intenzitet erozivnih procesa i poplava u slivu Kolubare, već raspored padavina tokom cele godine, odnosno pluviometrijski režim (Dragićević *et al*. 2007).

Na osnovu proučavanja mesečnih i godišnjih padavina od 1961. do 1990. godine, za 40 kišomernih mesta u slivu Kolubare (tabela 2), dobijeni su podaci neophodni da bi se doneli tačniji zaključci o njihovom uticaju na nivo voda u slivu (Ruml, *et al*., 2016). Kada se posmatra prostorna distribucija padavina u slivu Kolubare, jasno je da su najvlažniji delovi na jugozapadu, dok ih je najmanje u severnim i istočnim delovima. Od severoistoka ka jugozapadu sliva količina padavina je u postepenom porastu. Izohipse u severnim i istočnim predelima basena su retko raštrkane, što ukazuje na generalno ujednačenu topografiju. Složena topografija u zapadnim i južnim regionima basena rezultirala je gusto raštrkanim izohipsama. Pored reljefa, udaljenost od izvora vlage je važna klimatska komponenta (Jadransko more, Sredozemno more i Atlantski okean). Hladni front i pljuskovi koje donose hladne vazdušne mase sa Atlantika i zapadne Evrope zaslužni su za veću količinu padavina u zapadnom delu basena. Ove vazdušne mase padaju nakon što pređu planine, zagrevaju se i postaju suve. Kao rezultat toga, postoje znatne razlike u količini padavina između stanica u koje dolaze vazdušne mase i onih koje su u zavetrini na istoj ili približno istoj visini (Unkašević, Tošić, 2011).

Tabela 2. Srednje mesečne vrednosti padavina (u mm) za period od 1961. do 1990. godine (izvor: Republički hidrometeorološki zavod Srbije)

Stanice	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	God.
Banjani	52,0	47,5	47,6	57,3	67,8	96,9	59,1	60,1	50,4	42,6	60,3	58,1	699,7
Barajevo	56,0	44,2	53,4	59,9	81,2	90,3	72,6	62,6	55,4	43,9	51,7	60,8	732,1
Belanovica	55,7	55,2	59,1	64,2	93,6	113,6	77,1	66,7	56,9	50,3	62,0	64,8	819,2
Boždarevac	48,5	43,8	51,1	54,1	72,9	90,2	65,3	60,0	53,2	41,8	52,0	57,7	690,5
Brankovina	51,5	51,4	59,1	62,7	89,1	104,9	75,3	68,0	59,6	53,5	67,4	59,9	802,4
Brežđe	66,7	60,1	75,3	78,5	117,0	129,7	90,7	83,3	75,4	55,5	78,8	78,7	989,7
Valjevo	48,9	45,6	55,8	63,5	88,1	108,5	77,0	68,0	59,6	48,8	61,6	83,8	809,3
Venčane	56,5	49,0	55,7	57,4	82,0	91,5	66,3	56,0	51,5	47,4	58,0	62,8	734,2
Vranić	51,5	46,7	53,1	59,5	76,8	97,7	66,5	62,0	54,7	43,6	58,9	61,8	733,0
Vukosavci	61,2	55,6	63,6	70,7	103,0	124,5	79,7	70,9	56,4	47,8	66,4	66,9	866,6
Divčibare	61,3	58,1	67,5	88,2	139,0	135,6	97,5	77,7	74,5	61,1	72,4	70,2	1003,1
Donje Crniljevo	61,3	55,8	65,1	70,4	86,0	107,5	77,7	72,5	61,7	54,1	69,0	72,9	843,8
Donje Leskovice	59,8	58,3	65,7	79,0	107,4	134,2	88,9	83,6	73,7	61,0	73,7	67,6	952,9
Donji Mušić	55,4	52,0	63,2	64,4	98,4	113,2	82,2	70,9	57,4	50,7	69,1	66,3	843,2
Dudovica	55,6	50,2	58,0	64,1	95,1	106,2	72,1	69,2	53,5	47,2	64,0	66,2	801,4
Kalenić	52,1	45,9	54,3	57,2	75,4	97,9	66,2	60,1	52,5	43,7	60,6	60,2	726,1
Kamenica (Valj.)	63,4	63,6	72,5	78,0	110,4	123,3	88,6	79,1	70,6	61,4	75,5	78,5	964,9
Koceljeva	52,3	49,9	56,0	58,8	79,7	103,2	67,7	58,4	58,5	45,3	63,9	63,8	757,5
Kriva reka	55,9	50,7	56,5	57,1	83,7	101,5	67,4	54,6	53,8	43,6	50,0	63,2	738,0
Lajkovac	53,8	41,6	52,9	56,6	78,8	85,8	65,3	58,1	45,4	42,3	54,9	56,6	692,1
Lazarevac	57,6	50,7	55,2	60,2	85,1	97,0	69,7	63,6	54,5	45,0	59,4	65,0	763,0
Lukovac	61,1	48,0	60,3	60,9	87,9	102,1	71,9	61,8	54,3	46,7	64,5	64,7	784,2
Ljig	53,8	52,4	59,4	63,7	87,6	107,7	76,5	72,3	56,5	48,2	64,9	67,1	810,1
Majinovići	64,0	57,5	66,5	80,1	112,2	109,6	76,6	68,1	60,4	57,3	76,7	72,0	901,0
Mionica	57,5	50,8	61,5	65,4	95,2	102,7	78,8	70,5	59,8	48,4	67,3	65,8	823,9
Mratišić	53,6	49,5	62,7	70,2	104,1	117,5	87,2	82,9	67,1	54,0	70,2	60,8	879,8
Obrenovac	46,4	40,2	46,6	52,1	66,5	84,4	58,5	55,3	50,4	40,5	50,3	56,2	647,2
Pambukovica	49,4	50,6	58,3	59,6	76,2	103,2	71,1	60,6	50,8	45,1	64,3	56,1	745,3
Partizani	56,3	47,7	53,0	59,3	87,6	105,0	71,1	53,2	50,3	41,9	60,9	61,7	748,0
Poćuta	69,6	67,3	75,4	80,5	123,1	125,8	94,6	86,1	77,0	66,4	90,1	81,9	1037,8
Rajac	50,3	48,5	59,2	70,4	115,9	122,2	90,8	80,5	65,5	55,6	66,6	59,0	884,5
Rudovci	52,7	49,3	59,2	57,2	91,7	106,0	75,5	66,7	54,6	47,2	60,2	60,6	781,1
Rudnik (naselje)	63,5	57,5	69,2	70,2	102,9	120,4	80,8	67,1	61,9	45,9	68,5	77,0	884,8
Rudnik (planina)	72,1	63,5	71,8	81,9	107,2	131,4	88,9	73,0	67,4	50,3	70,1	79,3	956,9
Sibnica	52,6	43,5	50,9	60,5	83,5	99,9	72,4	60,8	52,3	43,6	58,0	60,6	738,7
Stepanje	61,8	50,6	60,9	63,2	86,3	99,3	74,0	65,9	56,7	50,2	68,0	68,8	805,7
Stepojevac	45,7	38,8	49,4	53,7	68,6	87,5	60,3	51,2	50,6	42,7	55,9	52,0	656,4
Stubline	44,3	39,5	55,2	58,6	71,7	88,7	69,0	58,8	51,9	44,8	58,8	53,6	694,9
Ub	50,8	45,0	52,7	56,6	78,6	101,2	60,7	63,9	52,1	46,9	61,3	61,2	731,0
Štavica	54,1	47,7	59,2	67,3	95,7	117,9	83,0	71,3	58,6	47,6	66,7	63,0	832,1

Dosadašnjim istraživanjima utvrđeno je da je u junu zabeležen maksimum padavina na većini kišomernih stanica u slivu Kolubare, sa izuzetkom Divčibara i Majinovićima, gde je maksimum bio u maju. Razlika u padavinama između maja i juna na ove dve stanice je neznatna, u proseku oko 3 mm, što je u potpunosti u skladu sa tim da je ovakva raspodela padavina uzrokovana barometarskim depresijama, koje se kreću od Đenovskog zaliva ka istoku, odnosno dolinama Save i Dunava. Minimalne padavine su u oktobru zabeležene na 28 kišomernih lokacija, dok su u februaru zabeležene na ostalih 12 stanica. Na osnovu izračunatih vrednosti padavina za ovih 40 stanica, podaci pokazuju da se najveća prosečna mesečna količina padavina kreće od 66,4 mm u Poćuti, tokom oktobra meseca, do 139 mm, na Divčibarama, što je i tridesetogodišnji prosek julskih padavina na ovom prostoru. Najmanja prosečna dugoročna mesečna količina padavina kreće se od 38,8 mm u februaru (Stepojevac) do 84,4 mm u junu (Divčibare) (Živković, Dragićević, 2003).

Izračunavanje relativne godišnje fluktuacije padavina je ključno. To je rezultat pluviometrijskog režima, koji ukazuje na to da ako je mesečna raspodela padavina ujednačena, relativna fluktuacija padavina je nula. Vrednost relativne fluktuacije veća je ako su padavine neravnomerno raspoređene po mesecima tokom godine. Najmanja relativna višegodišnja kolebanja padavina od ispitivanih stanica imala je Poćuta (5,7%), a najveća Vukosavci (8,9%). Prosečna dugotrajna kolebanja padavina, za sve ove stanice u slivu Kolubare, iznose 7,3%, što ukazuje na znatnu neujednačenost tokom cele godine.

Najviše padavina ima tokom letnje sezone (jun, jul, avgust) na svim analiziranim kišnim stanicama u slivu Kolubare (249,4 mm), a najmanje tokom jesenje sezone (septembar, oktobar, novembar) (171,4 mm). Količina padavina koje se izluče tokom prolećne sezone je 215,5 mm i znatno je veća nego tokom jesenje sezone (171,7 mm). Znatna kolebanja u visini padavina karakterišu distribuciju padavina u toplijoj polovini godine (maj-oktobar). Na svim lokacijama u letnje doba godine ima mnogo više padavina nego u hladnijoj polovini godine (novembar-april). Godišnji obrazac padavina podudara se sa podunavskim (srednjoevropskim) pluviometrijskim režimom. Prilikom analize količine i rasporeda padavina mora se uzeti u obzir topografija sliva Kolubare. Za kišomerne stanice koje se nalaze u zapadnoj Srbiji, na nadmorskoj visini od 1000 m, prosečna godišnja količina padavina je preko 1000 mm. Doline Drine i Kolubare imaju značajan uticaj na raspodelu padavina u ovom delu Srbije. Pravac Dinarida uglavnom prate vlažne vazdušne mase koje potiču sa severozapada. Brojni ogranci glavnog toka vazdušnih masa se uvlače u doline

desnih pritoka reke Save, koje su tipično orijentisane u pravcu sever-jug (Ducić, Radovanović, 2005).

Padavine mogu biti obilne, kako na vetrovitim padinama, tako i na znatno nižim nadmorskim visinama. Poćuta je, na primer, na 450 metara nadmorske visine, primila oko 1038 mm padavina. Kanalisanje pomenutih vazdušnih masa ima značajan uticaj na ovako visoke vrednosti. Primetan je uticaj izloženosti terena na visinu padavina. Brdsko-planinski tereni se mogu naći u jugozapadnim, južnim i jugoistočnim predelima Kolubarskog basena, sa dominantnim nagibom od juga do severa. Duboko usecanje doline Kolubare i njenih pritoka ka jugu omogućava vazdušnim masama sa severa da prodru do južnih granica sliva, povećavajući oblačnost i padavine u ovom pravcu. Voda se na ovaj način generiše u ovim regionima sliva, što uzrokuje razvoj plavnih talasa.

Prema istraživanjima, poznavanje distribucije pojedinačnih pljuskova, posebno onih sa visinom preko 25 mm, znatno je relevantnije od poznavanja celokupne godišnje količine padavina. Do sada je proučavano nekoliko pojava, a posebno su indikativni jun 1996. i jul 1999. godine, cela 2010. godina i maj 2014. godine. Prilikom malih količina prosečnih godišnjih padavina na nekom području, kad se ta količina izluči u obliku nekoliko velikih kiša, može doći do intenzivne erozije i poplava, a ova pojava je detaljno analizirana kako bi se predstavio nivo opasnosti od ekstremnih klimatskih i hidroloških događaja (Dragićević *et al*., 2016).

Prvi dan sa padavinama u vidu snega javlja se oko 20. novembra (standardna devijacija i koeficijent varijacije: ±17,3 dana i 5,4%), a poslednji 31. marta (standardna devijacija i koeficijent varijacije: ±19,2 dana i 21,3%). Najmanje snežnih dana tokom godine imaju severozapadni, severni i severoistočni delovi proučavanog terena (donji tok Kolubare i Tamnave), dok najviše snežnih dana tokom godine imaju planinski predeli – južni delovi istraživanog područja (Bobija, Medvednik, Jablanik, Povlen).

Podaci sa osam stanica korišćeni su za ispitivanje kretanja količina padavina u slivu Kolubare, kao i faktora proizvodnje velikih voda i mogućih promena i pomeranja hidrografske mreže od 1961. do 2010. godine (Ruml, *et al*., 2016). Ovo su podaci Republičkog hidrometeorološkog zavoda Srbije i odnose se na mesečne i godišnje količine padavina. Najviše padavina u basenu Kolubare sa 107,7 mm zabeleženo je u junu, dok je

minimum na većini lokaliteta zabeležen u oktobru sa 52,2 mm. Nizak sadržaj vodene pare u vazduhu i niske temperature vazduha rezultiraju malim količinama padavina tokom zime.

U posmatranom periodu najveća godišnja količina padavina iznosila je 1836,8 mm, što je zabeleženo na stanici Štavice 2010. godine. 2009. i 2010. godina su bile vlažne – znatna količina padavina je identifikovana na praktično svim stanicama u basenu Kolubare. Stanica Partizani je 1973. godine zabeležila najmanju visinu padavina od 281,2 mm (Đukanović, 2000).

2.1.2.2. Režim temperature vazduha

Kolubarski sliv prima najveću količinu toplote sa južne strane, jer se na njoj javlja najjače zagrevanje površine. Tokom prolećnih i jesenjih meseci sunčevi zraci obasjavaju ovaj prostor pod upadnim uglom od 90^0, a zimi merenja pokazuju da kamenite površine južne ekspozicije popodne mogu dostići temperaturu od 50^0, dok su severne padine oko 0^0. Severne padine sa velikim uglom nagiba i približno istom nadmorskom visinom mogu leti, u vreme najvišeg položaja Sunca, da imaju temperaturu koja je za više od 20^0 niža od južnih padina (Šibalić, 1986). Zapadne ekspozicije su toplije od istočnih, prema istraživanjima, a na razlike utiču dnevna vremena osunčavanja. Ujutro, istočne ekspozicije dobijaju direktnu sunčevu svetlost, a većina toplotne energije se troši na isparavanje vlage sa topografske površine. Sunce na zapadnim ekspozicijama sija tek u popodnevnim časovima, kada je zbog povećanja temperature vazduha ispario veliki deo zemljišne vlage. Toplotna energija se odmah troši na zagrevanje topografske površine, a samim tim i vazduha prilikom njihovog izlaganja sunčevim zracima. Letnji meseci na sličnim visinama mogu biti za $5\text{-}6^0$ topliji na sunčanoj strani nego na zasenčenoj. Veliki nagibi severne ekspozicije daju najnepovoljnije okolnosti za dobijanje solarne toplotne energije. Sunčevi zraci do njih dopiru samo tokom toplih meseci u godini, i to samo kratko dva puta dnevno, neposredno posle izlaska i neposredno pre zalaska sunca. Severne ekspozicije imaju veću vlažnost nego južne, što utiče na dobro pošumljavanje i debljinu zemljišnog pokrivača, a samim tim i na gustinu rečne mreže. Jačina denudacije je, na osnovu ovih karakteristika, na severnim padinama niža nego na južnim (Radovanović, 2001).

2.1.2.2.1. Vremenski parametri za opštinu Obrenovac u periodu istraživanja

Prilikom uzorkovanja zemljišta na teritoriji opštine Obrenovac zabeleženi su osnovni vremenski parametri u datom periodu. Prosečna minimalna temperatura vazduha u mesecima prilikom terenskog istraživanja na teritoriji opštine Obrenovac iznosila je 15.15°C, dok je maksimalna prosečna temperatura vazduha na pomenutoj opštini iznosila je 27.4°C. Prosečna relativna vlažnost vazduha za pomenutu opštinu u periodu terenskog istraživanja iznosila je 58%. Prosečne kišne padavine na teritoriji opštine Obrenovac u periodu terenskog istraživanja iznosile su 26 mm, dok je broj prosečnih kišnih dana iznosio 8.55. Prosečna dnevna svetlost u periodu terenskog istraživanja iznosila je 13.25 h, dok je sunčanih sati prosečno bilo 10.55. Prosečan UV indeks u periodu terenskog ispitivanja iznosio je 5.5.

2.1.2.2.2. Vremenski parametri za opštinu Barajevo u periodu istraživanja

Prilikom uzorkovanja zemljišta na teritoriji opštine Barajevo zabeleženi su osnovni vremenski elementi u datom periodu. Prosečna minimalna temperatura vazduha u mesecima prilikom terenskog istraživanja na teritoriji opštine Barajevo iznosila je 15.3°C, dok je maksimalna prosečna temperatura vazduha iznosila 27.45°C. Prosečna relativna vlažnost vazduha za pomenutu opštinu u periodu terenskog istraživanja iznosila je 57.5%. Prosečne kišne padavine na teritoriji opštine Barajevo u periodu terenskog istraživanja iznosile su 26 mm, dok je broj prosečnih kišnih dana iznosio 8.6. Prosečna dnevna svetlost u periodu terenskog istraživanja iznosila je 13.25 h, dok je sunčanih sati prosečno bilo 10.45. Prosečan UV indeks u periodu terenskog ispitivanja iznosio je 5.5.

2.1.2.2.3. Vremenski parametri za opštinu Lazarevac u periodu istraživanja

Prilikom uzorkovanja zemljišta na teritoriji opštine Lazarevac zabeleženi su osnovni vremenski elementi u datom periodu. Prosečna minimalna temperatura vazduha u mesecima prilikom terenskog istraživanja na teritoriji opštine Lazarevac iznosila je 13.2°C, dok je maksimalna prosečna temperatura vazduha na pomenutoj opštini iznosila je 25.8°C. Prosečna relativna vlažnost vazduha za pomenutu opštinu u periodu terenskog istraživanja iznosila je 64%. Prosečne kišne padavine na teritoriji opštine Lazarevac u periodu terenskog istraživanja iznosile su 36 mm, dok je broj prosečnih kišnih dana iznosio 11.3. Prosečna dnevna svetlost u periodu terenskog istraživanja iznosila je 13.25 h, dok je sunčanih sati bilo prosečno 10.4. Prosečan UV indeks u periodu terenskog ispitivanja iznosio je 5.

2.1.2.2.4. Vremenski parametri za opštinu Ub u periodu istraživanja

Prilikom uzorkovanja zemljišta na teritoriji opštine Ub zabeleženi su osnovni vremenski elementi u datom periodu. Prosečna minimalna temperatura vazduha u mesecima terenskog istraživanja na teritoriji opštine Ub iznosila je 13.2°C, dok je maksimalna prosečna temperatura vazduha na pomenutoj opštini iznosila 25.8°C. Prosečna relativna vlažnost vazduha za pomenutu opštinu u periodu terenskog istraživanja iznosila je 64%. Prosečne kišne padavine na teritoriji opštine Ub u periodu terenskog istraživanja iznosile su 36 mm, dok je broj prosečnih kišnih dana iznosio 11.3. Prosečna dnevna svetlost u periodu terenskog istraživanja iznosila je 13.25 h, dok je sunčanih sati prosečno bilo 10.4. Prosečan UV indeks u periodu terenskog ispitivanja iznosio je 5.

2.1.2.2.5. Vremenski parametri za opštinu Lajkovac u periodu istraživanja

Prilikom uzorkovanja zemljišta na teritoriji opštine Lajkovac zabeleženi su osnovni vremenski elementi u datom vremenskom periodu. Prosečna minimalna temperatura vazduha u mesecima prilikom terenskog istraživanja na teritoriji opštine Lajkovac iznosila je 13.2°C, dok je maksimalna prosečna temperatura vazduha na pomenutoj opštini iznosila 25.8 °C. Prosečna relativna vlažnost za pomenutu opštinu u periodu terenskog istraživanja iznosila je 64%. Prosečne kišne padavine na teritoriji opštine Lajkovac u periodu terenskog istraživanja

iznosile su 36 mm, dok je broj prosečnih kišnih dana iznosio 11.3. Prosečna dnevna svetlost u periodu terenskog istraživanja iznosila je 13.25 h, dok je sunčanih sati prosečno bilo 10.4 h. Prosečan UV indeks u periodu terenskog ispitivanja iznosio je 5.

2.1.2.2.6. Vremenski parametri za opštinu Ljig u periodu istraživanja

Prilikom uzorkovanja zemljišta na teritoriji opštine Ljig zabeleženi su osnovni vremenski elementi u datom periodu. Prosečna minimalna temperatura vazduha u mesecima prilikom terenskog istraživanja na teritoriji opštine Ljig iznosila je 13.2°C, dok je maksimalna prosečna temperatura vazduha na pomenutoj opštini iznosila 25.8°C. Prosečna relativna vlažnost vazduha za pomenutu opštinu u periodu terenskog istraživanja iznosila je 64%. Prosečne kišne padavine na teritoriji opštine Ljig u periodu terenskog istraživanja iznosile su 36 mm, dok je broj prosečnih kišnih dana iznosio 11.3. Prosečna dnevna svetlost u periodu terenskog istraživanja iznosila je 13.25 h, dok je sunčanih sati prosečno bilo 10.4. Prosečan UV indeks u periodu terenskog ispitivanja iznosio je 5.

2.1.2.2.7. Vremenski parametri za opštinu Mionica u periodu istraživanja

Prilikom uzorkovanja zemljišta na teritoriji opštine Mionica zabeleženi su osnovni vremenski elementi u datom periodu. Prosečna minimalna temperatura vazduha u mesecima prilikom terenskog istraživanja na teritoriji opštine Mionica iznosila je 13.2°C, dok je maksimalna prosečna temperatura vazduha na pomenutoj opštini iznosila 25.8°C. Prosečna relativna vlažnost vazduha za pomenutu opštinu u periodu terenskog istraživanja iznosila je 64%. Prosečne kišne padavine na teritoriji opštine Mionica u periodu terenskog istraživanja iznosile su 36 mm, dok je broj prosečnih kišnih dana iznosio 11.3. Prosečna dnevna svetlost u periodu terenskog istraživanja iznosila je 13.25 h, dok je sunčanih sati prosečno bilo 10.4. Prosečan UV indeks u periodu terenskog ispitivanja iznosio je 5.

2.1.2.2.8. Vremenski parametri za grad Valjevo u periodu istraživanja

Prilikom uzorkovanja zemljišta na teritoriji grada Valjeva zabeleženi su osnovni vremenski elementi u datom periodu. Prosečna minimalna temperatura vazduha u mesecima prilikom terenskog istraživanja na teritoriji grada Valjeva iznosila je 13.2°C, dok je maksimalna

prosečna temperatura vazduha u pomenutom gradu iznosila 25.8°C. Prosečna relativna vlažnost vazduha za pomenuti grad u periodu terenskog istraživanja iznosila je 64%. Prosečne kišne padavine na teritoriji grada Valjeva u periodu terenskog istraživanja iznosile su 36 mm, dok je broj prosečnih kišnih dana iznosio 11.3. Prosečna dnevna svetlost u periodu terenskog istraživanja iznosila je 13.25 h, dok je sunčanih sati prosečno bilo 10.4. Prosečan UV indeks u periodu terenskog ispitivanja iznosio je 5.

2.1.3. Geološke i geomorfološke karakteristike područja istraživanja

U paleogeografskom pogledu, basen Kolubare je prvenstveno većim predelom deo Dinarskog paleogeografskog područja, a manjim istočnim delom pripada Šumadijskom paleogeografskom području. Da bi se u potpunosti sagledala paleogeografska razvijanja Kolubarskog basena, treba početi sa proučavanjem paleotektonskog razvijanja većeg područja od granica sliva. S obzirom na to da se proučavano područje nalazi na preseku više tektonskih i paleogeografskih celina, određene tektonske faze su se na jedan način manifestovale u jednom paleogeografskom području, a na sasvim drugčiji način u drugom. Drugim rečima, razvoj basena i akumulacija basenskih formacija su se odvijali na jednoj lokaciji, dok su se podizanja i nabiranja odvijali na drugoj. Panonidi su sakupljeni i konsolidovani tokom bajkalskog tektogenetskog ciklusa, a tada su postojali kao panonska masa i postojala je predispozicija da se istovremeno krene u stvaranje Šumadijskog i Dinarskog paleogeografskog područja (Grupa autora, 1989). Složeno Dinarsko paleogeografsko područje nastalo je tokom kaledonsko-hercinske tektogeneze i razvilo se i izdiferenciralo u celine nižeg ranga, kao što su basen Jadra i Ibra. Stariji paleozoik se razvija u Šumadijskom paleogeografskom području, a zatim se pojačava trend nabiranja u pravcu severoistok-jugozapad. Šumadijsko-dinarska dislokacija nastala je početkom paleozoika, odvajajući Šumadijsko od Dinarskog paleogeografskog područja. Za vreme silurskog i devonskog perioda stvaraju se najstariji delovi koji su otkriveni u Jadranskom regionu. Važno je napomenuti da devon ima veoma razvijenu, bogatu i raznovrsnu faunu, što omogućava detaljniju paleogeografsku rekonstrukciju ovog područja, dok to nije slučaj u Šumadijskom i Moravskom paleogeografskom području, gde je fauna vrlo malo razvijena. Vlašić i Valjevo, dve depozicione postavke na Jadarskom području, nastale su tokom devona. Depoziciono okruženje Vlašića bilo je predstavljeno u celom devonu plitkim priobalnim pojasom koji se nalazi na južnoj ivici Panonskog kopna i karakteriše ga terigena sedimentacija. Terigenski

materijal je dolazio prvenstveno sa panonskog kopna, ali su se u taložnom okruženju isticali i neki podmorski lukovi. Morsko dno se spušta istovremeno sa sedimentacijom, što je formiralo terigene naslage velike debljine. Valjevsko taložno područje je tokom devona zauzimalo centralni i južni deo Jadarskog basena i u donjem devonu predstavljalo je plitko more, koje je udaljeno od kopna sa očiglednom mirnom sedimentacijom. Ovo područje u srednjem devonu karakteriše formiranje podvodnih grebena i udubljenja koji su se prostirali od Drine na zapadu, preko Jadarske doline i severnih padina Sokolskih planina, Povlena, Maljena, pa sve do Ljiško-milanovačke dislokacije (Grupa autora, 1989). Valjevska taložna sredina je pretrpela dodatnu diferencijaciju morskog dna i stvaranje karbonatno-terigenih stenskih asocijacija tokom gornjeg devona. Smatra se da je terigeni materijal ispran sa podvodnih grebena, dok su karbonatne stene taložene u mirnijim uslovima. Pretpostavlja se da je paleogeografsko područje Šumadije u devonu bilo plitkovodno toplomorsko okruženje gde su se karbonatne stene taložile i metamorfozovale u venčačke mermere. Na samoj granici između gornjeg devona i donjeg karbona dolazi do paleogeografskih promena i diferencijacije valjevske depozicione sredine, čime su formirane tri depozicione sredine u donjem karbonu u Jadarskom basenu: družetićka, valjevska i vlašićka. Depoziciona sredina Družetić koja se nalazi u severoistočnom delu Jadarskog basena, obuhvata šire područje doline Uba, kao i okolinu naselja Družetić. Karakterišu je tvorevine predstavljene karbonatnim stenama. Krucijalno je napomenuti da se u okviru depozicionih sredina Družetić i Valjevo formiraju sekundarne depozicione sredine, što znatno otežava određivanje paleogeografskih uslova u donjem karbonu. U sredini taloženja Vlašića vladaju isti uslovi nastanka kao i u devonu. Između donjeg i srednjeg karbona, tektonska kretanja u morskom basenu Jadra, izazivaju značajne paleogeografske promene. Valjevska i Vlašićka depoziciona staništa opstaju u srednjem karbonu, dok se Družetićka sredina spaja sa valjevskom sredinom. U poređenju sa donjim karbonom, ovi sistemi se nisu mnogo promenili. Na granici između srednjeg i gornjeg karbona dolazi do velikih geodinamičkih promena, koje za posledicu imaju značajne izmene u dinarskom paleogeografskom regionu. Jadarski basen se izdiže i potpuno prelazi u kopno, pri čemu se morski baseni smanjuju. Jadarsko kopno je formirano na ovaj način i spaja se sa ogromnim Panonskim kopnom, a more ostaje u južnom delu Jadarskog basena. Pretpostavlja se da je u Šumadijskom basenu, tokom donjeg karbona, i dalje postojalo more, ali se u srednjem karbonu uzdigao Šumadijski basen, te je na njegovom mestu formirano kopno Šumadije. Ovo kopno je bilo prisutno i tokom perioda gornjeg karbona, perma i trijasa i označava paleogeografsku granicu između moravske i dinarske paleogeografske zone (Grupa autora, 1989). Klimatske promene su jedan od faktora

za paleogeografske promene na kopnu i u moru u vreme perma. Drugim rečima, topla i vlažna karbonska klima ustupa mesto toploj i suvoj klimi perma. Tokom većeg dela perma, nastavlja se proces izdizanja, koji je zahvatio Jadarski basen u gornjem karbonu, što za rezultat ima formiranje ogromnog Jadarskog kopna, gde se sada formiraju slatkovodne površine, čija se geneza objašnjava povremenim izuzetno obilnim padavinama. Ekstremno obilne kiše su dovele do erozije zemljišta bez vegetacijskog pokrivača i taloženja terigenog materijala u pomorskim područjima. U gornjem permu nastaje velika transgresija koja se širi na sever i plavi čitavo Jadarsko kopno, ponovo uspostavljajući režim karbonatnog taloženja na celom području. Na prostoru koji obuhvata basen Kolubare, tokom početka mezozoika, kao i tokom paleozoika, postoje dve paleogeografske oblasti. Jadarski i Ibarski baseni su jasno podeljeni u Dinarskom paleogeografskom području tokom donjeg trijasa. Jadarski basen je bio plitak i primorske prirode, sa istim uslovima sedimentacije u celini. Sliv Ibra se tokom donjeg trijasa nalazio između Jadarskog basena, na severu i istoku, i Drinskog basena, na zapadu i jugozapadu. More je tokom srednjeg trijasa pokrivalo ceo dinarski paleogeografski prostor. Valjevska depoziciona sredina u Jadarskom trijaskom basenu je jasno diferencirana, sa dolomitima i dolomitskim krečnjacima koji se formiraju u anizijskom katu, a ladinski krečnjaci direktno pokrivaju dolomite. Vulkansko-sedimentna serija vezana za anizijski i ladinski period je najistaknutija karakteristika srednjetrijaskog basena Ibra. Jadarski basen ima približno iste obrise kao srednji trijas tokom gornjeg trijasa, iako vulkanska aktivnost prestaje. Valjevsku depozicionu sredinu karakteriše taloženje grebenskih i subsprudskih krečnjaka, a u kopno prelazi krajem trijasa. Ibarski basen gornjeg trijasa, za razliku od Jadarskog basena, ima dubokovodni karakter (250-500 m) i umerene pojave metamorfizma. Tokom trijasa, kopno Šumadije, koje obuhvata čitavu oblast, još uvek se nalazi u Šumadijskom paleogeografskom području. Na proučavanom području, krajem trijasa i početkom jure, nastaju značajne paleogeografske promene kao rezultat starokimrijske tektogeneze, pri čemu je Jadarski basen prešao u kopno, a basen Ibra, gde se odvijao sporiji proces izdizanja, zadržava morski karakter sa izraženom sedimentacijom karbonata. Jadarsko kopno obuhvata ceo prostor bivšeg Jadarskog basena u periodu donje jure i spaja se sa Panonskim kopnom na severu. Procesi su nastavljeni tokom srednje jure, što je rezultiralo formiranjem brdskog i brdsko-planinskog terena od ravničarskog predela. Ovo dovodi do ekstenzivne erozije i denudacije postojećeg karbonatnog trijaskog kopna, kao i otkrivanja paleozojske baze, koja služi kao izvor formiranja klastičnog materijala u okolnim morskim basenima. U ovom periodu takođe dolazi do poniranja i kontinuiranog povećanja dubine u basenu Ibra. Isti paleogeografski uslovi postojali su u gornjoj juri, tokom oksforda i

kimeridža, kao i u srednjoj juri. Basen Ibra, koji je u to vreme bio u sastavu Tetisa, zahvatao je južne delove proučavanog područja, prostirajući se od Zvornika na zapadu, pa ka istoku, preko Sokolskih planina, Medvednika, Maljena, Suvobora, sve do kopna oko Drine. Proces sedimentacije srednje jure opstao je tokom oksforda i kimeridža, a za vreme titona je stvorena vulkansko-sedimentna serija. Od kopnenih prostora na ovom području tokom oksforda i himera, Jadarsko kopno još uvek opstaje i obuhvata područje severno od linije Ub–Jadar. Za to vreme Jadarsko kopno se navuklo preko stena formiranih u Ibarskom basenu. Za vreme titona, u basenu Ibra, formirane su tri depozicione sredine Maljena, Povlena i Poćute. Depoziciono okruženje Maljena, koje je obuhvatalo njegove severne i južne padine i koje se odlikovalo relativno dubokim morem, zahvatalo je veći deo basena Ibra. Povlensko taložno stanište je bilo plitko morsko okruženje, idealno za razvoj grebenskih organizama, dok je Poćutsko taložno okruženje bilo duboko morsko batijalsko okruženje. Jadarsko kopno zadržava sve karakteristike prethodnog perioda na ovom području (Grupa autora, 1989).

Šumadijski morski basen se rekonstruiše u Šumadijskom paleogeografskom području, na prelazu između trijasa i jure, zbog kretanja starokimrijske tektogeneze. Tri velike meridijanske dislokacije ponovo su se pojavile na početku dogera: Moravsko-šumadijska (između Moravida i Dinarida), Šumadijska (centralni delovi Šumadida) i Kopaonička (između Dinarida i Šumadida). U tom periodu dolazi do ekstezivne vulkanske aktivnosti. Kao rezultat toga, raspad Šumadijske kopnene mase počinje na početku dogera i nastavlja se za vreme titona. Basen Ibra i Jadarsko kopno još uvek postoje na početku donje krede. Na Dinarsko paleogeografsko područje uticale su veoma intenzivne geodinamičke sile koje su se izrazile u masivnim paleogeografskim promenama za vreme valendinskog i otrivskog veka. Pod delovanjem Jadarskog bloka, koji se prevlači preko basena Ibra, tvorevine se sakupljaju i zbijaju, što dovodi do izdizanja i povlačenja mora iz basena Ibra. Istovremeno, Ibarski blok se povlači preko bloka Drine, tako da se Jadarsko kopno nalazi u istraženom području, a Ibarsko kopno – u prostoru bivšeg basena Ibra. Interdinarikum se odnosi na ova dva kopna koja postoje tokom barema i apta. Nove transgresije sa paleogeografskog područja Šumadije javljaju se tokom albe i na prelazu između albe i cenomana, plaveći neke niže istočne delove Interdinarikuma i rezultirajući formiranjem novih morskih basena poput Ljiškog basena. Ljiški basen se prostirao od Ljiško-milanovačke rupture na istoku i poplavio je severne padine Maljena i Suvobora i prostirao se na zapadu do Osečine (Anđelković *et al*., 1989).

Tokom donje krede na paleogeografskom području Šumadije, formiran je Rudnički basen, uključujući i istočne delove ispitivanog područja. Karakteriše ga taloženje fliša i razvija se tokom barema, apta i albe. Morski baseni pokrivaju najveći prostor u geološkoj istoriji tokom gornje krede. Kao što je navedeno, između donje i gornje krede, tokom austrijske faze alpske orogeneze, kao rezultat transgresije plave se istočne oblasti Interdinarikuma. Kopno nastavlja da se spušta u turonu i senonu, što za rezultat ima sveže oblasti sa prodorom mora i formiranje Valjevskog basena. Fliš se tokom kampana generiše u basenu Ljiga, koji je posebno razvijen u Ljigu, Struganiku i Rajcu. Struganički basen se pojavio u kampan-mastrihtu, obuhvatajući oblasti oko Struganika i Brežđa, i odatle nastavljajući na sever i severoistok. Tokom gornje krede more se u celini povuklo iz Šumadije. Tokom kampana formira se depoziciona sredina Barajeva. More se iz većeg dela šire okoline Beograda povuklo početkom paleogena, odnosno tokom laramijske faze alpske orogeneze (kreda-paleogen), a prostrani morski baseni su zamenjeni kopnom. Promene koje su se desile na proučavanom području tokom paleogena su paleogeografski najznačajnije, jer delovanje laramijske, pirinejske i savske faze alpske orogeneze reaktivira paleozojsko-mezozojske dislokacije duž kojih se dešavaju diferencijalna pomeranja blokova. Ovo dejstvo ima za posledicu spuštanje blokova i formiranje slatkovodnih međuplaninskih uvala s jedne strane, i formiranje kopnenih sredina. Savska i Valjevska međuplaninska depresija nastale su u oligocenu, a od kopnenih površina – Savsko i Maljensko kopno. Fliš i danas zauzima znatan prostor u šumadijskoj oblasti, a završni slojevi su nastali tokom najstarijeg paleogena. Šumadijska jezerska depresija i kopno Rudnik, koji pokrivaju zapadni deo ovog područja, razvijeni su u oligocenu. Oligocenske depresije u Kolubarskom basenu se izdižu početkom neogena (oligomiocena) tokom savske faze alpske orogeneze i prelaze u kopnenu sredinu. Štajerska faza (srednji miocen) oživljava ciklus sedimentacije, a za to vreme se javljaju Valjevska i Savska depresija. Valjevsko-mioničko jezero se prostire pravcem severozapad-jugoistok kroz Valjevsku depresiju, a Tamnavsko jezero se prostire kroz Savsku depresiju. Među kopnenim sredinama proučavanim u ovom radu izdvajaju se kopna Savsko, Jadarsko i Maljensko. Jadarsko kopno se prostire između Savske i Valjevske depresije, a Savsko kopno se sa severa graniči sa Panonidima i Savskom depresijom. Šumadijski kopneni prostor postoji između moravskog i dinarskog kopna tokom čitavog oligomiocena, donjeg i srednjeg miocena. Šumadijska depresija sadrži Aranđelovačko jezero, a Milanovačko-belanovička depresija sadrži Belanovičko jezero na zapadnim i jugozapadnim padinama Rudnika. Tektonsko spuštanje duž starih i novih raseda stvara uslove za transgresiju Paratetisa na ovo područje tokom badenskog kata (tortona), međutim ona je u početku pokrivala niže terene

gde su postojala plitka jezera (Anđelković *et al*., 1989). Kao rezultat ovih procesa, na početku badenskog kata, pojavili su se morski pejzaži, koji nisu bili prisutni tokom paleogena i starog neogena. U Kolubarskom basenu otkriveno je prisustvo badenskog kata, koje je u to vreme predstavljalo plitko more normalnog saliniteta u zalivu Panonskog basena. Dakle, područje istraživanja za vreme badena sadržavalo je kopnene i morske prostore. Kopneni regioni obuhvatali su region između kolubarskog zaliva i Valjevsko-mioničkog jezera, kao i južniji deo jezera. Tokom badena održava se Valjevsko-mioničko jezero na ovom prostoru, koje je u prebadenskom periodu imalo karakteristike međuplaninske depresije. Za vreme sarmata kontinent je obuhvatao sadašnje planinske vence Venčac, Bukulju, Slovačke visoravni i Vlašić, kao i delove Valjevsko-mioničkog jezera. Tokom ove epohe, na glavnom delu Valjevsko-mioničkog jezera, razvijeno je nisko, ravničarsko zemljište, a na zemljištu „Visoke Šumadije" nema značajnijih visinskih promena. U pogledu morskih voda, spuštanje pojedinih blokova u sarmatu dovelo je do plavljenja novih površina. Pored Kolubarsko-tamnavskog zaliva, nastao je i gornji kolubarski zaliv koji je plavio manje (centralne) delove nekadašnjeg Valjevsko-mioničkog jezera sa obe strane reke Kolubare, južno od Slovca. U ovom mlado formiranom zalivu voda je imala slabu pokretljivost i nizak nivo saliniteta, a u najjužnijim predelima bila je skoro slatkovodna. Kolubarsko-tamnavski zaliv sarmatske etape prostire se od Mačve i Pocerine, na zapad,u do mezozojsko-serpentinske grede i planina Vlašić, Slovački visovi i Bukulje, na istoku. U basenima levih pritoka Tamnave prostirali su se plitki delovi mora sa ekstenzivnim izdavanjem terigenog materijala, što ukazuje na prisustvo razvijene hidrografske mreže. U istočnom delu Kolubarskog basena i dalje postoji kanal Venčansko-aranđelovački (za vreme badena je povezivao Kolubarsko-tamnavski i Velikomoravski zaliv Paratetis), ali je sada nešto uži zbog kote Bukulje i Venčaca. Klimatski uslovi sarmatskog stadijuma ispitivanog područja odgovaraju tropsko-subtropskom pojasu, sa veoma razvijenom florom. Početkom panona došlo je do kolebanja nivoa mora usled epirogenih kretanja i aridizacija klime. Kao rezultat atičke faze alpske orogeneze, Karpati se uzdižu i prekida se veza između panonskog i dakijskog dela Paratetisa. Osim sarmatskog kopna, praktično svi tereni Valjevsko-mioničkog jezera spadaju u panonske kopnene regione, uključujući i središnji deo, koji je u sarmatskom periodu pripadao gornjokolubarskom zalivu. Tokom panona je, međutim, veći deo proučavanog područja bio pokriven plitkim morskim vodama. Kolubarski basen se prostirao na dva zaliva: Gornjokolubarski i Kolubarsko-tamnavski, prvo u gornjem, a potom u donjem toku današnje Kolubare. U ovom periodu, Gornjokolubarski zaliv zahvatao je znatno manji prostor nego u sarmatskom periodu. Kolubarsko-tamnavski zaliv imao je veću površinu od današnjeg ležišta lignita. Ostrvo

Kosmaj se umanjuje na račun proširenja Venčanskog kanala. Na prelazu između panona i ponta javljaju se snažna tektonska kretanja, što dovodi do ponovnog uspostavljanja veze između panonskog i dakijskog dela Paratetisa. Za vreme ponta, na prostoru današnjeg sliva Kolubare, postojali su i morski i kopneni predeli, ali je bitno napomenuti da kopneni prostori postepeno poprimaju svoj savremeni izgled. Kolubarsko-tamnavski zaliv Panonske marine ima najveću morsku površinu. Među kopnenim područjima pontijske epohe izdvajaju se nizijske, brdsko-planinske i močvarne zone, koje su posebno raščlanjene. Ravničarski tereni obuhvatali su stari Gornjokolubarski zaliv, kao i prethodne rejone jezerskog basena. Što se tiče erozivnih procesa u brdsko-planinskim predelima ovog vremena, smatra se da je materijal Kolubarsko-tamnavskog basena dopremljen denudacijom sa oboda paleozoika, kao i prakolubarom koje se ulivala u zaliv kod Lazarevca (Anđelković *et al*., 1989). Močvare pontiskog kata su nastale odvajanjem i zaslađivanjem delova sliva sa slanom vodom. Kao posledica tog procesa dolazi do rasta bujne vegetacije i akumuliraju se ogromne količine biljnog materijala od kojeg se formira ugalj. Klimu ovog perioda karakteriše prekomerna vlažnost i visoke temperature. Što se tiče klimatskih uslova tokom kenozoika, može se reći da se, usled globalnog zahlađenja tokom miocena, a posebno pliocena, smanjuju tropska i suptropska zona, a sliv Kolubare pogađaju niže temperature tokom Ledenog doba. U geološkoj prošlosti se na prostoru okoline Beograda nekada dešavala smena kopna i mora. Prostor oko Beograda je od prethodnih 600 miliona godina bio pod vodom oko 90 miliona godina. U regionu današnje Panonske nizije, teren koji je tonuo ustupio je mesto formiranju Panonskog basena. Dolazi do proboja vode iz starog Sredozemlja (Tetisa) i stvara se Panonsko more. Bio je to deo daleko većeg mora koje se protezalo od Bečkog basena na zapadu, preko Panonske nizije i Vlaške nizije, do Crnog mora na istoku. Više puta je nivo Panonskog mora rastao i tonuo zbog geološke aktivnosti okolne topografije i znatnih varijacija u padavinama. S obzirom na karakteristike kopnene mase koja je okruživala južni rub Kolubarsko-tamnavskog zaliva, može se, na osnovu karakteristika sedimenata u zalivu koji se prostiru niz obalu, verovati da je bio brdovit i da se u zaliv ulivalo nekoliko vodotokova (Anđelković *et al*., 1989).

2.1.3.1. Geološke karakteristike područja istraživanja

Kolubarski sliv je Pridvoričkim sužavanjem podeljen na dva različita basena: basen gornje Kolubare, na jugu, i basen donje Kolubare, na severu. Gornja Kolubara je viša i pripada

valjevskom kraju, dok je donja Kolubara niža i predstavlja fosilni zaliv Paratetisa. Valjevska, Toplička i Ljiška kotlina su tri prostora koji se izdvajaju u slivu gornje Kolubare. U Valjevskoj kotlini, koja obuhvata zapadni deo gornje Kolubare i deo prema njenom centru, ulivaju se Obnica, Jablanica, Gradac i Ribnica. Dolinski sistem Ljiga, koji obuhvata Dragobilj, Boljkovačku reku, Paležičku reku i Onjeg, nalazi se u istočnom delu gornje Kolubare. Topličkи kotlinski sistem se nalazi u srcu sliva gornje Kolubare. Tamnava i njena pritoka Ub teku levo, dok Peštan i Turija teku desno, ka slivu donje Kolubare.

Sliv donje Kolubare, površine oko 1800 km^2, nalazi se unutar Kolubarskog basena, površine oko 3650 km^2. Sliv donje Kolubare obuhvata kotlinu donje Kolubare, kao i slivove pritoka Kolubare: Peštan, Turija (sa Beljanicom), Tamnava (sa Ubom) i Kladnica. Predeo basena donje Kolubare je poligenetsko-polimorfan. Tektonski procesi su uticali na nastanak i morfološki razvoj hidrografske mreže u ovom regionu, dok su rečna erozija i antropogene aktivnosti uticali na sadašnje stanje hidrografske mreže. Usled direktnih ljudskih uticaja povezanih sa brojnim hidrotehničkim zahvatima, izgled i svojstva hidrografske mreže u basenu donje Kolubare drastično su se menjali tokom dvadesetog veka.

Uticaj morfometrijskih osobina reljefa na intenzitet prirodnih (posebno geomorfoloških) procesa, privrednih i vanprivrednih aktivnosti, kao i uslove i kvalitet života, definisan je osnovnim karakteristikama reljefa izraženim nadmorskim visinama, ekspozicijama, nagibima, itd.

Primarni aspekti terena Kolubarskog basena koji mogu uticati na jačinu erozivnih procesa su hipsometrijske karakteristike, vertikalna dezintegracija, stepeni nagiba i ekspozicija. Podaci dobijeni analizama imaju širok spektar primena i od suštinskog su značaja za procenu jačine erozivnih procesa, efikasno planiranje korišćenja zemljišta, poljoprivrednu geografiju, zaštitu i unapređenje životne sredine.

Granice Kolubarskog basena se poklapaju sa granicama terena Jadarskog bloka, a nekada je prostor basena bio geološki aktivan. Pesak, peskovite gline, peskoviti krečnjaci i konglomerati zauzimaju više od polovine površine u slivu reke Kolubare, dok su laporci, laporoviti krečnjaci, liskunasti peščari, glinoviti peščari i gline manje zastupljeni. Ove vrste geoloških naslaga nalaze se u kotlinskom području Kolubarskog basena. Zapadnu i južnu ivicu sliva, za razliku od niželežećih delova, karakteriše masivni krečnjak sa dijabaznim

kamenim formacijama i serpentinitom. Geološke formacije su više fragmentovane prema istoku, sa velikim brojem laporaca, glinovitih škriljastih peščara, dijabaznih formacija, harcburgita, lerzolita i serpentinita.

Glavni izvori metalnih minerala su formacije dijabaznog roga, sa osnovnim i ultrabazičnim stenama koje karakterišu ovo područje jure.

Planine na ivici sliva, poput Povlena, Maljena i Rudnika, oblikovane su raznovrsnošću i mešanjem geološke podloge (Geolis, 2010). Rude olova, cinka i bakra talože susedne ultramafične stene, što je rezultiralo značajnim koncentracijama nikla, hroma i kobalta (Antić-Mladenović *et al*., 2017), kao i naslaga lignita u slivnom području (Filipović, 2005). Efekat takvog geološkog supstrata na zemljište je značajan usled vodne erozije, pri čemu su umereni i veoma visoki erozioni procesi zahvatili oko 30% sliva reke Kolubare (Belanović-Simić *et al*., 2013).

2.1.3.2. Reljef terena i savremeni morfološki procesi

Šire područje Valjeva i okoline spada u Kolubarski sliv, i odlikuje se prisustvom valjevskih planina duž južnog dela ispitanog područja. Severno od Valjeva se pruža prostrana zaravnjenost (Valjevska podgorina), duž koje se nalaze urezane klisure, doline i kotline. Planinski venac planina Suvobor i Maljen pružaju se smerom od zapada ka istoku, gde se lučno savija ka jugu i prislanja uz same ogranke planine Rudnik. Morfološki najizraženiji predeo pomenutog terena čine istovremeno i vododelnicu među slivovima reke Kolubare, na severu, i reke Zapadne Morave, na jugu. Sama temena planine Maljen i planine Suvobor čine prostranu zaravan koja se postepeno penje sa 700 m kod Suvobora, pa sve do 1000 m kod Maljena, i sa koje se uzdižu mnogobrojni fluviodenudacioni visovi, razmešteni među izvorištima i samih izvorišnih presedlina. Ovog porekla su najupečatljivija uzvišenja kao što su: Rajac (848 mnv), Suvobor (864 mnv), Veliki Maljen (970 mnv), Veliko brdo (1061 mnv), Crni vrh (1098 mnv) i Kraljev sto (1103 mnv) (Vasović, 2002). Maljen i Suvobor su limitirani nizom strmijih strana i otseka koji razdvajaju venac spomenutih planina od severnog podgorja. Severno od Suvobora i Maljena pruža se brežuljkast i brdovit teren sa mnogobrojnim uzvišenjima, rtovima i razvijenom mrežom kotlina, klisura i dolina. Prema jugu, padine Suvobora i Maljena karakteriše postepeno opadanje apsolutnih visina i

kontinuirana razuđenost reljefa. Prema istoku, jednim delom su uključeni predeli severozapadnih i zapadnih ogranaka same planine Rudnik, duž kojih se uzdižu vrhovi Kasamovac (684 mnv), Straževica (622 mnv), Ostrovica (758 mnv) i dr. Reljef je duž ovog prostora intenzivno razuđen, kao i na Maljenu. Duž severoistočnog dela pruža se Vaganski povijarac, koji se vezuje za planinu Bukulju – u pravcu zapada. Severozapadni deo ispitivanog terena obuhvata Gornjokolubarski basen, tj prostrani ravničarski kompleks duž gornjeg toka same reke Kolubare (Cvijić, 1924).

Reka Ribnica, kao alogeni tok Valjevskog krasa, nema izraženu kanjonsku dolinu, već je formirana od klisurastih i kanjonskih poteza, a tu i tamo i od erozivnih proširenja. Dužina same klisure-kanjona je oko 10 km, od njenih sastavnica Manastirice i Paklešnice pa do sela Paštrić. Ribnica je usekla preko 200 m duboku klisurastu dolinu meandarskog karaktera. Formirana je u donjokrednim, srednjokrednim i donjotrijaskim krečnjacima. Zavisno od lokalnih geomorfoloških i geoloških uslova dolina je uža ili šira, a njene strane imaju blaži ili strmiji nagib. U klisurasto-kanjonskoj dolini osnovnu odliku kraškog reljefa čine pećine izvorskog tipa. Sama Ribnica duž svog toka ima 12 pećina, dok sa Manastiricom ima ukupno 19. Pozicionirane su na različitim visinama i raznih su veličina. Po dužini se izdvaja Velika Vrbička pećina, a po površini izdvaja se Ribnička pećina sa 1130 m² (slika 8). Osim spomenutih, postoje još Plandište, Šalitrena pećina, Pećina na rasedu, Milijina, Kozja, Hajdučka, Boškovića pećina, Govedara, Šuplja i dr. Pećine se nalaze sa obe dolinske strane, no brojnije su a i duže sa leve strane, jer se duž te strane širi pojas tipičnog krasa. Uglavnom, pećine pripadaju mlađoj geomorfološkoj fazi. Duž cele klisurasto- kanjonske doline sa pećinama formirano je specifično stanište životinjskih i biljnih vrsta koje su stvorile svoje areale (Grupa autora, 1984; Jež, Kaluđerović, 1985). U donjem toku Ribnice u dolini reke se nalazi varošica Mionica.



Slika 8. *Ribnička pećina u dolini reke Ribnice Uslikano: 11.08.2020. (lična arhiva)*

Predeo Valjeva i šire okoline pripada Kolubarskom slivu, i odlikuje se prisustvom lanaca Valjevskih planina u južnom delu ispitivanog područja, dok se severno od nje prostire zaravnjenost (Valjevska podgorina), duž koje se nalaze urezane klisure, kotline i doline. Valjevske planine se pružaju pravcem Dinarida, smer severozapad-jugoistok (nekoliko desetina kilometara), u koje spadaju Medvednik, Jablanik, Maljen i Povlen, a prvenstveno se penju sa površi od 600 metara nadmorske visine. Podgorina Valjeva, na severu, proteže se od 200 do 600 metara nadmorske visine, širine nekoliko desetina kilometara, sa raznim nadmorskim visinama i rtovima koji su ili kompaktni ili su usamljeni i udaljeni. Gornjokolubarski basen, koji ima tri kotline usečene u njegovo dno, nalazi se u navedenoj zaravnjenoj podgorini. Pomenute kotline su Valjevska, Toplička i Ljiška.

Fluvijalni, padinski i kraški geomorfološki procesi mogu se razlikovati od geomorfoloških procesa prisutnih na terenu. Imajući u vidu geomorfološke karakteristike terena i hidrografsku mrežu, lako je zaključiti da su fluvijalni geomorfološki oblici nastali delovanjem reka Kolubare, Gradca, Ribnice, Toplice, Peštana, Uba i drugih.

Budući da kompleks kraških stena pokriva veliki deo sliva, u istraživačkom području kraški geomorfološki proces je najdominantniji. Pre analize površinskih i podzemnih kraških oblika na terenu, potrebno je razumeti razvoj kraškog procesa. Konkretno, proces karstifikacije počinje dejstvom vode i ugljene kiseline (iz površinskih rečnih tokova ili atmosferskih padavina) na krečnjak, koji ga lako rastvara, uzrokujući da voda nosi kalcit predodređenim putevima (šupljine, pukotine). Povećanjem pukotina koje sprovode vodu zajedno sa kalcitom, formiraju se uslovi za stvaranje turbulentnog režima protoka podzemnih voda, što pojačava mehaničku eroziju, a što dovodi do povećanog rastvaranja i vremenom, spušta bazu karstifikacije na niže nivoe (Dukić, 1982).

Valjevski kras je podeljen na nekoliko sekundarnih celina rečnim dolinama kanjonskog tipa: Brezovački, Baćevački, Lelićki i Lepenički. Orijentisani su smerom jug-sever, odnosno u pravcu nagiba topografske površine i postepeno raspoređenih zaravni. Cvijićev Lelićki karst (mero karst) je najpoznatiji, sa svojim izrazitim nadzemnim i podzemnim oblicima (Cvijić, 1926).

2.1.4. Hidrografske i hidrološke karakteristike istraženog područja

Reka Kolubara se na teritoriji opštine Obrenovac uliva u reku Savu, kao njena poslednja velika pritoka. U blizini grada Valjeva, sama dolina reke Kolubare se iznenada širi i formira Valjevsku kotlinu. Kolubara počinje da u vidu lakta zaokreće iz smera jug-sever prema smeru zapad-istok, nakon čega njeno rečno korito meandrira i širi se. Kolubara se formira spajanjem dve reke – Obnice i Jablanice na oko 1 km uzvodno od grada Valjeva (na koti 193 mnv) i nakon devedesetak kilometara toka uliva se u reku Savu. Slivna površina Kolubare iznosi oko 3650 km^2, dok je prosečna nadmorska visina mala i iznosi svega 206 m. Sam sliv Kolubare poseduje karakteristike bujičnog rečnog toka, što za posledicu ima da se u prolećnom periodu neretko izliva iz korita. Na teritoriji Obrenovca, Kolubaru odlikuje ravničarski karakter sa učestalim meandriranjem u zoni blizu ušća u Savu. Urbane sredine duž sliva reke Kolubare su neretko ugrožene od strane bujičnih poplava.

Prosečna gustina rečne mreže u slivu reke Kolubare je mala i iznosi svega 410 m/km^2, a njena veličina zavisi od reljefa, padavina i litološkog sastava, koji nisu baš idealni za formiranje

vodotokova u pomenutom slivu. Prema nekim podacima, postoji preko 700 vodotokova koji imaju karakter aktivnih bujica (Bajić, Polomčić, 2012).

Hidrološka merenja i osmatranja širom sliva Kolubare započeta su davne 1923. godine, uvođenjem vodomerne letve na teritoriji Obrenovca. Ostale vodomerne stanice uvedene su posle 1950. godine, dok su dve najmlađe – Ćemanov most i Junkovac u funkciji od 1970. godine. U samom slivu Kolubare, vodostaj se prati širom sliva na 14 vodomernih stanica. Duž glavnog toka Kolubare, vodostaj se prati na 4 profila. Vodomerna stanica Valjevo locirana je na reci Kolubari, na oko 80 km od njenog ušća u reku Savu. Pomenuta merna stanica osnovana je 1951. godine, kada je pored instalacije vodomerne letve, instaliran i limnigraf. Vodomerna stanica Slovac pozicionirana je na samoj reci Kolubari i nalazi se na oko 55 km udaljenosti od njenog ušća u reku Savu. Osnovana je 1953. godine, dok je limnigraf instaliran 1958. godine od kada se aktivno prati i lebdeći nanos, dok se temperatura vode prati od 1959. godine. Vodomerna stanica Beli Brod, na samoj reci Kolubari, pozicioniran je na oko 39 km od ušća. Osnovana je 1950. godine, a limnigraf je instaliran 1976. godine (Mijatović, 1983).

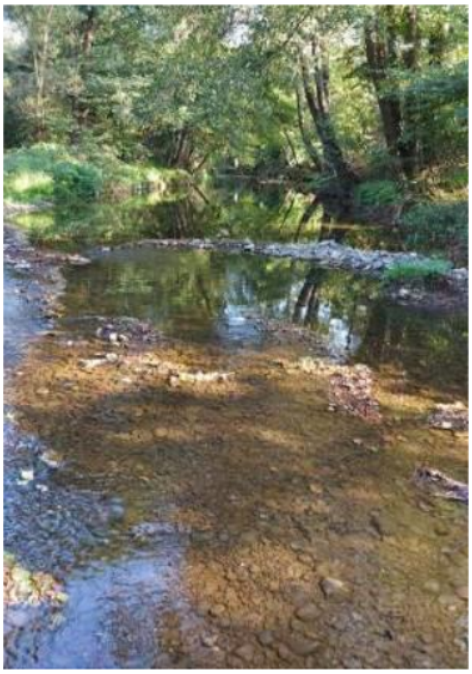
Prva značajnija i veća pritoka Kolubare je reka Gradac, koja se uliva u nju sa desne strane, u urbanom delu grada Valjeva. Gradac ima dužinu toka oko 18 km, a njegova površina sliva iznosi 165 km^2. Gradac od formiranja, spajanjem Bukovske reke i reke Zabave, pa sve do samog ušća u Kolubaru, ima dužinu od oko 28 km sa ukupnim padom od 187 m (slika 9).



Slika 9. *Reka Gradac Uslikano: 13.08.2020. (lična arhiva)*

Naredne veće pritoke duž sliva Kolubare sa njene desne strane su reke Ribnica i Ljig, sa svojim pritokama.

Reka Ribnica je pozicionirana duž valjevskog krasa i deo je sliva Kolubare u koju se uliva kod sela Divci, u blizini varoši Mionica. Ona celim svojim tokom teče kroz teritoriju opštine Mionica, sa površinom svog sliva od 115 km^2. Reka Ribnica nastaje kod Kozomora, na teritoriji sela Brežđe, od dve sastavnice reke – Manastirice i Paklešnice, na nadmorskoj visini od 300 m. Dužina toka reke Ribnice je 22 km. Pravac toka joj je u smeru jug-sever i nema značajnijih pritoka, što je posledica pozicije i suženja njenog sliva između reke Lepenice, ka zapadu, i reke Toplice, ka istoku. Uzvodno od Kozomora, sliv Ribnice se naglo širi preko njenih sastavnica Manastirice i Paklešnice. Dužina rečnog toka Ribnice iznosi 36 km, ako računamo i tok Manastirice. Prosečan pad od njenog formiranja pa do ušća u Kolubaru iznosi 0,75%. Ceo sliv je sačinjen iz prelaza sa planinskog ka brdsko-planinskom reljefu. Veći deo toka reke Ribnice je planinski, izuzev dela u okolini sela Paštrić, gde reka izlazi iz klisure, pa do samog ušća u Kolubaru (slika 10) (Stanojević, 2009). Reke Ribnica i Lepenica prilikom svog proticaja kroz Mionicu primaju otpadne vode i mulj iz ove urbane sredine i transportuju ga dalje u Kolubaru.



Slika 10. *Reka Ribnica Uslikano: 20.09.2020. (lična arhiva)*

Reka Ljig je veća pritoka Kolubare i njena dužina iznosi oko 49 km. Reka Ljig izvire na prostoru teritorije opštine Ljig i kroz samu opštinu protiče na dužini od oko 30 km. Nastaje sjedinjavanjem više vodotokva koji se slivaju niz obronke severne padine planine Suvobor. Za glavni izvor reke Ljig uzima se kraško vrelo na teritoriji sela Ba, jer za razliku od drugih izvorišta koja presušuju tokom letnjeg perioda ili im se znatno smanji proticaj, pomenuto vrelo kod sela Ba, ima najstabilniju izdašnost i najbogatiji je izvor vode u ovom kraju. Samo vrelo je pozicionirano u podnožju kraškog oblika kod sela Ba visokog 250 do 300 m, na nadmorskoj visini od 395 m. Sama izdašnost vrela je promenljiva i varira od minimalnih 8.1 l/s do maksimalnih 2.1 m^3/s, dok prosečna izdašnost iznosi oko 67 l/s. Površina samog sliva reke Ljig iznosi oko 683 km^2, a na teritoriji opštine Ljig se prostire na oko 275 km^2, tj. na 39% ukupne slivne površine.

Severne strane padina Suvobora se dreniraju u reku Maricu, levu pritoku Ljiga, kao i u Slavkovačku reku, koja dotiče sa njene desne strane, konkretnije sa severnih obronaka planine Rajac. Veće pritoke reke Ljig su potok Dragobilj, sa svojom pritokom Dragobiljicom (Lalinačkom rekom), koji izviru ispod zapadnih i jugozapadnih obronaka planine Rudnik,

zatim pritiču potoci Žeravac i Godevac, koji se ulivaju kao leve pritoke Ljiga, Kačer (najveća pritoka Ljiga) sa svojom pritokom Kozeljicom, koji izviru ispod severozapadnih obronaka planine Rudnika i zapadnih obronaka planine Bukulje. Pritoka Kačer ulazi na teritoriju opštine Ljig uzvodno od sela Belanovica, pa se zatim uliva u reku Ljig 1 km nizvodno od samog naselja Ljig. Poslednja veća pritoka Ljiga na teritoriji opštine Ljig je reka Otoka sa svojom pritokom Kacapom, koja se u nju uliva sa njene leve strane. Van same opštine Ljig, u reku pritiče Onjeg, čija se izvorišta nalaze u severoistočnom delu teritorije opštine Ljig (slika 11). Sama reka Ljig prilikom svog proticaja kroz istoimeno naselje prima otpadne vode i mulj iz ove urbane sredine i transportuje ga dalje u Kolubaru.



Slika 11. *Reka Ljig Uslikano: 11.08.2020. (lična arhiva)*

Reka Tamnava je leva pritoka reke Kolubare, u koju se uliva kod Lisinog Polja.

Tamnava se formira na severnim padinama planine Vlašić od oko 20 izvora. Dugačka je 86.5 km, a kad joj pridružimo pritoku Tamnavicu ima ukupnu dužinu od 88.8 km. Prvih 15 km protiče u smeru sever-severozapad sa pravca jugoistoka i nakon što primi levu pritoku Greševu, menja svoj pravac sa zapada ka istoku do Ćemanovog mosta, a zatim poslednjih 9

km tok protiče severoistočno dok se ne ulije u Kolubaru na koti od 81 mnv. Uprkos činjenici da je vrednost srednjeg višegodišnjeg protoka Tamnave 1.38 m^3/s, po nekim podacima ova vrednost može da dosegne i 3.45 m^3/s na ušću u Kolubaru. Tamnava često presuši u kasno leto i ranu jesen kada voda ostane sačuvana samo u virovima. Sliv Tamnave pokriva 729.2 km^2. Najviša tačka je sam vrh planine Vlašić, koji drenira izvorni deo Tamnave na oko 450 mnv. Budući da je kota Tamnave na ušću 81 mnv, vredi napomenuti da celokupni pad ove reke iznosi 40%. Tamnava ulazi u ravnicu kod Koceljeve, i ima tendenciju da često plavi – u kasno proleće i rano leto. Tamnava teče meandrirajući i zahvaljujući gradijentima u ovoj oblasti ima spor proticaj (slika 12). Desna pritoka reke Tamnave, reka Ub je njena glavna pritoka. Izvor Uba je takođe na padinama planine Vlašić, ali na obroncima na istočnoj strani. Najviša tačka u ovom predelu je vrh Veliki Beleg, ispod kojeg se može naći izvor reke Ub, na 452 mnv. Reka Ub teče kroz sela Družetić, Pambukovica i Čučuga u gornjem delu svog toka, gde joj pritiče leva pritoka Bukovica. Duž svog središnjeg toka protiče kroz Tvrdojevac, Zvizdar i Ub, koji je po reci i dobio ime. Ub teče praktično paralelno sa Tamnavom do naselja Rupljani, koji se nalazi na nadmorskoj visini od 84 mnv, gde se i uliva u Tamnavu. Sliv reke Ub ima površinu od 270 km^2 (slika 13).



Slika 12. *Reka Tamnava Uslikano: 07.08.2020. (lična arhiva)*

Slika 13. *Reka Ub Uslikano: 13.09.2020. (lična arhiva)*

Izražen meandarski karakter reke Tamnave rezultirao je ogromnim brojem napuštenih korita i izolovanih meandara. Danas se uglavnom koriste za bacanje raznog otpada, kao i za istakanje

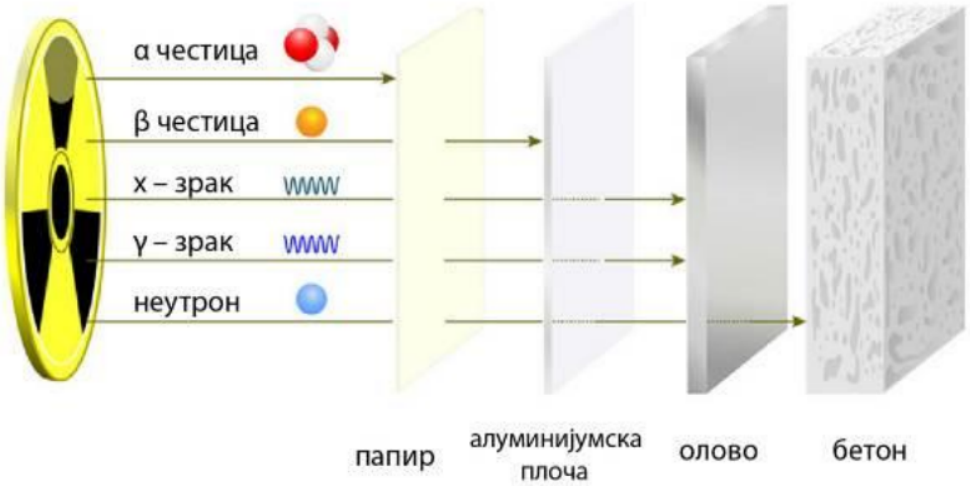
septičkih jama iz domova u čijem su posedu. Tipičan primer je napušteno staro korito reke Tamnave u blizini samog centra opštine Obrenovac. Postoje velike rezerve lignita u slivu Tamnave (Milojević, 1959), koje se danas eksploatišu u površinskim kopovima Kolubara za potrebe proizvodnje električne energije u termoelektrani Nikola Tesla u Obrenovcu. Reke Tamnava i Ub prilikom svojih proticaja kroz Koceljevu i Ub primaju otpadne vode i mulj iz ovih urbanih sredina i dalje ih transportuju u Kolubaru.

2.2. Jonizujuće zračenje

Jonizujuće zračenje je vrsta energije koju oslobađaju atomi i koja putuje u obliku elektromagnetnih talasa (gama ili rendgenski zraci) ili čestica (neutroni, beta ili alfa). Spontani raspad atoma naziva se radioaktivnost, a višak emitovane energije je oblik jonizujućeg zračenja (Claisse, 2016).

2.2.1. Vrste jonizujućeg zračenja

Postoji više vrsta jonizujućeg zračenja. Na slici 14. prikazane su vrste jonizujućeg zračenja i njihova prodornost kroz različite materijale (L'Annunziata, 2012). U nastavku su navedene najbitnije karakteristike pojedinih vrsta zračenja.



Slika 14. *Vrste jonizujućeg zračenja i njihova prodornost kroz različite materijale (lična arhiva)*

Alfa zračenje je oblik zračenja čestica. Alfa čestice su zapravo jezgra helijuma He-4 (Rutherford, Royds, 1908). Alfa čestice se veoma brzo apsorbuju u materiji kroz koju prodiru (npr. kroz vazduh i vodu) i iz tog razloga imaju veoma kratak domet (nekoliko centimetara u vazduhu; manje od milimetra u vodi). Mogu biti zaustavljene čak i listom papira (L'Annunziata, 2007). U slučaju spoljašnjeg izlaganja alfa česticama, ovaj tip zračenja može prodreti samo u spoljašnje slojeve ljudske kože. Prava opasnost dolazi prilikom udisanja ili gutanja alfa emitera, tj. radioaktivnih supstanci koje emituju alfa čestice tokom raspadanja u telu (inkorporacija), gde može dovesti do značajnog izlaganja zračenju. Alfa čestice putuju brzinom od oko 1/20 brzine svetlosti. Kao rezultat toga, imaju snažan jonizujući efekat. Zbog svoje veličine, sudaraju se sa nekim od atoma i brzo gube energiju, pa im je samim tim prodiranje malo (nekoliko centimetara) i mogu ih zaustaviti koža ili papir. Zbog svog snažnog jonizujućeg efekta, štetni su ako dospeju u organizam konzumicijom ili udisanjem jer dolazi do teških oštećenja tkiva. Tipičan i važan primer inkorporacije alfa emitera je unos radona, prirodnog plemenitog gasa, putem udahnutog vazduha (Pierce *et al*. 1998; Qaim *et al*., 2016).

Beta zračenje je zračenje čestica koje se javlja kada radioaktivna atomska jezgra emituju (negativno naelektrisane) elektrone ili ređe pozitrone (pozitivno naelektrisane čestice iste mase kao elektroni) dok se raspadaju. Beta zračenje se slabije apsorbuje u materiji nego alfa zračenje i stoga ima veći domet: moć prodiranja beta čestica se kreće od nekoliko centimetara do nekoliko metara u vazduhu i nekoliko milimetara do nekoliko centimetara u mekim tkivima i plastici. Od beta zračenja se može prilično lako zaštititi, na primer, aluminijumskim limom debljine nekoliko milimetara. Radioaktivne čestice koje emituju beta zračenje, takođe, mogu dovesti do značajnih posledica izlaganja zračenju kada ih telo preuzme (ugradi) putem udahnutog vazduha ili hrane. U slučaju spoljašnje izloženosti, beta zračenje može oštetiti tkivo, jer može prodreti u telo, mada ne veoma duboko. Međutim, ovaj vid zračenja gubi znatno manje energije od alfa zračenja na određenoj udaljenosti. Zato se kaže da beta zračenje ima nižu biološku efikasnost od alfa zračenja (Belyaev, Ross, 2021).

U slučaju gama zračenja, energija se prenosi kao elektromagnetni talas. Elektromagnetno zračenje se može opisati u smislu njegove frekvencije ili talasne dužine: što je veća frekvencija i kraća talasna dužina, to zračenje poseduje veću energiju. Gama zračenje se nalazi na kraju elektromagnetnog spektra, sa visokom frekvencijom ili kratkom talasnom

dužinom (Shamos, 1959). Gama zračenje nastaje radioaktivnim raspadom atomskih jezgara, često pored alfa ili beta zračenja. Vrlo lako prodire u materiju. Za zaštitu se koriste teški materijali kao što su olovo ili beton. I spoljašnje izlaganje i inkorporacija gama zračenja su štetni za žive organizme, jer prodire duboko u tkivo. Međutim, njegova biološka efikasnost je niža od alfa zračenja, pošto prenosi manje energije tkivu na određenoj udaljenosti.

X-zračenje je takođe oblik elektromagnetnog zračenja. Za razliku od gama zračenja, ono se generiše veštački kada se brzi elektroni usporavaju na anodi (pozitivno naelektrisanoj elektrodi) rendgenske cevi. Što je primenjen veći napon cevi pri kojem se ubrzavaju elektroni u rendgenskoj cevi, to je kraća talasna dužina i veća je energija rezultujućeg X-zračenja. Kada je rendgenski aparat isključen, ne generiše se rendgensko zračenje (Gräfe, 2021).

Neutronsko zračenje se sastoji od nenaelektrisanih čestica (neutrona). Neutroni se uglavnom oslobađaju tokom nuklearne fisije. Neutronsko zračenje se jedva apsorbuje vazduhom. Materijali sa najvećim mogućim sadržajem vodonika (npr. parafin, polietilen, voda) se koriste za inicijalno usporavanje neutrona. Usporeni (toplotni) neutroni moraju biti uhvaćeni apsorberom (kao što je bor ili kadmijum). Gama zračenje se emituje istovremeno uz neutronsko zračenje i mora biti zaštićeno olovom. Neutronsko zračenje ima snažnu interakciju sa biološkim tkivom (posebno molekulima vode koje sadrži) i stoga ima visoku relativnu biološku efikasnost (Little, 2003).

2.2.2. Izvori jonizujućih zračenja

Radioaktivni materijali mogu biti prirodni (kao što su uranijum i radijum koji se nalaze u zemljištu) ili ih je čovek napravio u akceleratoru ili reaktoru. Mašine koje generišu zračenje, kao što su medicinski rendgenski aparati, elektronski proizvode jonizujuće zračenje i prestaju da proizvode zračenje kada su isključeni. Oprema koja sadrži radioaktivni materijal, kao što je neka industrijska radiografska oprema, ne može se isključiti, jer radioaktivni izvor emituje jonizujuće zračenje. Ovi izvori moraju biti zaštićeni, tj. okruženi materijalom koji može blokirati zračenje, kako bi se sprečilo ili smanjilo izlaganje radijaciji (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2012).

2.2.3. Primena jonizujućeg zračenja

Radioaktivnost je otkrivena devedesetih godina XIX veka i do sada je razvijena široka lepeza upotrebe ove prirodne energije. Danas se zračenje koristi u medicini, obrazovanju i industriji, kao i za proizvodnju električne energije. Pored toga, zračenje ima korisne primene u oblastima kao što su poljoprivreda, arheologija (datiranje ugljenika), istraživanje svemira, geologija (uključujući rudarstvo) i mnoge druge oblasti.

Bolnice, lekari i stomatolozi koriste različite nuklearne materijale i procedure za dijagnozu, praćenje i lečenje širokog spektra metaboličkih procesa i medicinskih stanja kod ljudi. Najčešća od ovih medicinskih procedura uključuje upotrebu rendgenskih zraka – vrste zračenja koje može proći kroz našu kožu. Kada se rendgenski snimaju, naše kosti i druge strukture bacaju senke jer su gušće od naše kože, a te senke se mogu detektovati na fotografskom filmu. Ovo omogućava lekarima i stomatolozima da uoče slomljene kosti i probleme sa zubima (slika 15).



Slika 15. *Ortopan snimak Uslikano: 28.10.2021. (lična arhiva)*

Rendgenski zraci i drugi oblici zračenja takođe imaju različite terapeutske namene. Najčešće su namenjeni uništavanju kancerogenog tkiva, smanjenju veličine tumora ili smanjenju bola.

Na primer, radioaktivni jod (posebno jod-131) se često koristi za lečenje raka štitne žlezde. Rendgen mašine su povezane sa računarima i mašinama koje se nazivaju skeneri kompjuterizovane aksijalne tomografije (CAT) ili kompjuterizovane tomografije (CT) (Radiation and your patient, 2001). Ovi instrumenti pružaju lekarima slike u boji koje prikazuju oblike i detalje unutrašnjih organa. Ovo pomaže lekarima da lociraju i identifikuju tumore, veličinu anomalije ili druge fiziološke ili funkcionalne probleme organa. Pored toga, bolnice i radiološki centri širom sveta svake godine obavljaju desetine miliona nuklearnih medicinskih procedura. Lekari daju malu količinu radioaktivne supstance pacijentima, koje određeni unutrašnji organi privlače, poput pankreasa, bubrega, štitne žlezde, jetre ili mozga, kako bi dijagnostfikovali klinička stanja (Baley *et al*., 2014).

Obrazovne ustanove i druge akademske i naučne institucije koriste nuklearne materijale u radu na kursevima, laboratorijskim demonstracijama, eksperimentalnim istraživanjima i raznim primenama zdravstvene fizike. Ovo omogućava istraživačima da proučavaju puteve kojima se različite vrste zagađenja kreću kroz životnu sredinu. Radijacija nam je pomogla da saznamo više o vrstama zemljišta u kojima različite biljne vrste treba da se razvijaju, veličinama novootkrivenih naftnih polja i pravcima kretanja okeanskih struja. Istraživači koriste niskoenergetske radioaktivne izvore u gasnoj hromatografiji da identifikuju komponente naftnih derivata, smoga ili dima cigareta, pa čak i složenih proteina i enzima koji se koriste u medicinskim istraživanjima. Arheolozi koriste radioaktivnost za određivanje starosti fosila i drugih objekata metodom radioaktivnog ugljenika. U gornjim nivoima naše atmosfere, kosmički zraci udaraju atome azota i formiraju prirodni radioaktivni izotop ugljenika koji se zove ugljenik C-14. Od ugljenika koji se inače nalazi u svim živim bićima – mali procenat je ugljenik C-14 (Paterne *et al*., 2020). Kada biljka ili životinja umre, više ne preuzima novi ugljenik, a ugljenik C-14, koji je akumulirala tokom svog života, počinje proces radioaktivnog raspada. Rezultat toga radioaktivnog raspadanja, nakon nekoliko godina, ima za posledicu da stari objekat ima manji procenat radioaktivnosti od novijeg, mlađeg objekta. Merenjem ove razlike, arheolozi su u mogućnosti da odrede približnu starost objekta.

Električna energija proizvedena nuklearnom fisijom (cepanjem atoma) – jedna je od najpoznatijih i najviše korišćenih upotreba zračenja. Kako stanovništvo na planeti postaje sve više zavisno od električne energije, potreban nam je pouzdan, bogat, čist i pristupačan izvor električne energije.

Elektrane (uključujući i one koje koriste nuklearnu fisiju) zagrevaju vodu da bi proizvele paru, koja okreće lopatice turbine nalik propeleru koja okreće osovinu generatora (IAEA, 2017). U ovim postrojenjima, energija potrebna za ključanje vode i pretvaranja u paru, proizvodi se ili sagorevanjem uglja, nafte ili gasa (fosilna goriva) u peći, ili cepanjem atoma uranijuma u nuklearnoj elektrani. Uranijumsko gorivo generiše toplotu kroz proces koji se naziva fisija. Uranijum je primarno gorivo za nuklearne reaktore i eksploatiše se širom sveta. Nakon kopanja rude, potrebno je da se uranijum rafiniše pre nego što počne da se koristi kao gorivo u nuklearnim reaktorima. Uranijum-233, uranijum-235 i plutonijum-239 su tri najvažnija fisiona izotopa. Kada neutron koji se sporo kreće udari u nestabilna jezgra ovih atoma, oni se cepaju na dva jezgra i dva ili tri dodatna neutrona. Nakon toga, neutroni razbijaju još jezgara. U nuklearnom reaktoru ovo rezultira samoodrživom lančanom reakcijom koja se može regulisati.

Ne proizvode sve vrste nuklearnih goriva električnu energiju nuklearnom fisijom. Radioizotopni termoelektrični generatori i druge vrste atomskih baterija koriste plutonijum-238 i druge elemente za proizvodnju skromnih količina nuklearne energije putem radioaktivnog raspada.

Tretman zračenjem je kontrolisana primena energije kratkotalasnog zračenja elektromagnetnog spektra poznatog kao jonizujuće zračenje i uključuje gama zrake, ubrzane elektrone i rendgenske zrake kako bi se postigao željeni efekat na proizvod.

Hrana, medicinska oprema i druge supstance su izložene određenim vrstama zračenja (kao što su gama ili rendgenski zraci) kako bi se uklonili mikroorganizmi bez oštećenja supstance koja se dezinfikuje. Kada se tretira na ovaj način, hrana ostaje sveža mnogo duže, a medicinska oprema (kao što su zavoji, špricevi i hirurški instrumenti) se steriliše bez izlaganja toksičnim hemikalijama ili ekstremnoj toploti. Rezultat toga, tamo gde se sada koristi hlor, hemikalija koja je toksična i sa kojom je teško rukovati, je mogućnost da se zračenje ubuduće koristi za dezinfekciju vode za piće i uništavanje mikroorganizama u kanalizaciji. Ultraljubičasto svetlo (oblik zračenja) se već koristi za dezinfekciju vode za piće.

Slično tome, radijacija se koristi za uklanjanje toksičnih polutanata iz elektrana na ugalj i iz industrije. Polutanti životne sredine kao što su sumpor dioksid (SO_2) i azotni oksidi (NO_x)

emituju se u atmosferu kao rezultat industrijskih aktivnosti, posebno sagorevanjem fosilnih goriva za potrebe proizvodnje električne energije. Istočna i centralna Evropa pripadaju regionu sveta koji je najviše pogođen kiselim kišama. Zagađenju doprinosi sagorevanje uglja lošeg kvaliteta, sa visokim sadržajem sumpora. Mnoge vlade širom sveta uvele su ograničenja industrijske emisije, što je ponovo podstaklo interesovanje za otkrivanje izvodljivih i isplativih sistema za upravljanje zagađenjem SO_2 i NO_x. Vlažno ispiranje za SO_2 i selektivna katalitička redukcija za NO_x su dve tradicionalne metode koje su dostigle tehnološku zrelost. Svakodnevno se otkrivaju nove tehnologije koje se koriste u komercijalne svrhe i doprinose efikasnijoj proizvodnji u industriji. Jedna od njih je tehnika suvog pročišćavanja elektronskim snopom, koja istovremeno uklanja SO_2 i NO_x iz industrijskih dimnih gasova. Poslednjih decenija proces obrade dimnih gasova elektronskim snopom proučavan je na Institutu za nuklearnu hemiju i tehnologiju (INCT). Izgrađena je laboratorijska jedinica sa protokom gasa od 400 Nm^3/h,. kao i pilot-postrojenje sa protokom gasa od 20000 Nm^3/h. U laboratoriji se koristi akcelerator od 20 kW, 2 MeV, dok se u pilot-postrojenju koriste dva akceleratora od 50 kW, 700 keV. Trenutno se razvija i gradi industrijsko postrojenje sa protokom gasa od 270000 Nm^3/h i snagom zraka od 1200 kW. Tokom ispitivanja, pokazana je visoka efikasnost uklanjanja SO_2 (do 98%) i NO_x (do 80%). Takođe je prikazano kontinuirano funkcionisanje pilot-postrojenja. Ova tehnologija se u poređenju sa tradicionalnim tehnologijama pokazala kao konkuretna, i u ekonomskom i u tehnološkom smislu (Chmielewski *et al*., 1999).

Zračenje elektronskog snopa može ukloniti opasne sumpor-dioksi̇de i azotne okside iz našeg okruženja. Mnoge tkanine koje se koriste za izradu odeće bile su ozračene (tretirane zračenjem) pre nego što su bile izložene hemikalijama. Ovaj tretman čini da se hemikalije vezuju za tkaninu, kako bi odeća ostala sveža i otporna na gužvanje tokom celog dana, ali je bitno naglasiti da odeća ne postaje radioaktivna. Slično tome, neprijanjajuće posuđe se tretira gama zracima kako se hrana ne bi lepila za metalnu površinu. Poljoprivredna industrija koristi zračenje za poboljšanje proizvodnje i pakovanja hrane (Gracheva *et al*., 2016). Seme biljaka, na primer, može se izložiti zračenju kako bi se stvorile nove i otpornije vrste biljaka. Studije pokazuju da zračenje biljaka ima pozitivan uticaj na njihov rast i proizvodnju metabolita (Marlise *et al*., 2019). Takođe, zračenje se može koristiti za kontrolu populacija insekata, čime se smanjuje upotreba opasnih pesticida.

Radioaktivni materijal se, takođe, koristi u merilima koja mere debljinu ljuske jajeta kako bi se izdvojila tanka, lomljiva jaja pre nego što se pakuju u kartone i plasiraju na tržište. Pored toga, mnoge namirnice su upakovane u polietilensku skupljajuću foliju koja je ozračena, tako da je ona promenila svoje karakteristike i može se zagrejati iznad svoje uobičajene tačke topljenja i umotati oko hrane kako bi se obezbedio hermetički zaštitni omotač.

Svuda oko nas vidimo reflektirajuće znakove koji su tretirani radioaktivnim tricijumom i fosforescentnom bojom. Jonizujući detektori dima koriste mali deo americijuma-241, dok, na primer, merači koji sadrže radioizotope mere količinu vazduha umućenog u sladoled.

2.3. Primena jonizujućeg zračenja u zaštiti životne sredine

Poslednjih godina usled naučnog napretka u polju nuklearnih nauka, razvijen je veliki broj tehnologija. Takođe, razvijena je i sama primena radijacionih tehnologija, koje imaju za cilj da ostvare što veću bezbednost prilikom ispuštanja gasovitih i tečnih efluenata u prirodu i smanjenje negativnog uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi i životinja (Ali Mussad, 2004). Pilot-postrojenja i industrijske instalacije pokazale su da tehnologije zasnovane na zračenju pružaju zavidne rezultate prilikom tretmana dimnih gasova (uklanjanje SOx i NOx), prečišćavanja otpadnih voda (Hashimoto, Kawakami, 1979) i tretmana mulja (Borrely *et al*., 1998), i mogu u velikoj meri pomoći da se ublaže antropogeni uticaji urbanih i industrijskih područja na degradaciju životne sredine. Zemlje širom sveta, uključujući mnoge zemlje u razvoju, izrazile su veliko interesovanje za korišćenje i uvođenje inovativnih tehnologija zračenja za tretman otpadnih voda koje su kao produkt industrijskog delovanja nastale u urbanim sredinama.

Zračenje je dobro uspostavljena metoda za smanjenje mikrobne kontaminacije u hrani i lekovima. Koriste se kako gama zraci, tako i elektroni visoke energije, a njihov primarni efekat je oštećenje DNK opasnih mikroba. Tehnologija se primenjuje za unapređenje ekoloških standarda, kao što je uklanjanje toksina iz industrijskih dimnjaka i dekontaminacija otpadnih voda i kanalizacionog mulja. Komercijalna primena u industrijskim uslovima u prošlosti nije bila tako uspešna, kao što je bila u oblastima sterilizacije medicinskih zaliha i hrane.

Zbog visokog sadržaja organske materije – azota, fosfora i mnogih metala u tragovima, koji su neophodni za biljke, mulj iz komunalnih kanalizacionih sistema može da se upotrebljava kao đubrivo, što predstavlja veliki potencijal za primenu u poljoprivredi. Međutim, mulj sadrži i visoku koncetraciju patogenih mikroorganizama, parazita i parazitskih jaja koji vrše pritisak na životnu sredinu i izazivaju bolesti. Pre nego što se kanalizacioni mulj kao đubrivo može koristiti u poljoprivredi na bezbedan način, odnosno bez negativnih uticaja na životnu sredinu i zdravlje ljudi, neophodno ga je dezinfikovati. Za potrebe sterilizacije mulja u prošlosti su se koristile metode poput spaljivanja, dok su danas dostupne nove tehnologije, poput gama zračenja (Sameh *et al*., 2022).

Ozračivanje za potrebe dezinfekcije mulja počelo je 1973. godine, kada je industrijska fabrika gama zraka u Gajzelbulahu u Nemačkoj, koristila za izvore gama zraka Co-60 i Cs-137 (Lessel, Suess, 1984). Postrojenje je tretiralo do 180 m^3/dan mulja sa 90000 Ci od Cs-60 i 570000 Ci od Ci-137. Slično istraživanje je u Sjedinjenim Američkim Državama sproveo „Department of Energy Sandia National Laboratories“ SAD, koristeći Cs-137 i imao maksimalni kapacitet od 7250 kg/dan (Sivinski, Ahlstrom, 1984).

Tokom sedamdesetih godina prošlog veka, Tramp i saradnici (Trump, 1981), u Kembridžu, SAD, bili su pioniri u upotrebi elektronskih akceleratora za sterilizaciju mulja. Sistem, koji je prvobitno konstruisan 1976. godine u postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda „Deer Island Wastewater Treatment Plant“ u Bostonu, sastojao se od akcelerator elektrona od 50 kW High Voltage Engineering (HVE) koji je mogao da ozrači do 375000 l/dan (100000 gpd) mulja pri dozi od 4 kGy. Sistem je značajno rekonstruisan 1980. godine kako bi se povećao kapacitet fabrike na 637500 l/dan (170000 gpd). Godine 1982. u Majamiju na Floridi, konstruisan je uporediv sistem sa akceleratorom od 1,5 MeV, 50 mA za tretman mulja pri protoku od 645 m^3/dan. Sličan sistem sa akceleratorom od 1,5 MeV, 37,5 kW i maksimalnom propusnošću od 45 l/min instaliran je u Brazilu (Borrely *et al*., 1998). Japanski institut za istraživanje atomske energije „Japan Atomic Energy Research Institute“ (JAERI) radi slične eksperimente od sedamdesetih godina prošlog veka. Vashino (Washino, 1981) je uporedio tretman otpadnih voda elektronskim i gama zracima kako bi utvrdio njihov baktericidni efekat. Otkriveno je veće smanjenje koncentracije mikroorganizama kod upotrebe gama zračenja.

Kao deo saradnje između okruga Arlington u Virdžiniji i Kent State univerziteta u Kentu, Ohajo, uzorak mulja je ozračen 2014. godine – kako bi se demonstrirala održivost i ekonomska korisnost metode. Koristeći elektrone od 3 MeV koje obezbeđuje „Dynamitron" akcelerator i brzinu protoka od 184 l/min, uzorak od 33750 l mulja je ozračen pri 6,7 kGy i 25,7 kGy, u tipičnim proizvodnim uslovima, pokazujući da je proces efikasan u smanjenju koncentracije mikroorganizama i isplativiji od konvencionalnih tehnika dezinfekcije (Jean *et al*., 2015).

Rast stanovništva u urbanim sredinama, viši životni standard, povećan nivo urbanizacije i pojačane industrijske aktivnosti sveukupno doprinose degradaciji životne sredine. Na primer, fosilna goriva – uključujući ugalj, prirodni gas, naftu, naftu iz škriljaca i bitumen – glavni su primarni izvori energenata koji se koriste u proizvodnji toplotne i električne energije i odgovorni su za veliki broj zagađivača i količinu polutanata koji se emituju u atmosferu preko izduvnih gasova iz industrije, elektrana, sistema grejanja stambenih objekata i vozila. Prilikom procesa sagorevanja, emituju se različiti polutanti, kao što su leteći pepeo (koji sadrži različite elemente u tragovima (teški metali), SOx (uključujući SO_2 i SO_3), NOx (uključujući NO_2 i NO) i isparljiva organska jedinjenja (Person, Ham, 1988). Zagađenje vazduha uzrokovano česticama i drugim polutantima ne samo da direktno utiče na kvalitet vazduha već kontaminira vodu i zemljište, što dovodi do njihove degradacije. Mokro i suvo taloženje neorganskih polutanata dovodi do zakiseljavanja medijuma životne sredine. Ove pojave imaju izuzetno negativan uticaj na životnu sredinu i zdravlje ljudi, životinja i vegetaciju. Usled posledica visokog atmosferskog zagađenja prijavljena su široko rasprostranjena oštećenja šuma u Evropi i Severnoj Americi. Mnoge kultivisane biljke su, takođe, pogođene ovom vrstom zagađenja, posebno u svojim ranim fazama rasta. Mehanizmi transformacije polutanata u atmosferi opisani su hemijom životne sredine. Fotohemija igra važnu ulogu u ovim transformacijama. U prisustvu vodene pare, SOx i NOx se oksiduju i tom prilikom formiraju sumpornu i azotnu kiselinu. Stvaranjem magle i formiranjem kapljica dolazi do stvaranja tzv. kiselih kiša (tj. kiselih padavina). Poslednjih decenija, istraživanja su pokazala da emisije isparljivih organskih jedinjenja u atmosferu mogu izazvati oštećenje stratosferskog ozonskog omotača i formiranje fotohemijskog ozona na nivou zemlje, koji za posledicu može imati toksične ili kancerogene efekte na zdravlje ljudi i životinja. Ove emisije polutanata u atmosferu doprinose globalnom efektu staklene bašte, dodajući novu dimenziju degradaciji životne sredine koja je rezultat sagorevanja pomenutih fosilnih goriva (Tokunaga, Suzuki, 1984). Očekuje se da će ugalj, kao najprljavije gorivo među prirodnim

ugljovodonicima, ostati prioritetno glavno fosilno gorivo i u naredna dva veka. Ukoliko ne dođe do promene pravca politike na globalnom nivou u odnosima prema fosilnim gorivima, potreba za povećanjem eksploatacije uglja i njegova upotreba zasigurno će biti neophodna, da bi se zadovoljile rastuće energetske potrebe većeg broja stanovnika, širenja urbanih sredina i industrija, kako razvijenih zemalja, tako i zemalja u razvoju. Dakle, postoji hitna potreba za razvojem tehnologija koje smanjuju ili minimiziraju zagađenje koje je povezano sa fosilnim gorivima i upotrebom uglja. Očekuje se da će drastično povećanje svetske populacije, u kombinaciji sa industrijalizacijom, urbanizacijom, intenziviranjem poljoprivrede i dosadašnjim načinom života, dovesti do globalne krize vodosnabdevanja i dodatnog zagađenja pitke vode, kao resursa u kom već danas oskudevamo.

2.3.1. Tretman dimnih gasova

Tehnologija elektronskih zraka koja se koristi za tretman dimnih gasova razvijena je u Japanu ranih sedamdesetih godina XX veka. Proces je kasnije korišćen u pilot-postrojenjima širom sveta: Nemačkoj, Japanu, Republici Koreji i Sjedinjenim Američkim Državama. U Poljskoj je proces demonstriran u elektrani Kawęczyn. Pilot-instalacija sa propusnošću od 20000 Nm^3/h, koristila je dva elektronska akceleratora (50 kW i 700 keV, svaki) (Iller *et al*., 2002). Nedavno je puštena u rad pilot-instalacija sa propusnošću od 10000 Nm^3/h i tri akceleratora (30 kW i 800 keV, svaki) izgrađena u termoelektrani Marica East 2, u Bugarskoj, za tretman SOx gasova sagorevanjem lignita niskog kvaliteta, sa visokim sadržajem sumpora. Postrojenje je pokazalo veoma dobre procesne parametre, a efikasnost uklanjanja polutanata kreće se od 87 do 97% za SOx i od 85 do 90% za NOx. Prinos nusproizvoda je dobrog kvaliteta, sa sadržajem vlage manjim od 1%. Sadržaj azota je približno 21% ili više, što je vrednost preporučena za upotrebu u komercijalnom đubrivu. Amonijum sulfat čini 96–97% nusproizvoda, dok amonijum nitrat čini još 2% (Chmielewski *et al*., 1993). Industrijske instalacije za prečišćavanje dimnih gasova elektronskim snopom su trenutno u funkciji u postrojenjima na ugalj u Poljskoj i Kini. Ubrzivači instalirani u elektrani Pomorzany u Poljskoj imaju kapacitet veći od 1 MW, što je čini najvećim objektom za zračenje ikada izgrađenim. Fabrika Pomorzany tretira približno 270000 Nm^3 dimnih gasova na sat. Uklanjanje SOx i NOx je veoma efikasno (do 95% za SOx i do 70% za NOx), a nusproizvod je visokokvalitetno đubrivo. Ukupni investicioni troškovi instalacije Pomorzany bili su oko 20 miliona dolara. Kapitalni troškovi instalacije u fabrici u Čengduu, Kina, koja je

projektovana za tretiranje SO_2 (koristeći akceleratore sa snagom malog kapaciteta), iznosili su približno 11 miliona dolara. Druga moguća primena tehnologije je za uklanjanje policikličnih aromatičnih ugljovodonika (PAH) u postrojenjima za tretman dimnih gasova i za spaljivanje komunalnog otpada (Doi *et al*., 2000). U samom slivu reke Kolubare, pored eksploatacije i obrade uglja u Rudarskom basenu Kolubara, nalaze se i postrojenja za proizvodnju električne energije: Termoelektrana „Kolubara“, u Velikim Crljenima, nadomak Lazarevca i Termoelektranae „Nikola Tesla A i B“, u blizini Obrenovca. Pomenute tehnologije bi mogle da se instaliraju i u navedenim postrojenjima u slivu reke Kolubare, kako bi se smanjilo zagađenje i uticaj na životnu sredinu i zdravlje ljudi.

2.3.2. Tretman otpadnih voda

Radijacioni tretman otpadnih voda je nehemijska metoda i koristi se brzim stvaranjem kratkotrajnih reaktivnih čestica koje mogu da stupe u interakciju sa širokim spektrom polutanata (Pikaev, 1998). Takvi reaktivni radikali su jaki oksidacioni ili redukcioni agensi koji mogu da transformišu polutante u tečnom otpadu. U Daeguu, Republika Koreja, izgrađeno je pilot-postrojenje opremljeno akceleratorom elektronskog zraka za prečišćavanje 1000 m^3 otpadne vode na dnevnom nivou iz industrije bojenja tekstila (Han *et al*.,2002; Sampa, 2004; Solpan *et al*., 2004). Njegov uspešan rad doveo je do izgradnje industrijskog postrojenja za prečišćavanje 10000 m^3/dan na istoj lokaciji. Na osnovu podataka dobijenih u laboratorijskim i pilot-eksperimentima, određene su doze od približno 1-2 kGy za protok od 10000 m^3/dan. Zbog toga je ugrađen akcelerator snage 400 kW, čime je povećana isplativost i kompaktnost postrojenja. Cena ovog akceleratora velike snage iznosila je približno 2–2.5 miliona dolara; a troškovi građevinskog materijala, cevovoda, druge opreme i izgradnje procenjeni su na 1–1.5 milion dolara. Uzimajući u obzir dodatne troškove poreza, osiguranja i dokumentacije (približno 0.5 miliona dolara), ukupni troškovi fabrike su bili približno 4–4.5 miliona dolara (Lee *et al*., 2015). Instalacijom tehnologije jonizujućeg zračenja (Bojanowska-Czajka, 2021) na lokacijama sa razvijenom industrijom, uključujući i veće urbane sredine duž sliva reke Kolubare, može se rešiti problem generisanja kontaminiranih otpadnih voda, koje se danas bez tretmana ispuštaju u Kolubaru i njene pritoke.

Prema Direktivi Saveta 91/271/EEC od 21. maja 1991. godine o tretmanu gradskih otpadnih voda, potreba i svakodnevni zahtevi za uvođenjem sekundarnih postrojenja za tretman

gradskih otpadnih voda je sve veća, kako bi se ublažio ili totalno izbegao štetan uticaj na životnu sredinu prilikom ispuštanja loše tretiranih ili netretiranih gradskih otpadnih voda. U osetljivim oblastima potrebno je uvođenje strožih mera i tretmana, međutim, na nekim manje osetljivim mestima primarni tretman otpadnih voda može biti dovoljan. Opšte norme ili zakoni, kao i posebna ovlašćenja treba da važe za industrijske otpadne vode koje ulaze u sisteme sakupljanja, kao i za ispuštanje otpadnih voda i odlaganje mulja iz komunalnih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Biorazgradive industrijske otpadne vode iz određenih industrijskih sektora, koje ne prolaze kroz postrojenja za prečišćavanje gradskih otpadnih voda pre ispuštanja u prijemne vode, treba da budu predmet odgovarajućih propisa. Recikliranje mulja iz tretmana otpadnih voda treba podsticati, pošto bi se ispuštanje mulja u površinske vode trebalo postepeno ukinuti. Da bi se obezbedila zaštita životne sredine od štetnih uticaja ispuštanja otpadnih voda, potrebno je praviti postrojenja za prečišćavanje, prijem vode i odlaganje mulja. Od ključne je važnosti da se garantuje javni pristup informacijama o otpadnim vodama i odlaganju mulja (forma periodičnih izveštaja) (CD, 1991).

2.3.3. Tretman kanalizacionog mulja

Kanalizacija uključuje otpadne vode iz domaćinstava, industrije ili malih preduzeća, kišnicu i površinske vode. Kada se komunalne otpadne vode prečiste, stvara se mulj koji sadrži veliku količinu vode i značajnu količinu kontaminacije iz otpadnih voda, kao što su bakterije i virusi. Muljevi sadrže veću količinu vode između 96% i 99%, dok je preostali suv deo materije, uglavnom, sačinjen od organskih materija – oko 75%. Koncetracije teških metala i zagađenja organskog porekla uključujući i patogene mikroorganizme, potiču iz otpadnih industrijskih i komunalnih voda koje se ispuštaju u kanalizaciju. Muljevi sadrže i nutrijente – oko 3% fosfora, 1,5% azota i kalijum.

Kanalizacioni mulj se definiše kao tečnost sa oko 4% čvrste materije, koja ima specifičan miris (Karlović, 2010). Sami muljevi se tretiraju i u sirovom stanju deponuju ili recikliraju. Reciklirani mulj se u vidu peleta koristi u poljoprivredi kao đubrivo.

Pošto se otpadne vode obično ispuštaju u vodotokove ili u velike akumulacije, muljevi su još veći problem, jer je njihov uticaj manje očigledan. Muljevi se talože uglavnom na određenim

lokacijama gde su u kontaktu sa zemljištem, a zbog toga što su zagađenja u muljevima u koncentrisanijem obliku, očigledniji su i štetni uticaji na životnu sredinu. Veliki gradovi predstavljaju jedinstvenu opasnost, jer generišu značajne količine otpadnih voda i muljeva, koji se na jedinstvenoj lokaciji akumuliraju u velikim količinama.

Osnovna svrha termičkih postupaka je da se iskoriste kalorične vrednosti muljeva na način kojim emisije imaju minimalan negativan uticaj na životnu sredinu. Ako se muljevi ne mogu koristiti u poljoprivredi, onda se:

– pretvaraju u čvrsti filterski „kolač“, koji se zatim odlaže na deponiju;
– kompresuju i sagorevaju, nakon čega se odlažu na deponiju.

Neophodno je da se u obzir uzmu svi parametri prilikom korišćenja termičkih procesa i potrebe za dodatnom energijom neophodnom za generisanje visokih temperatura, visoki troškovi rada i održavanja postrojenja za sagorevanje, potreba za postrojenjem za prečišćavanje gasova generisanih sagorevanjem, kao i dodatna kontrola zagađenja iz emisija koje potiču od alternativnih goriva (Piuković-Babičković *et al*., 2016).

Kanalizacioni mulj, kao nosilac fekalnog otpada, predstavlja izvor raznih patogena koje treba kontrolisati i dekontaminirati pre faze bezbednog odlaganja. Čišćenje i održavanje kanalizacionih sistema je višestepeni proces koji uključuje primarni i sekundarni tretman kanalizacionog mulja.

Primarni tretman vrši separaciju i uklanja najteže čvrste materije, dok sekundarni tretman uključuje proces odvajanja aktivnog mulja. Aktivni mulj se sastoji od flokula organske materije i bakterija. To je pahuljasta kombinacija biološke mase (mikroorganizama) i neraspadnutih organskih i neorganskih jedinjenja dobijenih iz otpadnih voda. Mikroorganizmi prečišćavaju otpadnu vodu hraneći se organskim supstancama u njoj. Bakterije u ljuspicama mulja su slojevite i mogu biti obložene sluzavim štitom. Pahulje imaju sunđerastu strukturu, što objašnjava njihovu veliku površinu, gde 1 gram suvog mulja ima površinu od oko 100 m^2. Pahuljice mulja imaju visok kapacitet apsorpcije zbog svog negativnog naelektrisanja.

Filtracija otpadnih voda se odvija na tri načina: peščanim filterima, hemijskim tretmanom i dezinfekcijom.

Mulj se dezinfikuje na sledeće načine: doziranjem natrijum hipohlorita (Žavelova voda), hlorisanjem gasom hlora ili UV dezinfekcijom. UV dezinfekcija ima ograničavajuće faktore poput troškova izgradnje i operativnog održavanja, a superiorna je u pogledu tehnologije.

Kanalizacioni mulj je prinos čvrstog otpada nakon završetka sekundarne faze tretmana otpadnih voda. Godišnja proizvodnja mulja iz kanalizacije se povećava sa brojem stanovništva u urbanim prostorima širom sveta. Sa povećanjem generisanja ove vrste otpada iz godine u godinu sve stroži zakoni o kvalitetu otpadne vode stupaju na snagu. Sjedinjene Američke Države i zemlje Evrope zajedno generišu približno 13800 Mt suvog kanalizacionog mulja godišnje. Tretiran mulj je bogat izvor mnogih mikronutrijenata i vredan izvor fiksnog azota, što ga čini vrednim đubrivom i resursom. Trenutno se oko 41% generisanog mulja u Sjedinjenim Američkim Državama koristi za primenu na zemljištu, dok se u evropskim zemljama, iskorišćenost za primenu na zemljištu kreće od 13% u Austriji do približno 80% u Luksemburgu i Portugaliji. Ujedinjeno Kraljevstvo koristi oko 55%, a Francuska oko 50% generisanog mulja za primenu na poljoprivrednom zemljištu (UNEP, 1999). Zabrinjavajuće je prisustvo patogenih mikroorganizama u kanalizacionom mulju u pogledu njegove upotrebe u poljoprivredi. Trenutno, toplotna obrada i tretiranje krečnom vodom su metode koje se najčešće koriste za preradu kanalizacionog mulja, međutim, drugi procesi su u fazi istraživanja. Zračenje kanalizacionog mulja je obećavajuća tehnologija za tretman mulja. Odobrena je od strane američke Agencije za zaštitu životne sredine kao metod za generisanje mulja 'klase A' koji je bezbedan za poljoprivrednu upotrebu. Postrojenje za tretman tečnog mulja korišćenjem gama zračenja iz radioaktivnog izvora ^{60}Co je u funkciji u Vadodari, Indija, od 1992. (Rawat *et al*. 1997; Sabharwal *et al*., 2004; Gautam *et al*., 2005). Postrojenje je projektovano za tretman 110 m^3 mulja iz konvencionalnog postrojenja za prečišćavanje na dnevnom nivou. Operativno iskustvo postrojenja pokazalo je da je proces jednostavan, efikasan i lako se integriše u postojeće postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda, a mulj tretiran zračenjem može se koristiti kao đubrivo u poljoprivredi. Slično, akcelerator elektronskog snopa se takođe može koristiti za tretiranje isušenog mulja (Podzorova *et al*., 1992). Po karakteristikama i rezultatima, pomenuta tehnologija bi bila idealna za tretman otpadnog mulja generisanog u urbanim sredinama Kolubarskog sliva. Kao

što je navedeno u radu, mulj je bogat mikronutrijentima i vredan je izvor fiksnog azota. Nakon što je tretiran zračenjem, bezbedan je za upotrebu kao đubrivo u poljoprivredi.

Količina energije koju apsorbuje mulj određuje efekat zračenja na smanjenje bakterijskog opterećenja i prečišćavanje mulja. Ova energija se koristi za narušavanje strukturnog integriteta DNK u bakterijama, parazitima i virusima, što rezultira njihovom delimičnom ili trajnom inaktivacijom i smrću. Količina energije apsorbovane u zapremini mulja podeljena sa masom te zapremine meri se u kilogramima (kGy). Doza od nekoliko kGy može biti dovoljna da razbije molekule DNK i inaktivira ili ubije virus ili bakteriju.

Do nedavno, efekti zračenja na opterećenje bakterijama i uklanjanje štetnih hemijskih jedinjenja u mulju su proučavani samo u malim uzorcima mulja ozračenim u laboratorijskim uslovima, pri čemu se većina studija fokusirala na mikrobiološke ili hemijske efekte zračenja (Reinthaler *et al*., 2013; Young *et al*., 2013; Kotowska *et al*., 2012). Prerada i odlaganje mulja iz otpadnih voda je veliki problem širom sveta, posebno u velikim gradovima, kao što su Vašington i Tokio. Za ove potrebe se razvijaju nova tehnološka rešenja radi bezbednog odlaganja kanalizacionog mulja. Međutim, mulj se prvo mora pretvoriti u biočvrstu materiju klase A, koja je vrsta prerađenog mulja koji se smatra prihvatljivim za ljude i životinje. Poslednjih godina, tehnologija elektronskog snopa se pokazala kao isplativa opcija za ispunjavanje ovih propisa, sa značajnim smanjenjem broja potencijalno štetnih bakterija, poput fekalnih koliformnih bakterija i jajnih ćelija helminta (*Ascaris*), a obe su uobičajeni polutanti u kanalizacionom mulju.

Fekalne koliformne bakterije su vrsta bakterija koje u životnu sredinu ispuštaju ljudi, divlje životinje i goveda, u vidu izmeta. Ljudi i toplokrvne životinje u svom digestivnom traktu poseduju ove bakterije. Oni su simptomatični za prisustvo ljudskih i životinjskih patogena u kanalizacionom mulju, uključujući neke sojeve *Escherichia coli, Shigella flexneri* i *Salmonella typhimurium*. Među fekalnim koliformima, soj *E. coli*, koji je povezan sa brojnim epidemijama, poslednjih godina privukao je pažnju javnosti. *E. coli* je otkrivena u vodi za piće i povrću, što je dovelo do toga da pacijenti dožive grčeve u stomaku, povraćanje i krvavu dijareju. U većini slučajeva, međutim, infekcije sojem *E. coli* bile su umerene ili asimptomatske. Većina osoba zaraženih *S. typhimurium* ima dijareju, grčeve u stomaku i groznicu, što može dovesti do iscrpljenosti i dehidracije. Jak bol u stomaku, dehidracija, teška dijareja i groznica su svi simptomi infekcije *S. flexneri*. Pacijenti sa šigelozom se loše osećaju

i ostaju u krevetu tokom trajanja infekcije. U poljoprivrednim oblastima gde se uzgaja stoka, pored prisustva fekalnih koliforma, moguće je postojanje i jajnih ćelija Ascaris koje se, kada ih čovek ili životinja progutaju – izlegu i razviju u odrasle gliste *Ascaris lumbricoides* koje izazivaju bolove u stomaku, mučninu, povraćanje i iscrpljenost. Paraziti se mogu izlučiti putem izmeta i/ili povraćanja kod pacijenata koji su u velikoj meri zaraženi crvima *Ascaris*.

Tehnologija elektronskih zraka mogla bi se koristiti za smanjenje koncentracije isparljivih organskih sulfida i drugih isparljivih organskih jedinjenja u kanalizacionom mulju, koji su odgovorni za neprijatan miris. Tretman mulja elektronskim snopom nije energetski intenzivan proces i on ima kompaktan otisak i tipično kratke periode obrade. Glavni efekat zračenja na kanalizacioni mulj je radioliza vode.

Efekat zračenja elektronskim snopom na smanjenje brojnosti mikroba u mulju postiže se dvostrukim dejstvom zračenja na mulj (Wang, Wang, 2007). Prvi je direktan efekat zračenja na mikroorganizme, koji narušava strukturni integritet molekula DNK, ubijajući ih. Drugi je pomenuti indirektni efekat nastao radiolizom vode. Rezultat zračenja izaziva oksidativno oštećenje nukleinskih kiselina, proteina i lipida u mikroorganizmima, što dovodi do smrti. Kako se doza zračenja povećava, povećava se efikasnost ubijanja mikrobioloških populacija, uključujući i bakterije.

Vrednost D10 predstavlja dozu zračenja neophodnu da se ubije 90% populacije mikroorganizama prisutnih u uzorku mulja i daje bolju predstavu o efikasnosti zračenja snopa elektrona u neutralisanju mikroorganizama. Nivoi D10 mogu se dramatično razlikovati od mikroba do mikroba zbog razlika u strukturnoj složenosti. Kao rezultat, procenjena je vrednost D10 za *Ascaris* u opsegu od 0,38 kGy (Shamma, Al-Adawi, 2002). Ove vrednosti D10 su utvrđene na 0,31 i 0,35 kGy za dodatne mikrobiološke zagađivače mulja, uključujući *S. Typhimurium* i *E. coli*. Engohang-Ndong i njegovi istraživači saradnici su nedavno pokazali da bi se tehnologija elektronskih zraka mogla koristiti za iskorenjivanje mogućih mikrobnih patogena iz kanalizacionog mulja u industrijskom obimu (Jean *et al*., 2015). Istraživački tim iz Sjedinjenih Američkih Država je otkrio da je doza od 25,6 kGy bila dovoljna da se iskorene jajne ćelije *Ascaris*-a do nivoa koji se ne može detektovati postojećim metodama za brojanje jaja helminta u kanalizacionom mulju. Pri takvoj dozi zračenja elektronskog snopa, moguće je stvoriti mulj klase A. Da bi mulj bio klasifikovan kao biočvrsta materija klase A, mulj iz kanalizacije mora da sadrži manje od jedne jajne ćelije

Ascaris-a na četiri grama težine suvog mulja, prema pravilima američke Agencije za zaštitu životne sredine „US EPA“. Doza potrebna za pretvaranje mulja iz kanalizacije u biočvrste materije klase A za uklanjanje fekalnih koliforma je znatno niža od standarda „US EPA“. Engohang-Ndong i kolege su izračunali eksperimentalnu dozu od 6,8 kGy. Pretvaranjem mulja iz kanalizacije u biočvrstu materiju klase A smanjuje se rizik da jaja helminta kontaminiraju kanalizacioni mulj iz gusto naseljenih oblasti. Ovi muljevi se potom mogu koristiti u poljoprivredi, sa velikom korisnošću i energetskom efikasnošću.

Direktiva Saveta 86/278/EEC od 12. juna 1986. godine o zaštiti životne sredine, a posebno zemljišta, propisuje kada se otpadni mulj može koristiti u poljoprivredi. Upotreba kanalizacionog mulja je regulisana kako bi se izbegao štetni uticaj na zemljište, vegetaciju, životinje i ljude, a istovremeno se podstiče njegovo adekvatno odlaganje. Pošto prisustvo nekih teških metala u usevima može biti opasno kako za biljke, tako i za ljude, neophodno je utvrditi potrebne granične vrednosti ovih elemenata u zemljištu. Kada koncentracija ovih metala u zemljištu pređe granične vrednosti, zahteva se zabrana upotrebe mulja. U tom cilju je neophodno ograničiti količinu teških metala koja se dodaje u kultivisano zemljište, postavljanjem maksimalnih dozvoljenih koncetracija za godišnje količine mulja koje se koriste. Takođe je potrebno obezbediti da granične vrednosti za koncetraciju teških metala, koje mogu biti pridodate zemljištu, ne prelaze desetogodišnji prosek. Pre upotrebe u poljoprivredne svrhe, mulj mora proći kroz postrojenje za tretman. Adekvatnim rukovanjem i poštovanjem propisanih normi prilikom primene, neobrađeni mulj pod odgovarajućim uslovima ne predstavlja opasnost po zdravlje ljudi i životinja. Između upotrebe mulja i stavljanja zaliha na pašnjak, žetve krmnih useva ili određenih useva koji su obično u direktnom dodiru sa zemljištem i koji se normalno konzumiraju sirovi – obavezno mora proći određeni vremenski period. Osim u slučaju uzgoja voćarskih i povrtarskih kultura, zabranjena je upotreba mulja tokom same vegetacije. Mulj bi trebalo da se koristi samo u okruženjima koja vrše monitoring kvaliteta zemljišta, površinskih i podzemnih voda. Mulj iz malih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, koja prvenstveno prečišćavaju otpadne vode iz domaćinstava, predstavlja nizak rizik po zdravlje ljudi, životinja i biljaka ili životnu sredinu. Tehnički i naučni napredak može dovesti do izmene nekih zahteva Direktive (CD, 1986).

2.3.4. Sanacija zemljišta

Agencija za zaštitu životne sredine je utvrdila da polihlorovani dibenzodioksini (PCDD) (Hirota *et al*., 2003) i polihlorovani dibenzofurani (PCDF) predstavljaju ozbiljan rizik po javno zdravlje i uspostavila je ograničenja za skladištenje, transport i odlaganje otpadnih materijala koji sadrže dioksine. Utvrđena je granica od 1 ppb za 2,3,7,8-tetrahlorodibenzo-p-dioksina (TCDD), koji je najtoksičniji član ove porodice jedinjenja. Studije su pokazale da se TCDD može transformisati u proizvode zanemarljive toksičnosti radiolizom gama zracima iz ^{60}Co. Uništavanje više od 98% polutanta postignuto je dozom od 800 kGy u zemljištu koje sadrži 100 ppb TCDD. Dodatak polutanata kao što su dihlo-robenzen i heksahlorobenzen nije uticao na rezultat. Dodatak 25% vode i 2.5% neonskog surfaktanta bio je koristan za proučavano zemljište (Hilarides *et al*., 1994; Cooper *et al*., 1998; Stanojković-Sebić *et al*., 2015).

2.3.5. Sterilizacija zemljišta

Upotreba gama zračenja kao metoda za sterilizaciju zemljišta u laboratorijskim uslovima je preporučena pre svih drugih tehnika sterilizacije iz razloga što ovaj metod nakon primene ne ostavlja štetne posledice na tretirano zemljište. Tipično gama zračenje od 10 kGy će eliminisati sve mikroorganizme, plesni i beskičmenjake u većini tretiranih zemljišta. Većina bakterija u zemljištu se eliminiše dozom od 20 kGy, međutim, doza veća od 70 kGy je neophodna da bi se eliminisale određene bakterije koje su otporne na zračenje (McNamara *et al*., 2003).

Pored sterilizacije zemljišta u eksperimentalnim uslovima, sve više se primenjuje metoda izlaganja zemljišta gama zračenju u cilju neutralizacije mikroorganizama i u industrujskim uslovima.

Sterilizacija zemljišta upotrebom gama zračenja se koristi za eliminisanje ili smanjenje biološke aktivnosti, na primer u studijama ponovne kolonizacije (Coleman, MacFayden, 1966; Degrange *et al*., 1997), enzimskim testovima zemljišta (Okazaki *et al*., 1983) i određivanju hemijske degradacije, sorpcije i mobilnosti (Tebbe, Reber, 1991; Sandoli *et al*., 1996; Luo *et al*., 2001).

Dostupan je širok spektar metoda sterilizacije i svaka ima svoj sekundarni efekat na zemljište, posebno na njegova hemijska i fizička svojstva. Idealna metoda sterilizacije je ona koja je dovoljna za postizanje potpune eliminacije organizama bez negativnog uticaja na svojstva zemljišta. Liegel (1986), Wolf i Skipper (1994) i Trevors (1996) analizirali su različite metode sterilizacije, uključujući gama zračenje. Jedan broj ovih studija sugeriše da je gama zračenje veoma efikasna metoda (Ramsay, Bawden, 1983; Stroetmann *et al*., 1994). Gama zračenje može da ima manji uticaj na hemijska i fizička svojstva zemljišta, iako je efikasan biocid. Glavna alternativa gama zračenju je upotreba fumiganata (npr. metil bromid), i dok su efikasni, oni mogu da ostavljaju toksične ostatke za sobom (Eno, Popenoe, 1964). Alternativno, autoklaviranje je široko korišćeno, međutim, ova metoda remeti fizička svojstva zemljišta (Lotrario *et al*., 1995).

Sa povlačenjem metil bromida i drugih fumiganata širom sveta od 2015. godine (Bell, 2000), samo gama zračenje se čini kao praktično rešenje za sterilizaciju velikih količina zemlje. Prisustvo komercijalnih postrojenja za sterilizaciju širom sveta čini ovaj proces dostupnim.

Poslednjih godina tretman zemljišta gama zračenjem se primenjuje u nizu različitih oblasti. Trenutno se sterilizacija zasnovana na gama-zračenju koristi u eksperimentima bioakumulacije i sorpcije (Clegg *et al*., 2014; Kelsey *et al*., 2010; IPE, 2011), jer se generalno smatra da je manje destruktivna u poređenju sa autoklaviranjem ili korišćenjem hemijskih sredstva (McNamara *et al*., 2003).

3. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANjA

3.1. Prikupljanje podataka, merenja i zapažanja

Prikupljanje podataka obuhvata sledeće elemente:

- opšte podatke o slivu;
- informacije o kvalitetu zemljišta;
- informacije o koncentracijama zagađujućih materija u slivu;
- informacije o mogućim izvorima kontaminacije duž toka.

Korišćene su sledeće metode: daljinska detekcija, kartografska identifikacija, modelovanje pripremnih karata, metode procene i merenja, geografski informacioni sistem (GIS) i kartiranje. Istraživanje počinje upotrebom programa SASPlanet, koji se koristi za lociranje Republike Srbije i područja interesovanja pomoću satelitskih snimaka (Josimović, 2003).

Područje istraživanja je prikazano na referenciranom satelitskom snimku, koji se zatim može koristiti u GIS programima (Joksić, Bajat, 2004).

U GIS program ArcMap se unose sačuvani referencirani satelitski snimci. Koordinatni sistem je određen pre dodavanja satelitskih referentnih snimaka u softver (UTM, WGS 1984, zona N34). Tada počinje rad sa snimcima i formiranje karata. Nakon toga, aplikacija ArcCatalog se koristi za pravljenje shapefile-ova. Za svaku lokaciju ili objekat se kreira poseban shapefile. Shapefile-ovi se čuvaju u folderima, svaki sa posebnim imenom. Naziv, tip, eksploatacija, oblast, obim i koordinate X i Y su atributi fajlova oblika, koji imaju karakter poligona. Koordinatni sistem shapefile-ova identičan je koordinatnom sistemu (UTM, WGS 1984, zona N34).

Nakon kreiranja shapefile-ova, oni se ponovo ubacuju u ArcMap, gde počinje crtanje shapefile-ova, meri se površina željene oblasti, izračunava se njena veličina, a željeni podaci se unose i snimaju. Sve prikupljene informacije pomoći će da se dobije prostorni prikaz istraživanog područja (Vakanjac, Ristić Vakanjac, 2015).

3.2. Izvori prostornih podataka

Korišćene su različite metode za prikupljanje prostornih podataka u zavisnosti od vrste i kvaliteta podataka koji su potrebni, odnosno od toga koji podaci trenutno postoje:

- skenirane su analogne karte za dobijanje rasterskih podataka;
- digitalizovane su analogne karte za dobijanje vektorskih podataka;
- pretvarani su digitalni podaci iz jednog formata u drugi;
- prikupljani su novi podaci putem kartiranja.

Pošto različite organizacije koriste različite formate podataka, pripremljen je prenos podataka kako bi GIS baza pravilno funkcionisala. U ove svrhe korišćen je interfejs za eksportovanje prostornih podataka iz jednog sistema u drugi. Pošto ne postoji standardizacija formata, ne postoji ni način da se podaci prenesu, a da se neki ne izgube (Tomić, 2012).

Korišćeni parametri koji karakterišu kvalitet podataka su:

- stepen usklađenosti podataka u bazi podataka sa postojećim stanjem na terenu;
- rasterski podaci (tačnost se odnosi na količinu detalja koji se mogu videti, dok se rezolucija odnosi na količinu detalja koji se može posmatrati; kako nijedan merni uređaj nije beskonačno precizan i kako se podaci generalizuju da bi konstruisali baze podataka, rezolucija je bila ograničena).

Cela zona koja se obrađuje, kao i svi objekti i njihova svojstva i vrednosti su pokriveni. Tačnost podataka je proverena korišćenjem GIS softvera. Ostali elementi kvaliteta su brzo procenjeni na manjem uzorku podataka. Takođe su instalirani programi koji rade u pozadini i proveravaju procese GIS softvera (Vakanjac *et al*., 2016).

3.2.1. Prostorni podaci

Korišćeni su podaci iz različitih izvora koji su odgovarali različitim referentnim sistemima i projekcijama. Neki podaci su bili projektovani u UTM, dok su drugi bili u Gauss-Krieger projekciji ili referentno fiksirani na više meridijana unutar iste projekcije. Važno je prevesti

ili konvertovati podatke u lokalni koordinatni sistem pre nego što se unesu u GIS okruženje (Vakanjac, Čoporda Mastilović, 2010).

Korišćene su dve vrste prostornih podataka: vektorski i rasterski podaci. Glavni korišćeni grafički elementi u vektorskim podacima su tačke, linije i površine sa svojim koordinatama. Za potrebe izrade karata korišćen je referentni sistem i projekcija (UTM,WGS84,34N).

3.2.1.1. Vektorski podaci

U GIS-u je korišćena topološka struktura podataka za formiranje vektorskih podataka. Topologija grafičkog elementa opisuje njegov odnos prema drugim grafičkim elementima u njegovoj neposrednoj blizini. Da bi otkrili najbolji put između dve tačke, korišćene su topološke informacije. Vektorski podaci zauzimaju malo prostora za skladištenje dok nam omogućavaju kreiranje tačnih i zanimljivih grafičkih prikaza. Tačke, linije i poligoni su tri tipa prikaza grafičkih informacija koje su korišćene u ovo radu. Za potrebe rada su korišćene tačke za predstavljanje lokacija uzorkovanja, linije za predstavljanje rečnog sliva, puteva i pruga i poligoni za predstavljanje urbanih i industrijskih površina.

3.2.1.2. Rasterski podaci

Rasterski podaci su korišćeni u GIS-u za kreiranje rasterskih karata, ortofoto i satelitskih snimaka. Sastoje se od redova i kolona ćelija (piksela). Svaka ćelija ima svoje X-Y koordinate i vrednost. Za manje veličine korišćene su rasterske karte, posebno u oblasti proučavanja i planiranja izlaska na teren i izrade preseka stanja životne sredne na izabranim lokacijama u slivu. Složeni analitički procesi su olakšani rasterskim podacima (npr. prostorne, geološke i hidrološke analize). Štampana verzija ima lošiji izgled nego kada se koriste vektorski podaci.

3.2.2. Rasterske karte

Rasterske karte su kreirane skeniranjem i georeferenciranjem analognih karata ili transformacijom vektorskih podataka. Korišćene su prilikom prikaza samo jednog tipa klasifikacije, poput predstavljanja prostora od interesa, hidrografske mreže, tipa zemljišta, teksture zemljišta, namene zemljišta, tipa vodene mase, klase puta itd.

3.2.2.1. Georeferenciranje

Položaj geopodataka na zemlji opisan je referentnim sistemom. Geodetski podaci (referentni elipsoid i lokalna fiksacija na njemu), koordinatni sistem i projekcija su deo sistema. Skeniranje ili raster je korišćen za pretvaranje analognih planova i karata u digitalni format. Prevod iz rastera u željeni koordinatni sistem se koristi za georeferenciranje skeniranih planova i karata. Softver za georeferenciranje je korišćen za georeferenciranje mesta čije su koordinate poznate u željenom koordinatnom sistemu. Planovi i karte su korišćeni u GIS svrhe, nakon što su georeferencirani.

3.2.2.2. Ortofoto

Fotografije iz vazduha moraju biti ispravljene, jer nemaju ujednačenu razmeru. Diferencijalna rektifikacija je metoda koja obezbeđuje odličan geometrijski kvalitet. Kao rezultat, slike smo projektovali u delovima na X-Y ravni pomoću ove metode (ortoprojekcija). Ortofoto nam je olakšao vizuelnu orijentaciju, a istovremeno pružio dodatne topografske podatke.

3.2.2.3. Digitalni model terena

Sa trodimenzionalnim tačkama, digitalni modeli terena prikazuju površinu terena (X, Y, Z koordinate). Trodimenzionalni prikaz je korišćen pomoću softvera za vizuelizaciju. Osnovni prostorni podaci u GIS-u su podaci koje obezbeđuje javni geodetski organ i propisani su zakonom. Republički geodetski zavod je nadležna institucija u Republici Srbiji (RGZ). Zvanične podatke koje daje RGZ treba koristiti za planiranje i tematske podatke u GIS-u (Josimović, 2008).

3.3. Uzorkovanje

Prilikom uzorkovanja zemljišta vođen je terenski dnevnik sa unosom svih relevantnih informacija vezanih za svaku uzorkovanu tačku, kao i za vremenske prilike u periodu kada je uzorkovanje vršeno. Prilikom uzorkovanja na svakoj lokaciji je odmah pravljena i interaktivna baza podataka sa unosom relevantnih podataka i fotografija. Svaka tačka uzorkovanja dobija svoje ime, koordinate uzorkovanja, vreme uzorkovanja i set fotografija. Uzorkovanje zemljišta obavljeno je u slivu reke Kolubare, u periodu avgust–septembar 2020. godine, sa srednjom dnevnom temperaturom od 20.2°C, prosečnom dnevnom svetlošću 11.75 h, prosečnom vlažnošću vazduha od 69% i prosečnom količinom padavina od 32 mm. Uzorci su prikupljeni na 48 tačaka: prva na izvorištu reke Kolubare i poslednja na njenom ušću u reku Savu, kao i na 46 tačaka duž sliva. Uzorci zemljišta su sakupljani na dubinama od 20 cm i 50 cm (slike 16 i 17). Masa uzoraka bila je 2 kg. Nakon uzorkovanja, uzorci zemljišta su prosejani kroz mrežu prečnika 2 mm (Page *et al*., 2009), i čuvani na suvom i tamnom mestu.



Slika 16.*Uzorkovanje sa Tačke 1 na dubini od 20 cm (lična arhiva)*



Slika 17. *Uzorkovanje sa Tačke 5 na dubini od 50 cm (lična arhiva)*

Opis tačaka uzorkovanja (slika 18):

- Tačka uzorkovanja 1 – Terenski naziv Kolubara 39 (UTM koordinate: E 409870 m, N 4901541 m, nadmorska visina 193 m) – uzorak je uzet na ušću dve sastavne reke: Obnice i Jablanice, koje čine reku Kolubaru u blizini centra grada Valjeva.
- Tačka uzorkovanja 2 – Terenski naziv Kolubara 38 (UTM koordinate: E 411267 m, N 4902313 m, nadmorska visina 185 m) – uzorak je uzet na uređenom delu rečne terase Kolubare u centru Valjeva.
- Tačka uzorkovanja 3 – Terenski naziv Kolubara 37 (E 413176 m, N 4902302 m, nadmorska visina 172 m) – uzorak je uzet na lokaciji urbanog dela grada Valjeva.
- Tačka uzorkovanja 4 – Terenski naziv Kolubara 36 (E 414809 m, N 4902869 m, nadmorska visina 164 m) – uzorak je uzet na lokaciji ušća reke Ljubostinje u reku Kolubaru, nizvodno od lokalne deponije u centru Valjeva.
- Tačka uzorkovanja 5 – Terenski naziv Kolubara 35.3 (E 415957 m, N 4903106 m, nadmorska visina 161 m) – uzorak je uzet na lokaciji Beloševac, nizvodno od urbanog dela Valjeva i uređenog korita reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 6 – Terenski naziv Kolubara 35.2 (E 417231 m, N 4903158 m, nadmorska visina 156 m) – uzorak je uzet na lokaciji Šušeoka, u industrijskom predgrađu Valjeva.

- Tačka uzorkovanja 7 – Terenski naziv Kolubara 35.1 (E 419073 m, N 4903407 m, nadmorska visina 150 m) – uzorak je uzet u blizini ušća reke Banje u reku Kolubaru.
- Tačka uzorkovanja 8 – Terenski naziv Kolubara 35 (E 420402 m, N 4904172 m, nadmorska visina 145 m) – uzorak je uzet na lokaciji Šušeoka, kod srušenog mosta na reci Kolubari.
- Tačka uzorkovanja 9 – Terenski naziv Kolubara 34 (E 422392 m, N 4904432 m, nadmorska visina 139 m) – uzorak je uzet na lokaciji Divci, u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 10 – Terenski naziv Kolubara 33 (E 423969 m, N 4904412 m, nadmorska visina 136 m) – uzorak je uzet na lokaciji Radobić, u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 11 – Terenski naziv Kolubara 32 (E 425744 m, N 4906085 m, nadmorska visina 131 m) - uzorak je uzet na lokaciji Veselinovac, u ruralnom delu sliva reke Kolubare, nizvodno od ušća Lepenice i Ribnice u reku Kolubaru.
- Tačka uzorkovanja 12 – Terenski naziv Kolubara 31 (E 425844 m, N 4906627 m, nadmorska visina 129 m) - uzorak je uzet na lokaciji Veselinovac, u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 13 – Terenski naziv Kolubara 30 (E 426017 m, N 4908709 m, nadmorska visina 129 m) – uzorak je uzet na lokaciji Loznica, u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 14 – Terenski naziv Kolubara 29 (E 427448 m, N 4909905 m, nadmorska visina 123 m) – uzorak je uzet na lokaciji Slovac, kod mosta na reci Kolubari, ušće reke Toplice u Kolubaru.
- Tačka uzorkovanja 15 – Terenski naziv Kolubara 28.2 (E 428691 m, N 4910728 m, nadmorska visina 119 m) – uzorak je uzet na lokaciji Nepričava, u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 16 – Terenski naziv Kolubara 28.1 (E 429063 m, N 4910222 m, nadmorska visina 117 m) – uzorak je uzet na lokaciji Nepričava, u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 17 – Terenski naziv Kolubara 28 (E 429973 m, N 4910814 m, nadmorska visina 114 m) – uzorak je uzet na lokaciji Nepričava, u ruralnom delu sliva gde se može preći reke Kolubare.

- Tačka uzorkovanja 18 – Terenski naziv Kolubara 27 (E 430811 m, N 4911380 m, nadmorska visina 112 m) – uzorak je uzet na lokaciji Lajkovac, u urbanom delu sliva gde je u toku uređivanje toka reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 19 – Terenski naziv Kolubara 26 (E 432450 m, N 4911657 m, nadmorska visina 110 m) – uzorak je uzet na lokaciji Lajkovac, kod mosta na reci Kolubari, kraj dela reke Kolubare uređenog kao kupalište i vikend naselje.
- Tačka uzorkovanja 20 – Terenski naziv Kolubara 25 (E 433753 m, N 4912103 m, nadmorska visina 106 m) – uzorak je uzet na lokaciji Lajkovac, kod mosta na reci Kolubari, na početku dela reke Kolubare uređenog kao kupalište i vikend naselje.
- Tačka uzorkovanja 21 – Terenski naziv Kolubara 24.1 (E 434611 m, N 4911729 m, nadmorska visina 112 m) – uzorak je uzet na lokaciji Ćelije, kod ušća reke Ljig u reku Kolubaru.
- Tačka uzorkovanja 22 – Terenski naziv Kolubara 24 (E 436200 m, N 4913471 m, nadmorska visina 102 m) – uzorak je uzet na lokaciji Petka, predgrađu Lazarevca.
- Tačka uzorkovanja 23 – Terenski naziv Kolubara 23 (E 436983 m, N 4914129 m, nadmorska visina 100 m) – uzorak je uzet na lokaciji Jabučje, predgrađu Lazarevca.
- Tačka uzorkovanja 24 – Terenski naziv Kolubara 22 (E 436902 m, N 4915180 m, nadmorska visina 100 m) – uzorak je uzet na lokaciji Jabučje, predgrađu Lazarevca.
- Tačka uzorkovanja 25 – Terenski naziv Kolubara 21 (E 437618 m, N 4915943 m, nadmorska visina 98 m) – uzorak je uzet na lokaciji Jabučje, predgrađu Lazarevca.
- Tačka uzorkovanja 26 – Terenski naziv Kolubara 20.1 (E 437726 m, N 4916923 m, nadmorska visina 98 m) – uzorak je uzet na lokaciji Jabučje, predgrađu Lazarevca.
- Tačka uzorkovanja 27 – Terenski naziv Kolubara 20 (E 438042 m, N 4918379 m, nadmorska visina 95 m) – uzorak je uzet na lokaciji Skobalj, predgrađu Lazarevca, na poziciji pre prolaska Kolubare kroz uređen deo kopova uglja Kolubara.
- Tačka uzorkovanja 28 – Terenski naziv Lukavica 4 (E 440828 m, N 4914415 m, nadmorska visina 99 m) – uzorak je uzet na lokaciji nizvodno od naselja Lazarevac. Kroz naselje Lazarevac protiče reka Lukavica. Primetno je zagađenje (biološki otpad, zamućenost vode).
- Tačka uzorkovanja 29 – Terenski naziv Kolubara 19 (E 439755 m, N 4919475 m, nadmorska visina 94 m) – uzorak je uzet nedaleko od ušća reke Lukavice na ušću reke Peštan u Kolubaru. Reka Peštan i reka Kolubara su u proteklom periodu na ovim prostorima izmeštene iz svojih prirodnih tokova zbog potrebe eksploatacije lignita.

- Tačka uzorkovanja 30 – Terenski naziv Kolubara 18 (E 439973 m, N 4920354 m, nadmorska visina 94 m) – uzorak je uzet na lokaciji Vreoci, predgrađu Lazarevca.
- Tačka uzorkovanja 31 – Terenski naziv Kolubara 17 (E 441544 m, N 4925803 m, nadmorska visina 86 m) – uzorak je uzet na lokaciji Veliki Crljeni, predgrađu Lazarevca, kod mosta na reci Kolubari.
- Tačka uzorkovanja 32 – Terenski naziv Kolubara 16 (E 441087 m, N 4927716 m, nadmorska visina 86 m) – uzorak je uzet na lokaciji nizvodno od Rudarskog basena Kolubara (otvoreni kopovi na kojima se eksploatiše lignit).
- Tačka uzorkovanja 33 – Terenski naziv Kolubara 15 (E 440513 m, N 4928554 m, nadmorska visina 86 m) – uzorak je uzet na lokaciji gde se reka Beljanica uliva u Kolubaru. Nekoliko kilometara uzvodno, nalazi se Termoelektrana Kolubara.
- Tačka uzorkovanja 34 – Terenski naziv Kolubara 14 (E 439805 m, N 4929213 m, nadmorska visina 83 m) – uzorak je uzet na lokaciji Stepojevac, u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 35 – Terenski naziv Kolubara 13 (E 439767 m, N 4930692 m, nadmorska visina 83 m) – uzorak je uzet na lokaciji Poljane-Konatice, kod mosta u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 36 – Terenski naziv Kolubara 12 (E 439091 m, N 4932009 m, nadmorska visina 84 m) – uzorak je uzet na lokaciji Poljane, u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 37 – Terenski naziv Kolubara 11.1 (E 438299 m, N 4932954 m, nadmorska visina 81 m) – uzorak je uzet na lokaciji Liso Polje, u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 38 – Terenski naziv Kolubara 11 (E 438318 m, N 4934179 m, nadmorska visina 81 m) – uzorak je uzet na lokaciji Liso Polje, u ruralnom delu sliva reke Kolubare. Na lokaciji se nalaze čeka za lov na patke i mesto za ribolov.
- Tačka uzorkovanja 39 – Terenski naziv Kolubara 10 (E 437638 m, N 4935240 m, nadmorska visina 77 m) – uzorak je uzet na lokaciji Poljane, kod mosta u ruralnom delu sliva reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 40 – Terenski naziv Kolubara 9 (E 437166 m, N 4936662 m, nadmorska visina 76 m) – uzorak je uzet na lokaciji Draževac, u ruralnom delu sliva reke Kolubare, nedaleko od ušća Tamnave u Kolubaru.

- Tačka uzorkovanja 41 – Terenski naziv Kolubara 8 (E 437052 m, N 4937122 m, nadmorska visina 76 m) - uzorak je uzet dalje od same obale zbog neprohodnog terena i otežanog prilaza obali Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 42 – Terenski naziv Kolubara 7 (E 437770 m, N 4938992 m, nadmorska visina 80 m) - uzorak je uzet u ruralnom delu Obrenovca.
- Tačka uzorkovanja 43 – Terenski naziv Kolubara 6 (E 436974 m, N 4939775 m, nadmorska visina 76 m) – uzorak je uzet nedaleko od zaštićenog prirodnog dobra Jozića kolibe, na obali reke Kolubare.
- Tačka uzorkovanja 44 – Terenski naziv Kolubara 5 (E 436965 m, N 4941019 m, nadmorska visina 77 m) – uzorak je uzet na obali reke Kolubare, prekoputa deponije Obrenovac, Grebača.
- Tačka uzorkovanja 45 – Terenski naziv Kolubara 4 (E 437258 m, N 4943323 m, nadmorska visina 74 m) - uzorak je uzet na Belom Polju, gde magistralni put Miloš Veliki preseca reku Kolubaru, nekoliko kilometara severno od naselja Obrenovac.
- Tačka uzorkovanja 46 – Terenski naziv Kolubara 3 (E 437823 m, N 4944668 m, nadmorska visina 74 m) - uzorak je uzet na obali reke Kolubare, u blizini mosta na Obrenovačkom putu.
- Tačka uzorkovanja 47 – Terenski naziv Kolubara 2 (E 439862 m, N 4945621 m, nadmorska visina 72 m) – uzorak je uzet na obali reke Kolubare u Bariču, kod mosta na auto-putu Miloš Veliki.
- Tačka uzorkovanja 48 – Terenski naziv Kolubara 1 (E 440398 m, N 4945644 m, nadmorska visina 70 m) – uzorak je uzet na ušću reke Kolubare u reku Savu, gde postoje industrijska zona i mnoge fabrike (Eko-Dunav, Mei Ta Europe, MTE Fabrika automobilskih delova).

Karta prikaza ključnih tačaka uzorkovanja duž sliva reke Kolubare data je na Slici 18.



Slika 18. *Prostorni raspored tačaka uzorkovanja u slivu reke Kolubare (Substrate map: software SAS.Planet.Nightly.201020.10106, Basemap: Bing Maps-satellite zoom 15).*

3.4. Ozračivanje uzoraka gama zracima

Ozračivanje uzoraka zemljišta obavljeno je u Radijacionoj jedinici Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, u Beogradu. Radijaciona jedinica je izgrađena u okviru realizacije projekta Programa Ujedinjenih nacija za razvoj (Projekat UNDP YUG/74/025) i Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) i puštena u rad 1978. godine. Radijaciono postrojenje projektovala je firma ”Commission Energue Atomique and Conservatome”, iz Francuske, za aktivnosti izvora ^{60}Co (veštački radioaktivni izotop kobalta) do 1 mCi. Namenjena je prvenstveno za industrijsku sterilizaciju medicinske opreme za jednokratnu upotrebu. Objekat ove vrste je jedinstven u Srbiji, i kao nezaobilazni deo privrede objedinjuje proces proizvodnje i obezbeđuje potpunu sterilizaciju pre distribucije.

Ozračivanje se obavlja gama zracima ^{60}Co. Izvor zračenja je pločast. U bezbednom položaju, on je na dnu dubokog bazena sa vodom. U radnom položaju, izvor je iznad nivoa poda ćelije za ozračivanje. Ozračivanje proizvoda se vrši u ciklusima od po 328 kutija, koje sistem konvejera i transportnih traka može automatski da transportuje i homogeno ozračuje. Kutije se ubacuju u 82 kabine (po 4, vertikalno raspoređene), koje u ćeliji za ozračivanje zauzmu tri reda sa svake strane ravni izvora, koji se iz bazena podiže pomoću mehanizma za dizanje izvora u radni položaj za ozračivanje. Kabine napunjene kutijama sa proizvodima, mehanizmom za vođenje transportuju konvejer iz magacinskog dela za nesterilnu robu lavirintima do ćelije za ozračivanje. Kutije se ozračuju dok prolaze oko izvora. Kretanje kabina sa kutijama kroz ćeliju je automatizovano, tako da je vreme koje kabina provede stojeći na jednom mestu tačno određeno. Kada kabine izađu iz ćelije za ozračivanje, vrši se automatska zamena nivoa kutija. Okretanjem i promenom nivoa kutija posle prolaska kroz ćeliju za ozračivanje postiže se homogeno ozračivanje kutija, jer pri svakom od 4 prolaza ozrače se obe strane kutije. Po završetku procesa ozračivanja, konvejer se prazni u magacinskom delu za sterilnu robu. Rad jedinice za ozračivanje se kontroliše i njom se upravlja sa kontrolnog pulta.

Svi uzorci zemljišta prikupljeni duž sliva reke Kolubare su zračeni različitim dozama gama zračenja: 1 kGy, 3 kGy, 5 kGy i 10 kGy, sa različitim brzinama doze: 300 Gy/h, 1 Gy/h i 10 Gy/h. Za dozimetrijsku kontrolu apsorbovane doze zračenja korišćen je dozimetar etanol-monohlorobenzen (ECB) (ISO/ASTM 51538, 2009; Kovács *et al*., 1987). Merna oprema je instrument oscilotitrator tipa OK-302/2, firme Radelkis (Budimpešta, Mađarska). Pošto

tačnost merenja osciloskopom (Kovács *et al*., 1995) u velikoj meri zavisi od temperature merenja (Vujčić *et al*., 2018), svi dozimetri su termostatirani na 25°C. Merenja su vršena na konstantnoj temperaturi. Sledljivost sa primarnim standardom je postignuta preko transfer dozimetara poslatih u Referentnu laboratoriju za visoke doze „Riso High Dose Referente Laboratory“, u Danskoj.

3.4.1. Metod kalibracije i utvrđivanja homogenosti raspodele doze apsorbovanog zračenja ozračenog materijala

Metoda za određivanje najniže i maksimalne oblasti apsorbovane doze zračenja, kao i uniformnosti doze, poznata je kao mapiranje doze. Mapiranje doze je potrebno izvršiti za svaku promenu procedure rada, pri punjenju novog izvora ili pri početku upotrebe nove serije dozimetara u komercijalnom postrojenju za zračenje koje radi u šaržnom režimu. Zbog dizajna postrojenja za ozračivanje i jakog prodora gama zračenja, prosečna doza zračenja u svakoj kutiji proizvoda može se ravnomerno rasporediti. Raspodela doziranja unutar proizvoda, s druge strane, je složena funkcija gustine proizvoda, položaja i oblika izvora zračenja i dizajna iradijatora. Manji uzorci se mogu ozračiti u posebnom kontejneru koji se nalazi blizu izvora zračenja, pored ozračivanja u šaržnom modu, koje je sporije. Gustina i debljina sloja uzorka imaju važan uticaj na distribuciju doze u ovom scenariju.

Ovo ispitivanje predstavlja sveobuhvatno mapiranje doza u uzorcima zemljišta ozračenim u industrijskom Co-60 iradijatoru. Izvršeno je mapiranje doze u redovnom šaržnom režimu i mapiranje doze u kontejneru za brzo ozračivanje.

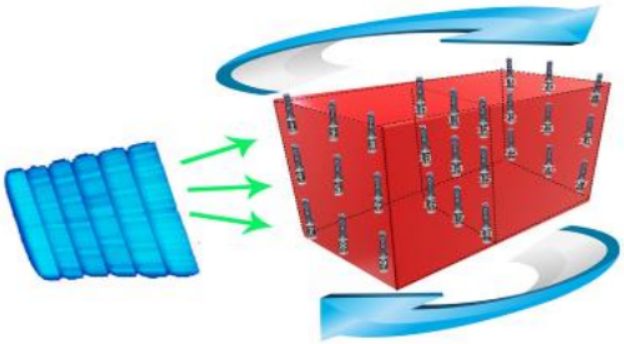
Tretman izlaganja proizvoda dejstvu jonizujućeg zračenja se najčešće koristi za sterilizaciju medicinskih uređaja, očuvanje hrane i proizvodnju savremenih polimernih materijala. U Srbiji postoji samo jedno postrojenje za industrijski tretman jonizujućim zračenjem. Radijaciona jedinica, koja je deo Laboratorije za radijacionu hemiju i fiziku ”Gama” Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, pruža usluge ozračivanja različitim korisnicima iz različitih delatnosti (proizvodnja medicinske opreme, lekova, konzervacija hrane, očuvanje kulturnog nasleđa). Ima maksimalni godišnji kapacitet od 25000 m^3 ozračene robe. Predmeti se zrače u ciklusima od 328 kutija sledećih dimenzija: širine 46 cm, dužine 46 cm i visine 43 cm. Maksimalna težina kutije je 20 kg. Kutije se automatski transportuju u komoru za zračenje.

Svaka kutija je postavljena pored izvora zračenja na određeno vreme. Pored toga, obe strane kutije su ravnomerno ozračene u mnogim prolazima u blizini izvora zračenja. Svaka kutija u ciklusu dobija identičnu dozu zračenja zahvaljujući automatizovanoj metodi (Ranković *et al*., 2020). Međutim, pošto gama zraci ne zrače proizvod ravnomerno na površini i unutar kutije, raspodela doze zračenja unutar kutije nije ravnomerna (Mortuza *et al*., 2018; Moradi *et al*., 2017). Kao rezultat toga, određivanje razlike između distribucije doze gama zračenja unutar proizvoda je kritično.

U svakodnevnom radu radijacionog objekta, često je potrebno analizirati ponašanje nekih uzoraka kao odgovor na tretman gama zračenjem. Ovo radimo tako što uzorke stavljamo u posebno napravljen kontejner koji je postavljen blizu izvora zračenja, udaljen otprilike 35 cm. U kontejneru, brzina je oko 10 $kGy \cdot h^{-1}$. Količina izlaganja zračenju je obrnuto proporcionalna kvadratu udaljenosti od izvora. Na raspodelu doze unutar uzoraka i dalje utiče gustina proizvoda. Kao rezultat toga, potrebno je izvršiti i mapiranje doziranja i u kontejneru za brzo zračenje uzoraka.

3.4.2 Metodologija ozračenja uzoraka u šaržnom režimu

Gama zračenje je obavljeno u Radijacionoj jedinici Instituta za nuklearne nauke „Vinča“. Da bi se uspostavilo mapiranje doze u šaržnom režimu, ampule koje sadrže ECB bile su pozicionirane u tri ravni kutije: prednja ravan, srednja ravan i zadnja ravan, u odnosu na poziciju izvora (slika 19). Dizajn uređaja za zračenje obezbeđuje da se zračenje ravnomerno raspoređuje na sve strane kutije. Nakon prvog dela procesa, kutije se automatski rotiraju.



Slika 19. *Prikaz rasporeda dozimetara u kutiji prilikom mapiranja doze (lična arhiva)*

Za određivanje mapiranja doze u kontejneru za brzo ozračivanje, postavljeni su ECB dozimetri napred, u sredini i iza uzorka. Za preciznije merenje, na svaku ravan merenja je postavljeno po pet dozimetara (slika 20).



Slika 20. *Raspored dozimetara za merenje distribucije doze u kontejneru (lična arhiva)*

Da bi se utvrdila homogenost apsorbovane doze unutar kutije, određivano je mapiranje doze unutar kutija sa proizvodima različite gustine. Korišćeno je petnaest dozimetara za određivanje mapiranja doze. Pet dozimetara je prvobitno postavljeno u uzorak blizu izvora (front). Druga serija dozimetara postavljena je u sredinu uzorka. Treća serija dozimetara postavljena je u uzorak nasuprot izvora (pozadi). I u ovom slučaju poređena je homogenost raspodele apsorbovane doze u zemlji sa homogenošću u materijalima manje gustine, u tkanini i plastici.

3.5. Mikrobiološka analiza

U akreditovanoj mikrobiološkoj laboratoriji ispitivana je početna kontaminacija i ukupan broj mikroorganizama, plesni i bakterija, u uzorkovanom zemljištu pre ozračivanja i posle gama zračenja različitim dozama zračenja. Metoda korišćena za određivanje ovih parametara je Ph. Eur. 7.0 (2.6.12. – Mikrobiološki pregled nesterilnih proizvoda (ukupni broj živih aerobnih

ćelija) i 2.6.13. – Mikrobiološki pregled nesterilnih proizvoda (test na određene mikroorganizme) (Evropska direkcija za kvalitet lekova i HealthCare, 2011).

3.5.1. Određivanje prisustva plesni

Određivanje prisustva plesni je obavljeno nanošenjem ispitivanog rastvorenog uzorka na Sabouraud dekstrozni agar. Ploče su inkubirane na 25°C tokom 5-7 dana. Za kvalitativno ispitivanje, 10 ml pripremljenog uzorka je dodato u 100 ml Casein Soyabean Digest agar.

3.5.2. Određivanje prisustva *E. coli*

Za određivanje prisustva *E. coli* korišćeno je 100 ml bujonskog medijuma A. Rastvor je homogenizovan i inkubiran na 35-37°C tokom 18-48 h. Posle mućkanja, dodat je bujon medijum G i inkubiran na 43-45°C tokom 18-24 h. Subkultura na pločama agar medijuma H i inkubiran je na 35-37°C tokom 18-72 h. Rast crvenih, nemukoidnih kolonija gram-negativnih štapića ukazuje na prisustvo *E. coli*. To je potvrđeno odgovarajućim biohemijskim testovima, kao što je proizvodnja indola.

3.5.3. Određivanje prisustva *S. aureus*

Za određivanje prisustva *S. aureus* korišćeno je 100 ml bujonskog medijuma A. Rastvor je homogenizovan i inkubiran na 35-37°C tokom 18-48 h. Subkultura na ploči sa agar medijumom O i inkubacija na 35-37°C tokom 18-72 h. Crne kolonije gram-pozitivnih koka, okružene čistom zonom, ukazuju na prisustvo *S. aureus*. Na potvrdu mogu uticati odgovarajući biohemijski testovi, kao što su test koagulaze i test dezoksiribonukleaze.

3.5.4. Određivanje prisustva *P. aeruginosa*

Za određivanje prisustva *P. aeruginosa* korišćeno je 100 ml bujonske podloge A. Rastvor je homogenizovan i inkubiran na 35-37°C tokom 18-48 h. Subkultura na ploči sa agar medijumom N i inkubirana je na 35-37°C tokom 18-72 h. Ako se ne otkrije rast mikroorganizama, proizvod prolazi test. Ako dođe do rasta gram-negativnih štapića, preneti deo materijala morfološki različitih, izolovanih kolonija u bujon medijum A i inkubirati ga na 41-43°C tokom 18-24 h. Proizvod prolazi test ako ne dođe do rasta na 41-43°C.

3.5.5. Određivanje koncentracije teških metala u zemljištu

Za određivanje prisustva kadmijuma, olova, nikla i bakra (Cd, Pb, Ni i Cu) u zemljištu, uzorci zemljišta su rastvoreni u HF, $HClO_4$ i HCl. Nakon rastvaranja, sadržaj Ni i Cu je određen korišćenjem AAS (PerkinElmer PinAAcle 900T). Za kvantitativne analize arsena, žive i selena (As, Hg i Se), uzorci zemljišta su rastvoreni u HNO_3, $HClO_4$, H_2SO_4 i HCl. Nakon rastvaranja, sadržaj As, Hg i Se je određen korišćenjem Mercury Hydride System AAS (PerkinElmer PinAAcle 900T). Primenjena metoda je izabrana prema dosadašnjim istraživanjima određivanja ukupne koncentracije metala u uzorku (Hu, Qi, 2014; Liu, Sun, 2013; Luo, 2012).

Za određivanje kadmijuma, kobalta, olova, nikla, hroma i bakra (Cd, Co, Pb, Ni, Cr i Cu), 2 g suvog uzorka pomešano je sa 15 ml HF i 5 ml $HClO_4$ i zagrejano na 150°C. Suvi ostatak je rastvoren u 10 ml HCl (1:1) i ohlađen na sobnu temperaturu.

Za određivanje As, Hg i Se, 1 g suvog uzorka je pomešan sa 5 ml HNO_3, uz lagano zagrevanje. Nakon toga, proizvod digestije je ohlađen na sobnu temperaturu, dodato je 0,5 ml $HClO_4$ i 2 ml H_2SO_4 i rastvaranje je nastavljeno do pojave belih para. Rastvor je ponovo ohlađen do sobne temperature i dodato je 10 ml 6M HCl. Posle hlađenja, rastvor je prebačen u volumetrijski balon od 25 ml sa destilovanom vodom.

3.6. Sinteza etanol-monohlorobenzena

Pri određivanju i kontroli apsorbovane doze gama zračenja, rastvor dozimetra etanol-monohlorobenzen (ECB) se koristi u velikoj meri. Uobičajeni sastav rastvora ECB sadrži 24 zapreminska procenta monohlorobenzena, 4 zapreminska procenta destilovane vode, 0.04 zapreminska procenta acetona, 0.04 zapreminska procenta benzena i 71.92 zapreminska procenta etanola (Kovács, Miller, 1986).

Rastvor je napravljen od sastojaka visoke čistoće i trostruko destilovane vode. Sve posude koje se koriste za pravljenje ECB dozimetara se ispiraju destilovanom vodom (ECS, 2017). Proizvedeni rastvor se stavlja u ampule od 2 ml, koje se zatim zatvaraju plamenom i kalibrišu u Referentnoj laboratoriji za visoke doze „Riso High Dose Referente Laboratory“, u Danskoj.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

4.1. Određivanje ukupnog broja mikroorganizama u zemljištu na različitim tačkama duž toka reke Kolubare

U tabeli 3 prikazan je ukupan broj mikroorganizama u zemljištu duž sliva reke Kolubare, uzorkovanom na 48 pozicija, na dubini od 20 cm i 50 cm. Takođe, dato je rastojanje svake pozicije uzorkovanja od tačke formiranja reke Kolubara.

Tabela 3. Ukupan broj mikroorganizama u zemljištu duž sliva reke Kolubare

Pozicija uzorka	Naziv uzorka	UTM E	UTM N	Udaljenost od tačke formiranja reke Kolubare	Broj mikroorganizama na dubini od 20 cm	Broj mikroorganizama na dubini od 50 cm
redni broj		m	m	km	10^4cfu/g	10^4cfu/g
1	Kolubara 39	409870	4901541	0	0.51	1.04
2	Kolubara 38	411267	4902313	2.08	1.33	1.03
3	Kolubara 37	413176	4902302	4.13	2.30	1.05
4	Kolubara 36	414809	4902869	6.16	1.89	1.16
5	Kolubara 35.3	415957	4903106	7.67	1.45	1.28
6	Kolubara 35.2	417231	4903158	9.38	1.01	1.42
7	Kolubara 35.1	419073	4903407	12.66	0.56	1.54
8	Kolubara 35	420402	4904172	14.41	0.67	1.54
9	Kolubara 34	422392	4904432	17.13	0.78	1.57
10	Kolubara 33	423969	4904412	19.24	0.91	1.61
11	Kolubara 32	425744	4906085	22.82	1.03	1.63
12	Kolubara 31	425844	4906627	23.82	1.10	1.61
13	Kolubara 30	426017	4908709	26.48	1.17	1.56
14	Kolubara 29	427448	4909905	29.62	1.23	1.53
15	Kolubara 28.2	428691	4910728	31.55	1.25	1.56
16	Kolubara 28.1	429063	4910222	33.66	1.30	1.62
17	Kolubara 28	429973	4910814	35.97	1.33	1.67
18	Kolubara 27	430811	4911380	37.4	1.39	1.74
19	Kolubara 26	432450	4911657	39.46	1.46	1.83
20	Kolubara 25	433753	4912103	40.92	1.49	1.85

21	Kolubara 24.1	434611	4911729	43.92	1.54	1.95
22	Kolubara 24	436200	4913471	46.03	1.54	1.97
23	Kolubara 23	436983	4914129	47.16	1.53	1.99
24	Kolubara 22	436902	4915180	48.69	1.53	2.00
25	Kolubara 21	437618	4915943	49.64	1.53	2.01
26	Kolubara 20.1	437726	4916923	52.08	1.51	2.04
27	Kolubara 20	438042	4918379	54.39	1.48	2.05
28	Lukavica 4	440828	4914415	53.21	1.66	7.82
29	Kolubara 19	439755	4919475	57.44	2.49	7.40
30	Kolubara 18	439973	4920354	58.41	2.32	5.95
31	Kolubara 17	441544	4925803	64.21	2.40	5.17
32	Kolubara 16	441087	4927716	67.44	2.51	3.87
33	Kolubara 15	440513	4928554	68.66	2.53	3.62
34	Kolubara 14	439805	4929213	69.39	2.52	3.30
35	Kolubara 13	439767	4930692	72.26	2.52	2.98
36	Kolubara12	439091	4932009	74.36	2.51	2.65
37	Kolubara 11.1	438299	4932954	76	2.51	2.35
38	Kolubara 11	438318	4934179	78.44	2.51	2.02
39	Kolubara 10	437638	4935240	80.86	2.50	1.72
40	Kolubara 9	437166	4936662	83.14	2.49	1.41
41	Kolubara 8	437052	4937122	84.66	2.49	1.09
42	Kolubara 7	437770	4938992	86.3	2.48	1.53
43	Kolubara 6	436974	4939775	88	2.47	1.98
44	Kolubara 5	436965	4941019	90	2.46	2.43
45	Kolubara 4	437258	4943323	92.14	2.46	2.87
46	Kolubara 3	437823	4944668	94	2.40	3.14
47	Kolubara 2	439862	4945621	97	2.32	3.26
48	Kolubara 1	440398	4945644	97.82	2.26	3.46

U tabeli 3 primećujemo trendove povećanja i opadanja broja mikrooganizama u uzorcima zemljišta prikupljenim na dubinama od 20 cm i 50 cm duž sliva reke Kolubare.

Ukrštanjem informacija o brojnom stanju mikroorganizama u uzorcima iz tabele 3 i rasporedu urbanih i ruralnih prostora sa brojem stanovnika iz tabele 1, može se zaključiti sledeće:

Brojnost mikrooganizama na poziciji 1 iznosi (0.51 10^4cfu/g) na dubini od 20 cm i (1.04 10^4cfu/g) na dubini od 50 cm, na ušću reka Obnice i Jablanice, odnosno na mestu formiranja reke Kolubare u gradu Valjevu (pozicija uzorkovanja 1).

Prilikom proticanja reke Kolubare kroz urbanu sredinu grada Valjeva broj mikrooganizama na dubini od 20 cm na poziciji 3 (2.30 10^4cfu/g) raste, nakon čega dolazi do opadanja broja mikro organizama sve do pozicije 7 (0.56 10^4cfu/g), dok na dubini od 50 cm imamo postepen rast, koji na poziciji 3 iznosi (1.05 10^4cfu/g). Valjevo, kao najveća urbana sredina Kolubarskog sliva, sa oko 90 hiljada stanovnika, zahvaljujući postrojenju za tretman otpadnih voda, nema veliki uticaj na povećanje broja mikrooganizama u priobalnom zemljištu Kolubare.

Nakon izlaska iz samog grada, obalu reke Kolubare narednih 6 km (pozicija uzorkovanja 7) prati industrijska zona grada Valjeva, gde broj mikrooganizama opada na dubini od 20 cm i iznosi (0.56 10^4cfu/g), dok na dubini od 50 cm i dalje imamo postepen rast koji na poziciji 7 iznosi (1.54 10^4cfu/g), a treba imati na umu da se kod same pozicije 7 u Kolubaru uliva pritoka – reka Banja. Narednih 5 km (pozicija uzorkovanja 9), duž obale Kolubare, prostire se ruralno područje. U ovim zonama na dubini od 20 cm dolazi do trenda postepenog rasta broja mikrooganizama, dok se na dubini od 50 cm nastavlja trend blagog rasta, sve do pozicije 11, gde broj mikroorganizama iznosi (1.63 10^4cfu/g).

U okolini pozicije uzorkovanja 10, na teritoriji sela Klašnić, Radobić i Divci, nalaze se brojne farme goveda, svinja i pilića, kao i neki industrijski objekti. Takođe, nešto južnije, u ataru sela Tabanović, u Kolubaru se ulivaju pritoke Lepenica i Ribnica, koje protiču kroz urbanu sredinu Mionice, sa oko 14 hiljada stanovnika. Mionica nema postrojenje za preradu otpadnih voda. Na dubinama od 20 cm i 50 cm zapažen je trend rasta broja mikroorganizama, sve do pozicije uzorkovanja 22, gde broj mikrooganizama na dubni od 20 cm iznosi (1.54 10^4cfu/g), dok je na dubioni od 50 cm iznosi (1.97 10^4cfu/g). Kolubara, između pomenutih pozicija uzorkovanja, narednih 27 km protiče kroz atare sela Divci, Radobić, Tabanović, Loznica, Veselinovac, Virovci, Slovac, Ratkovac (reka Toplica se uliva u Kolubaru), Nepričava, Rubribreza, Lajkovac i Ćelije (reka Ljig se uliva u Kolubaru). U blizini korita reke Kolubare, u ovom potezu, gradi se novi brzi put od Lajkovca, tj. auto-put Miloš Veliki (do Divaca). Pored gradnje ovog brzog puta i pomenutog auto-puta, u neposrednoj blizini korita Kolubare prolaze i pruga Beograd–Bar i Ibarska magistrala. Veća urbana mesta na ovom potezu su

Mionica, koja je 5 km udaljena od Kolubare (kroz koju protiču Lepenica i Ribnica, do ulivanja u Kolubaru), Banja Vrujci, 15 km udaljena od Kolubare (kroz koju protiče reka Toplica), Lajkovac, sa oko 15 hiljada stanovnika i bez postrojenja za preradu otpadnih voda (kroz koji protiče sama Kolubara) i Ljig, dvadesetak km udaljen od Kolubare. Reka Ljig, kao pritoka Kolubare, prolazi kroz istoimenu varoš koja ima oko 12 hiljada stanovnika. Ljig nema postrojenje za preradu otpadnih voda.

Od pozicije uzorkovanja 23 do pozicije uzorkovanja 27, na dubini od 20 cm dolazi do postepenog smanjenja broja mikroorganizama koji na poziciji 27 iznosi (1.48 10^4cfu/g), dok na dubini od 50 cm se i dalje nastavlja postepen rast i iznosi (2.05 10^4cfu/g). Na ovom potezu Kolubara protiče kroz ruralni deo, u dužini od 7 km.

Na pozicijama uzorkovanja 28 (centar opštine Lazarevac, na reci Lukavici) i 29 (lokacija ulivanja reke Peštan u Kolubaru), na dubini od 20 cm dolazi do naglog skoka broja mikroorganizama koji na poziciji 29 iznosi (2.49 10^4cfu/g), dok je na dubini od 50 cm, na poziciji 28, skok još izraženiji i iznosi (7.82 10^4cfu/g). Reke Lukavica i Peštan primaju sve otpadne vode urbanog dela Lazarevca, koji ima oko 58 hiljada stanovnika.

Na poziciji uzorkovanja 30, na dubini od 20 cm, broj mikrooganizama je nešto niži u odnosu na poziciju 29 i iznosi (2.3210^{4}cfu/g), no daljim tokom Kolubare ima trend blagog rasta sve do pozicije uzorkovanja 33, gde na dubini od 20 cm iznosi (2.53 10^4cfu/g), a nakon toga sledi trend opadanja broja mikroorganizama sledećih 30 km, sve do ulivanja Kolubare u Savu na poziciji 48, gde broj mikrooganizama na dubini od 20 cm iznosi (2.26 10^4cfu/g).

Što se tiče dubine od 50 cm, od pozicije uzorkovanja 29, gde broj mikrooganizama iznosi (7.40 10^4cfu/g), pa sve do pozicije uzorkovanja 41, gde broj mikrooganizama iznosi (1.09 10^4cfu/g), postoji trend opadanja broja mikrooganizama, nakon čega sledi postepen rast broja mikroorganizama sve do ušća Kolubare u Savu i pozicije 48 gde broj mikrooganizama na dubini od 50 cm iznosi (3.46 10^4cfu/g).

Između pozicija uzorkovanja 30 i 31 nalaze se površinski kopovi uglja Kolubara. Između pozicije 31 i 44 prostire se ruralno područje. Na poziciji uzorkovanja 33, reka Beljanica se uliva u Kolubaru. Beljanica sa svojim pritokama ulazi u urbanu sredinu Barajeva, koje ima oko 27 hiljada stavnovnika, ali i postrojenje za tretman otpadnih voda. Kod pozicije

uzorkovanja 40, reka Tamnava se uliva u Kolubaru. Tamnava sa svojim pritokama pokriva urbane sredine Ub, sa oko 28 hiljada stanovnika, i Koceljevu, sa oko 13 hiljada stanovnika, a obe urbane sredine nemaju postrojenja za preradu otpadnih voda. U blizini pozicije uzorkovanja 44, nalazi se lokalna deponija opštine Obrenovac. Nakon pozicije 44 sve do pozicije 48, Kolubara protiče kroz urbanu sredinu opštine Obrenovac sa oko 23 hiljade stanovnika. Obrenovac nema postrojenje za tretman otpadnih voda.

Ukrštanjem i analizom podataka iz (tabela 1. i 3.) može se zaključiti da otpadne vode i muljevi iz urbanih sredina, industrije i poljoprivrede doprinose povećanju mikroorganizama u slivu reke Kolubare. Brojno stanje mikrooganizama se uvećava na dubini od 20 cm nakon proticanja reke Kolubare kroz Valjevo, ulivanja pritoka Lepenice i Ribnice koje protiču kroz Mionicu, ulivanja reka Lukavice i Peštan koje protiču kroz Lazarevac i kopova uglja Kolubara, ulivanjem Tamnave i pritoke Uba koje protiču kroz Ub i Koceljevu. Sa druge strane, nakon ulivanja pritoka Banje i Beljanice i proticaja Kolubare kroz duže ruralne koridore zapažaju se trendovi opadanja brojnosti mikroorganizama.

Broj mikrooganizama na dubini od 50 cm ima postepen trend rasta duž celog toka reke Kolubare. Takođe, može se zaključiti da je jedan od najvećih zagađivača Lazarevac, kao urbana sredina bez postrojenja za tretman otpadnih voda i mulja koje se ispuštaju u reku Lukavicu i reku Peštan. Prosečna vrednost ukupnog broja mikroorganizama u svim ispitivanim tačkama duž sliva reke Kolubare iznosi ($1.78\ 10^4$cfu/g) na dubini uzorkovanja od 20 cm, odnosno ($2.37\ \ 10^4$cfu/g) na dubini od 50 cm.

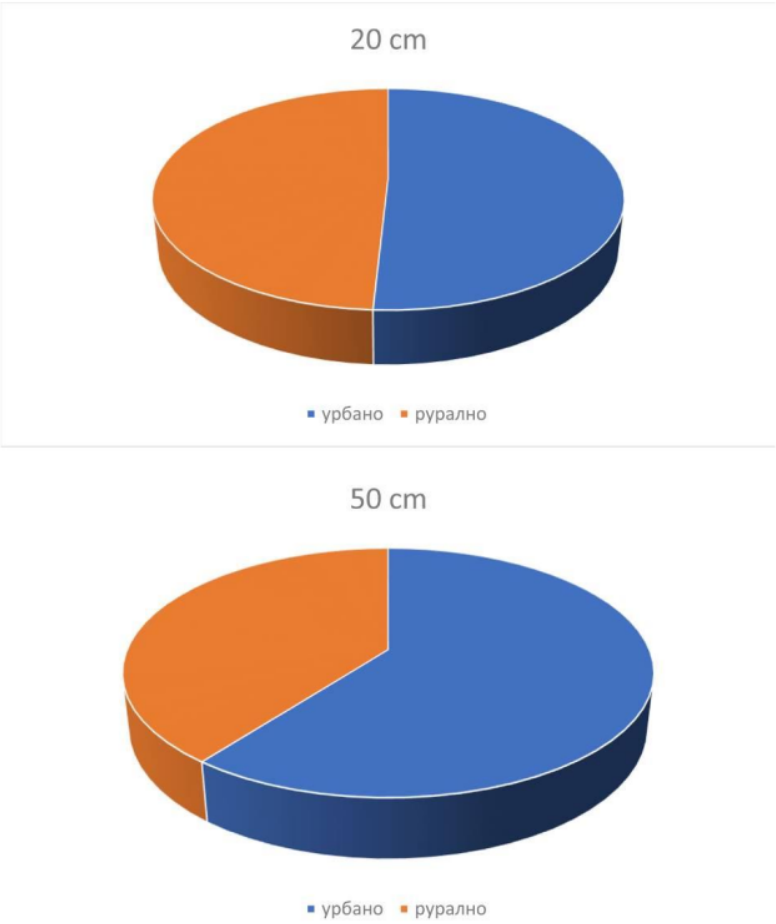
Broj mikrooganizama na dubini od 20 cm je više je sklon promenama nego na dubini od 50 cm, zbog izloženosti spoljašnjim uticajima, poput osunčanosti, manjka vlage, nedostatka kontakta sa podzemnim vodama i sl.

Vrednosti su više u tačkama uzorkovanja duž reke Kolubare prilikom proticaja kroz urbane, nego kroz ruralne sredine. U ruralnim sredinama, razlika u broju mikrooganizama između dve dubine uzorkovanja u proseku je relativno mala, dok je u urbanim sredinama broj mikrooganizama na dubini od 50 cm u proseku znatno veći od broja mikrooganizama na dubini od 20 cm (tabela 4, slike 21 a i b).

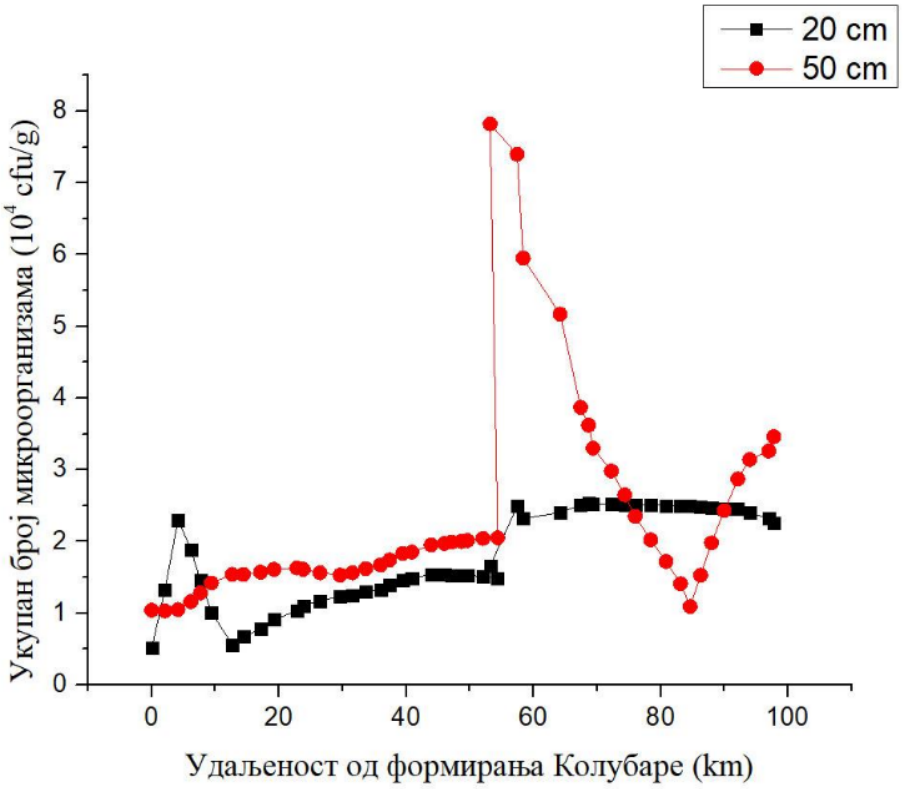
Dobijeni rezultati, koji su publikovani (Gajić *et al*., 2022), su slični rezultatima predstavljenim u prethodnim istraživanjima (Đorđević *et al*., 2014).

Tabela 4. Prosečne vrednosti broja mikrooganizama u uzorcima zemljišta u urbanim i ruralnim delovima Kolubarskog sliva

Dubina uzorkovanja (cm)	Ukupan broj mikroorganizama u urbanoj sredini	Ukupan broj mikrooganizama u ruralnoj sredini
20	1,81	1,75
50	2,79	1,83



***Slika 21. a i b**. Prikaz raspodele mikroorganizama u urbanim i ruralnim sredinama na dubinama uzorkovanja od 20 cm i 50 cm*



Slika 22. *Ukupan broj mikroorganizama u zemljištu u zavisnosti od udaljenosti od tačke formiranja reke Kolubare*

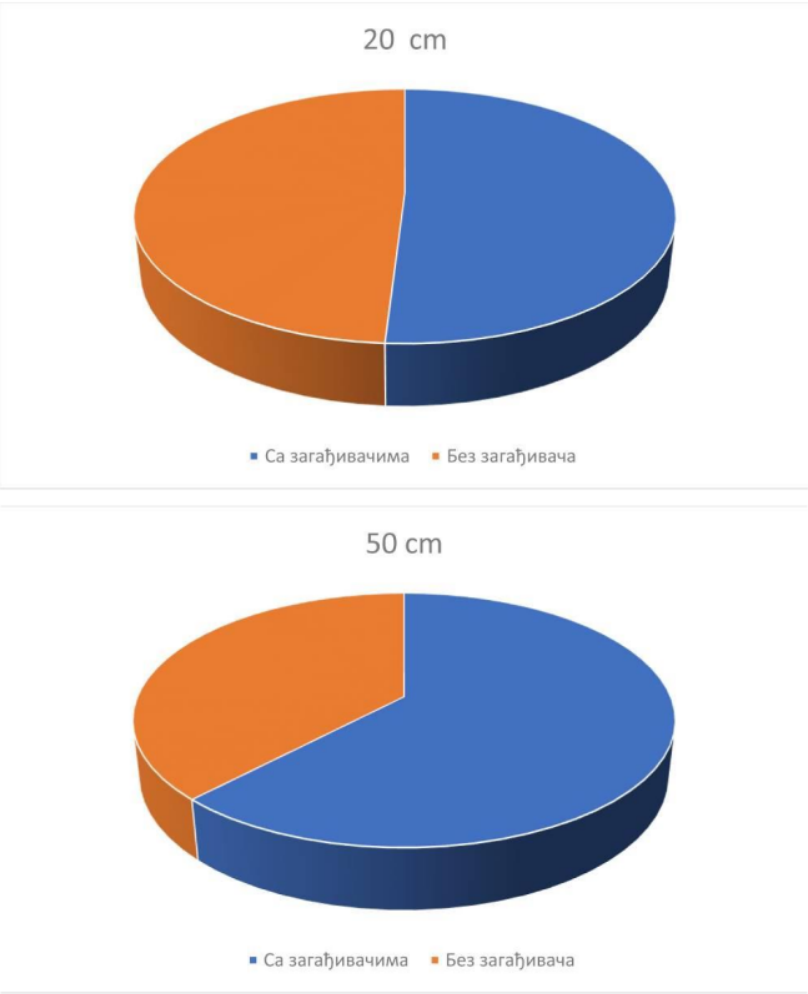
Na slici 22, vidi se da zagađenje zemljišta mikroorganizmima raste duž toka reke Kolubare, što se može povezati sa sredinama kroz koje reka protiče. Osim toga, zagađenje zemljišta je veće u dubljim slojevima, jer su oni izloženiji kontaktu sa samim rečnim tokom. Tačke 2-5 i 37-44 su izuzeci. Uzorci 2-5 su uzeti iz urbanog područja grada Valjeva, gde je površinski sloj zagađen zbog ocednih voda lokalne deponije i uređenja rečnog korita, kao i zbog otpadnih voda generisanih od strane samog grada. Zbog nepristupačnog terena na mestu uzorkovanja, uzorkovanje na tačkama 37-44 je obavljeno nešto dalje od same obale, pa ovi uzorci zemljišta nemaju kontakt sa vodom reke Kolubare i podzemnim vodama.

Grafikon, takođe, prikazuje pikove u tačkama uzorkovanja 28 i 29, koji su uzrokovani povećanim zagađenjem koje reke Lukavica i Peštan nose iz urbane sredine Lazarevca.

Ukoliko analiziramo samo tačke koje prolaze kroz oblasti sa zagađivačima (industrijske zone, kopovi, deponije), inicijalno zagađenje zemljišta mikrooganizmima je više. Broj mikrooganizama je u oba slučaja, u prisustvu i bez prisustva zagađivača, veći na dubinama od 50 cm što se može objasniti kontaktom sa polutantima u vodama reke Kolubare. Razlika između uzoraka izloženih zagađivačima i onih koji nisu je relativno mala na dubini uzorkovanja od 20 cm, dok je na dubini uzorkovanja od 50 cm znatno veća u oblastima sa prisustvom zagađivača (tabela 5, slike 23 a i b).

Tabela 5. Analiza broja mikroorganizama u tačkama uzorkovanja duž sliva reke Kolubare u odnosu na prisustvo zagađivača

Dubina uzorkovanja (cm)	Ukupan br. mikroorganizama sredina sa zagađivačima	Ukupan br. mikroorganizama sredina bez zagađivača
20	1,88	1,77
50	3,42	2,09



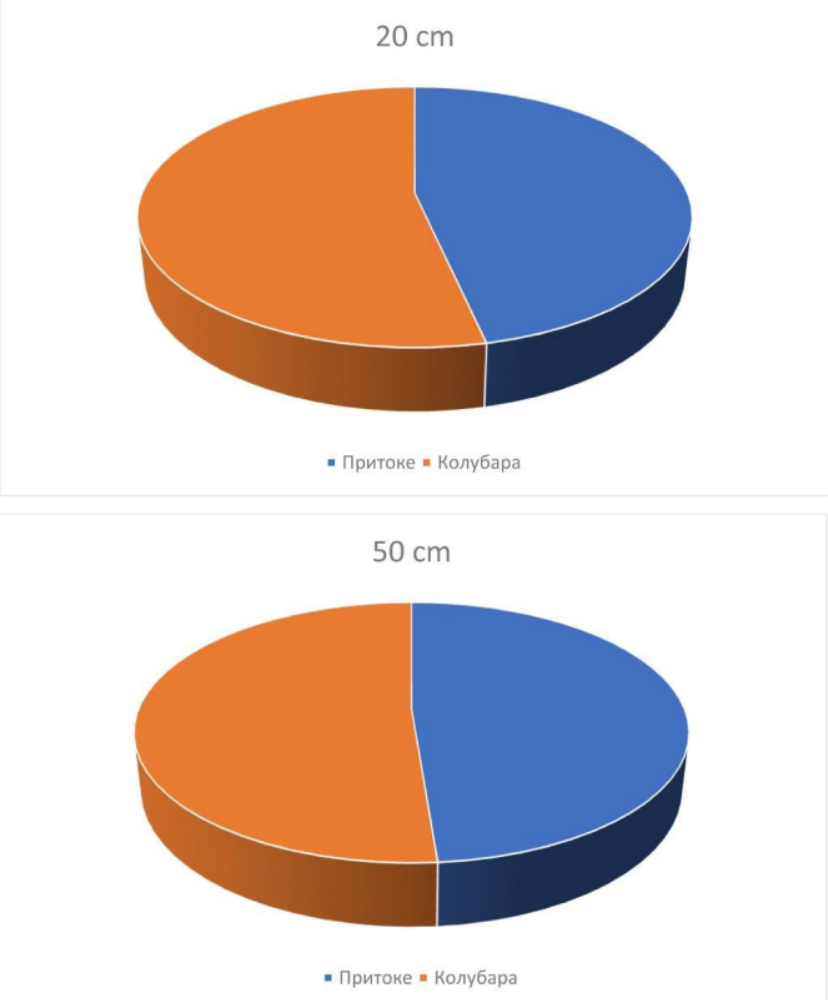
Slika 23. a i b. *Prikaz broja mikrooganizama u uzorcima duž sliva reke Kolubare u odnosu na prisustvo zagađivača*

Primećuje se da je razlika u inicijalnom zagađenju zemljišta znatno veća na većim dubinama uzorkovanja (4% na dubini od 20 cm i 39% na dubini od 50 cm), što se objašnjava ispiranjem površinskih slojeva pod uticajem atmosferskih prilika i kontaktom kontaminiranih podzemnih priobalnih voda sa dubljim slojevima zemljišta.

Zagađenje mikroorganizmima u tačkama uzorkovanja zemljišta na mestima ulivanja pritoka u reku Kolubaru je nešto niže od zagađenja duž same Kolubare (tabela 6, slike 24 a i b).

Tabela 6. Analiza broja mikroorganizama u odnosu na ulivanje pritoka i samog toka reke Kolubare

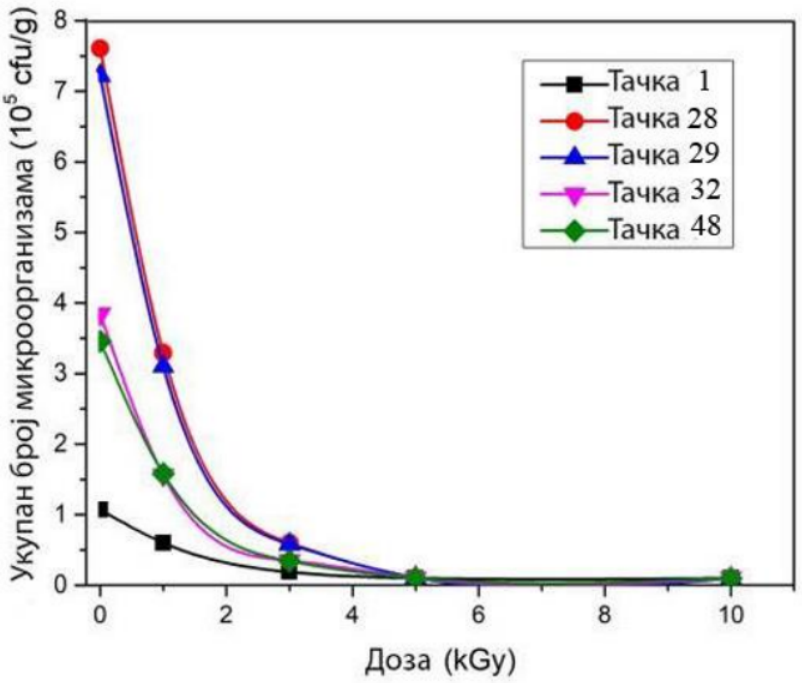
Dubina uzorkovanja (cm)	Ukupan br. mikroorganizama duž Kolubare	Ukupan br. mikroorganizama na mestima ulivanja pritoka
20	1,78	1,55
50	2,46	2,34



Slika 24. a i b. *Prikaz zagađenja mikroorganizmima prilikom ulivanja pritoka u reku Kolubaru i duž samog toka reke Kolubare*

4.2. Uticaj gama zračenja na mikrobiološku dekontaminaciju

Uticaj različitih doza gama zračenja na ukupan broj mikroorganizama utvrđen je za ključnih pet tačaka uzorkovanja (blizu izvora reke Kolubare, blizu ušća Kolubare u Savu i tri tačke sa većom kontaminacijom). Uzorci su uzeti sa dubine od 50 cm. Pri brzini doze zračenja od 10 kGy/h, korišćene su doze od 1, 3, 5 i 10 kGy. Rezultati su prikazani na slici 23.



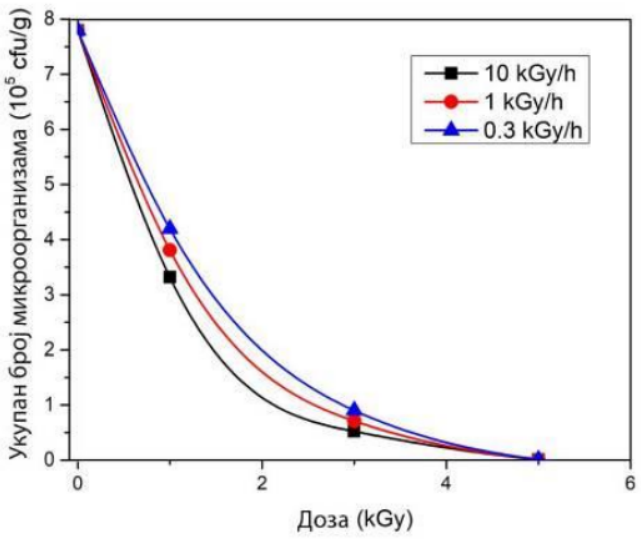
Slika 25. *Uticaj različitih doza gama zračenja na smanjenje ukupnog broja mikroorganizama*

Slika 25 pokazuje da doza od 5 kGy neutrališe većinu mikroorganizama u zemljištu. Poređenja radi, doza od 10 kGy dovoljna je za potpunu inaktivaciju mikroorganizama i sterilizaciju zamljišta. Sterilizovana zemljišta se često koriste za klijanje semena, razmnožavanje reznica i uzgoj mlađih biljaka (Gamliel *et al.*, 1987; Fernando, Lynch, 2015). Sadnice uzgajane na sterilnim zemljištima proizvode više biomase korena i veću zapreminu rizosfere, nego one uzgajane na netretiranim zemljištima. Rizosfera se definiše kao deo

zemljišta koji fizički prijanja uz korenov sistem. Sterilizacija zemljišta zračenjem povećava rast korena i zapreminu rizosfere kod sadnica pšenice (Mahmood *et al*., 2014).

4.3. Efekat različitih brzina doza gama zračenja na mikrobiološku dekontaminaciju

Pored brzine doze od 10 kGy/h, ispitivan je i efekat nižih doza koje se obično koriste u komercijalnom zračenju. U tu svrhu upoređen je uticaj brzina doza od 0.3, 1 i 10 kGy. Ispitivanje je sprovedeno na najzagađenijem uzorku, koji je imao početni nivo kontaminacije 7,8105 cfu/g. Slika 26 pokazuje zavisnost ukupnog broja mikroorganizama u uzorku u odnosu na korišćenu dozu zračenja pri različitim brzinama doze.

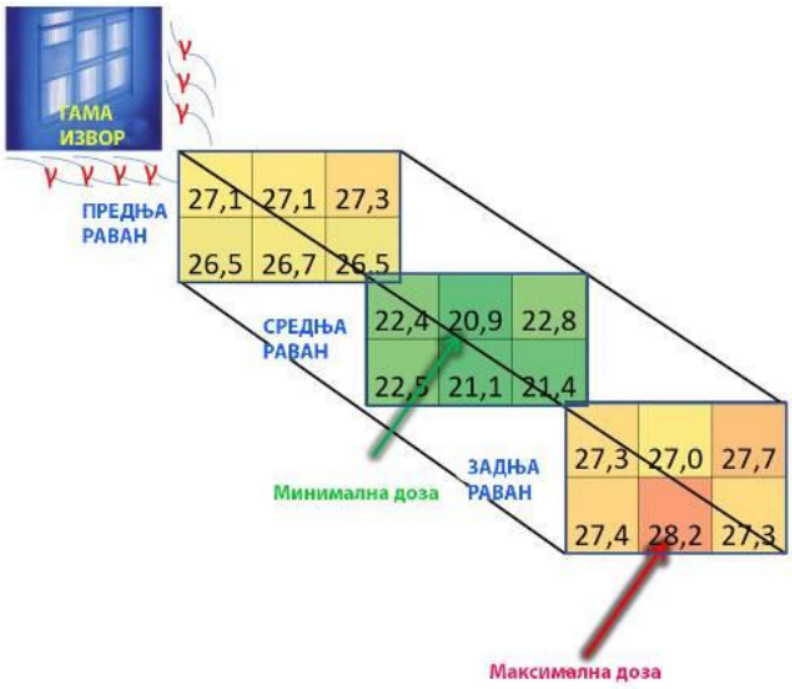


Slika 26. *Uticaj različitih doza i brzina doza gama zračenja na mikrobiološku dekontaminaciju zemljišta*

Na slici 26 se može videti da se stopa dekontaminacije zemljišta smanjuje sa smanjenjem brzine doze. Međutim, pošto su ove razlike male i praktično beznačajne, može se zaključiti da brzina doze nema većeg uticaja na inaktivaciju mikroorganizama u zemljištu.

4.4. Rezultati kalibracija i utvrđivanja homogenosti raspodele doze apsorbovanog zračenja ozračenog materijala

Raspodela doze zračenja unutar kutije sa zemljištem prikazana je na slici 27. Mesta sa većim dozama su predstavljena crvenim kvadratima, dok su mesta sa nižim dozama predstavljena zelenim kvadratima.



Slika 27. *Raspodela doze zračenja unutar kutije ispunjene zemljom (lična arhiva)*

Prosečna gustina proizvoda je 480 kg/m^3.

D_{av}=25.40 kGy je prosečna doza.

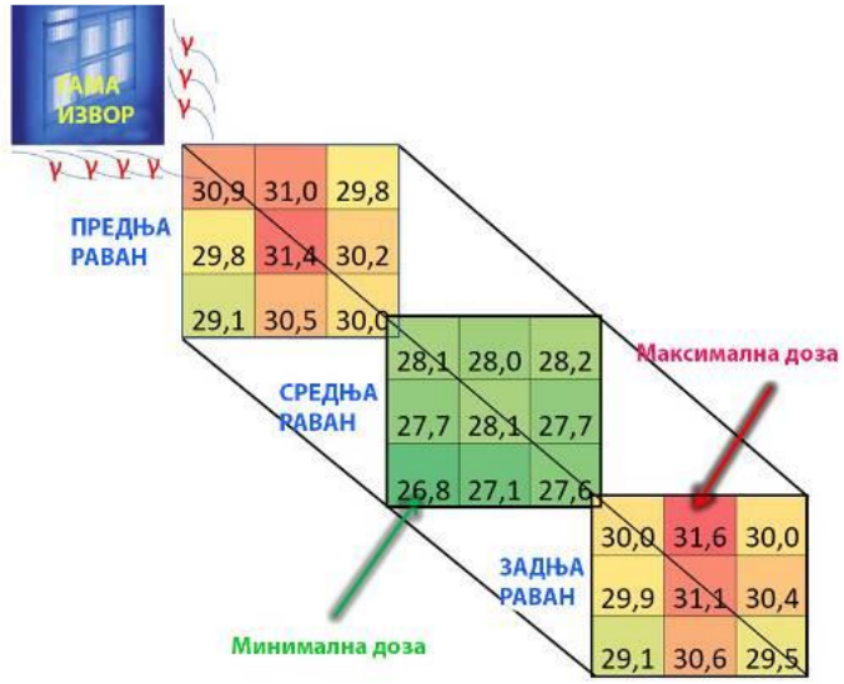
Minimalna apsorbovana doza je u donjem levom uglu srednje ravni. Visina sanduka sa zemljom je 20 cm, tako da ne bi trebalo da bude teža od 20 kg. U tom primeru je korišćeno 18 dozimetara, po šest u svakoj od tri ravni.

U prednjoj i zadnjoj ravni prosečne apsorbovane doze zračenja su 26.9 ± 1.3% i 27.5 ± 1.5%, respektivno. U srednjoj ravni prosečna apsorbovana doza zračenja iznosi 21.9 ± 3.7%. U proseku, srednja ravan dobija 19% nižu izloženost zračenju.

Ukupna homogenost unutar kutije:

$$U_{av} = \left(100 \cdot \frac{D_{max}}{D_{min}} - 100\right)\% = \left(100 \cdot \frac{28.23}{20.93} - 100\right)\% = 34.8\%$$

Ispitivan je i uticaj gustine proizvoda koji se ozračuje na homogenost raspodele apsorbovane doze zračenja. U tom cilju, uzorci zemljišta su upoređeni sa uzorcima manje gustine, tkaninom i plastikom. Slika 28 prikazuje raspodelu doze zračenja unutar kutije sa tkaninom.



Slika 28. *Raspodela doze zračenja unutar kutije ispunjene tkaninom (lična arhiva)*

Prosečna gustina proizvoda je 65 kg/m^3.

D_{av}=29.42 kGy je prosečna doza.

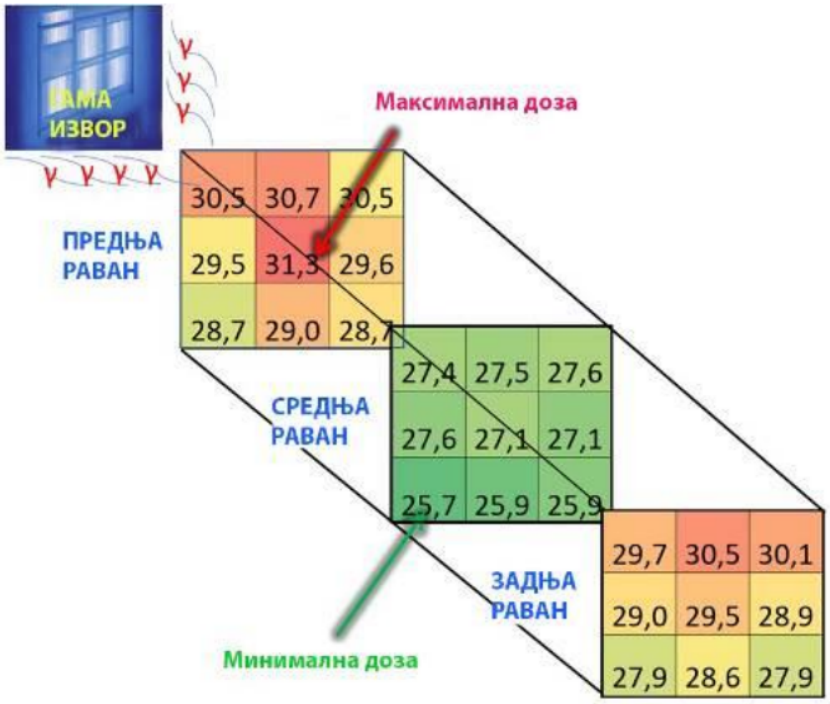
Minimalna apsorbovana doza je u donjem levom uglu srednje ravni, kao što je prikazano na (slici 19). U prednjoj i zadnjoj ravni, prosečne apsorbovane doze zračenja su 30.3±2.4% i 30.2±2.6%, respektivno. Arhitektura postrojenja rezultira skoro istom vrednošću, jer kutija za graviranje menja strane prolazeći pored izvora, apsorbujući istu količinu zračenja.

Kao rezultat prodora gama zraka kroz materijal, srednja ravan dobija oko 9% manje izlaganja zračenju. U srednjoj ravni prosečna apsorbovana doza zračenja iznosi 27.7±1.7%.

Ukupna homogenost unutar kutije:

$$U_{av} = \left(100 \cdot \frac{D_{max}}{D_{min}} - 100\right)\% = \left(100 \cdot \frac{31.40}{26.77} - 100\right)\% = 17.3\%$$

Slika 29 prikazuje raspodelu doze zračenja unutar kutije sa plastikom.



Slika 29. *Raspodela doze zračenja unutar kutije ispunjene plastikom (lična arhiva)*

Prosečna gustina proizvoda je 165 kg/m^3.

D_{av}=28.57 kGy je prosečna doza.

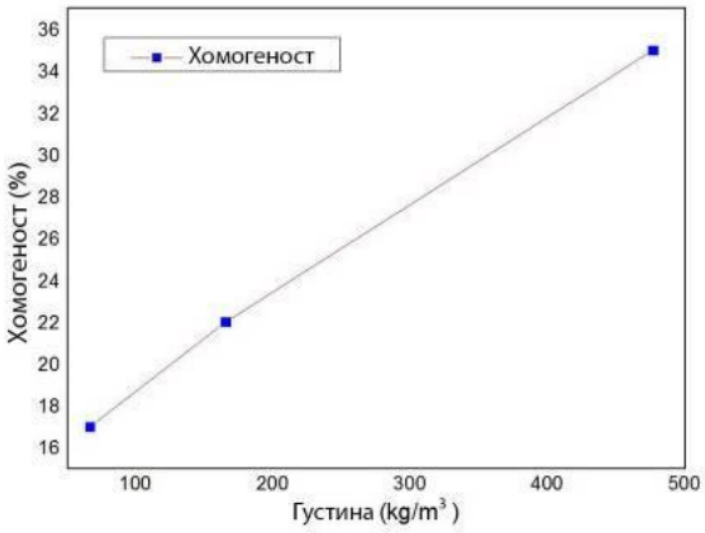
Minimalna apsorbovana doza je u donjem levom uglu srednje ravni. Prosečne apsorbovane doze zračenja u prednjoj i zadnjoj ravni su 30.9 ± 9.8% i 29.1 ± 3.1%.

U srednjoj ravni, prosečna apsorbovana doza zračenja je 26.9 ± 3.0%. U proseku, srednja ravan dobija 13% nižu izloženost zračenju.

Ukupna homogenost unutar kutije:

$$U_{av} = \left(100 \cdot \frac{D_{max}}{D_{min}} - 100\right)\% = \left(100 \cdot \frac{31.30}{25.67} - 100\right)\% = 21.9\%$$

Homogenost apsorbovane doze raste sa povećanjem gustine proizvoda, kao što je ranije utvrđeno u literaturi (Chakarova *et al*., 1991). Razlika između minimalne i maksimalne apsorbovane doze je manja kada je manja uniformnost. Kao rezultat toga, za proizvode sa manjom gustinom, apsorbovana doza zračenja je ravnomernije raspoređena unutar proizvoda. Slika 30 prikazuje uniformnost proizvoda nakon šaržnog zračenja. Svaki proizvod zračenja imao je debljinu od 46 cm.



Slika 30. *Zavisnost homogenosti doze u funkciji gustine proizvoda za proizvod ozračen u šaržnom režimu (lična arhiva)*

4.4.2. Rezultati ozračivanja uzoraka u kontejneru za brzo ozračivanje

U tabeli 7 prikazani su rezultati dozimetrijskih merenja.

Tabela 7. Raspodela doze u proizvodima različite gustine (tkanina, plastika i zemlja)

Uzorak	Položaj prema izvoru	Dozimetar 1 [kGy]	Dozimetar 2 [kGy]	Dozimetar 3 [kGy]	Dozimetar 4 [kGy]	Dozimetar 5 [kGy]	Prosečna doza [kGy]	Standardna devijacija	Nesigurnost [%]
Tkanina	Prednji	25.6	24.9	25.8	26.4	25.8	25.7	0.5	2.1
	Srednji	23.1	23.3	25.6	23.9	24.1	24.0	1.0	4.1
	Zadnji	21.4	21.4	21.6	22.2	22.9	21.9	0.6	3.0
Plastika	Prednji	25.7	25.9	25.1	25.7	25.9	25.7	0.3	1.1
	Srednji	22.9	22.7	23.1	23.5	23.5	23.1	0.4	1.5
	Zadnji	20.8	20.9	21.0	21.2	21.0	21.0	0.1	0.7
Zemlja	Prednji	26.5	26.5	25.8	25.0	25.1	25.8	0.7	2.8
	Srednji	22.0	21.0	20.7	20.5	20.7	21.0	0.6	2.8
	Zadnji	20.9	20.7	19.7	20.7	19.8	20.4	0.6	2.8

Prosečna gustina proizvoda je 480 kg/m^3.

D_{av}=22.40 kGy je prosečna doza.

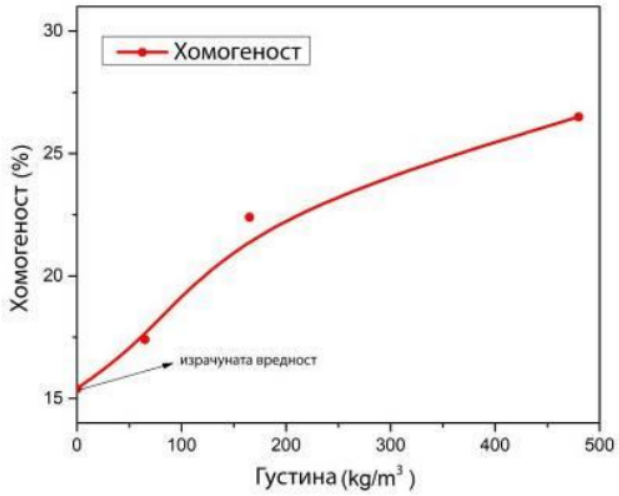
Homogenost:

$$U_{av} = \left(100 \cdot \frac{D_{max}}{D_{min}} - 100\right)\% = \left(100 \cdot \frac{25.8}{20.4} - 100\right)\% = 26.5\%$$

Debljina svih uzoraka korišćenih za procenu distribucije doze bila je 1.3 cm u uzorcima različite gustine. Ukupna debljina uzoraka bila je 2.6 cm kada su dva sloja stavljena u kontejner (slika 25). Pošto je prva ravan 35 cm od izvora i dva sloja uzoraka su ukupne debljine 2.6 cm, odnos između prednje i zadnje ravni kada nema materijala između slojeva, prema zakonu obrnutog kvadrata (Ballard, 2018), je:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} = \frac{37.6^2}{35^2} = 1.154$$

U vakuumu bi homogenost apsorbovane doze bila 15.4%. Na homogenost, s druge strane, utiče gustina uzorka (Urban, 2014). U slučajevima tkanine, plastike i zemlje, istražuje se uticaj različitih gustina materijala. Slika 31 prikazuje distribuciju doze u proizvodima različite gustine u debljini od 2.6 cm.



Slika 31. *Zavisnost homogenosti doze u funkciji gustine proizvoda za uzorke ozračene u posudi za brzo zračenje (lična arhiva)*

Kod proizvoda ozračenih u šaržnom režimu, kao i proizvoda ozračenih u kutiji za brzo ozračivanje uzoraka, ujednačenost apsorbovane doze raste sa povećanjem gustine proizvoda.

Utvrđeno je da je homogenost apsorbovane doze zračenja kod kutije u režimu između 17 i 34%. Ova homogenost je određena gustinom proizvoda. Svi proizvodi su imali debljinu od 46 cm. Homogenost uzoraka gama zračenja debljine 2.6 cm i ozračenih u kontejneru za brzo zračenje, s druge strane, kreće se od 17 do 27%.

Zbog uporedivih vrednosti distribucije doze, a kako smo prethodno dokazali da brzina doze ne utiče značajno na efekte ozračivanja kod posmatranih uzoraka, možemo primeniti zračenje uzoraka u kontejneru za brzo ozračivanje da bismo brzo ispitali efekat zračenja na uzorke.

4.5. Utvrđivanje uticaja gama zračenja na sadržaj patogenih mikroorganizama u uzorcima zemljišta

Ispitivan je uticaj gama zračenja pri dekontaminaciji zemljišta od prisustva tri patogene bakterije – *E. coli*, *S. aureus* i *P. Aeruginosa*. Testirano je pet različitih uzoraka: jedan na

izvoru reke, jedan na ušću i tri na mestima sa većim zagađenjem. Tabela 8 prikazuje dobijene rezultate.

Tabela 8. Sadržaj patogenih bakterija u zemljištu pre i posle gama zračenja

Patogena bakterija	MDK[cfu/ml]	Radijaciona doza [kGy]	Uzorak Tačka 1 (50 cm)	Uzorak Tačka 28 (50 cm)	Uzorak Tačka 29 (50 cm)	Uzorak Tačka 32 (50 cm)	Uzorak Tačka 48 (50 cm)
Escherichia coli	1.26	0	>1	2.56	4.11	1.68	>1
		1	>1	>1	>1	>1	>1
		3	>1	>1	>1	>1	>1
Staphylococcus aureus	0<	0	0	0<	0<	0	0<
		1	0	0<	0	0	0<
		3	0	0	0	0	0
Pseudomonas aeruginosa	0<	0	0	0<	0<	0<	0
		1	0	0	0<	0	0
		3	0	0	0	0	0

Iz tabele 8 možemo zaključiti da je doza zračenja od 3 kGy dovoljna za uklanjanje svih patogenih bakterija iz zemljišta, što je saglasno literaturnim podacima (Correa *et al*. 2019).

4.6. Sadržaj plesni u zemljištu i uticaj različitih doza gama zračenja na dekontaminaciju

U ispitivanim uzorcima zemljišta otkrivena je plesan. Zaključak je da se plesan mora ukloniti pre nego što se zemljište može adekvatno koristiti.

U tabeli 9 i na slici 32 prikazan je ukupan broj plesni u zemljištu uzorkovanom na 48 pozicija duž sliva reke Kolubare, na dubini od 20 cm i 50 cm. Takođe, dato je rastojanje svake pozicije uzorkovanja od tačke formiranja reke Kolubare.

Tabela 9. Ukupan broj plesni u zemljištu duž sliva reke Kolubare

Pozicija uzorka	Naziv uzorka	UTM E	UTM N	Udaljenost od formiranja reke Kolubare	Plesni na dubini od 20 cm	Plesni na dubini od 50 cm
redni broj		m	m	km	10^4cfu/g	10^4cfu/g
1	Kolubara 39	409870	4901541	0	0.47	1.01
2	Kolubara 38	411267	4902313	2.08	1.36	1.02
3	Kolubara 37	413176	4902302	4.13	2.33	1.04
4	Kolubara 36	414809	4902869	6.16	1.92	1.14
5	Kolubara 35.3	415957	4903106	7.67	1.47	1.26
6	Kolubara 35.2	417231	4903158	9.38	0.97	1.41
7	Kolubara 35.1	419073	4903407	12.66	0.56	1.52
8	Kolubara 35	420402	4904172	14.41	0.68	1.53
9	Kolubara 34	422392	4904432	17.13	0.77	1.55
10	Kolubara 33	423969	4904412	19.24	0.88	1.59
11	Kolubara 32	425744	4906085	22.82	1.02	1.62
12	Kolubara 31	425844	4906627	23.82	1.08	1.60
13	Kolubara 30	426017	4908709	26.48	1.14	1.57
14	Kolubara 29	427448	4909905	29.62	1.23	1.54
15	Kolubara 28.2	428691	4910728	31.55	1.26	1.57
16	Kolubara 28.1	429063	4910222	33.66	1.31	1.63
17	Kolubara 28	429973	4910814	35.97	1.34	1.68
18	Kolubara 27	430811	4911380	37.4	1.41	1.75
19	Kolubara 26	432450	4911657	39.46	1.47	1.82

20	Kolubara 25	433753	4912103	40.92	1.51	1.88
21	Kolubara 24.1	434611	4911729	43.92	1.56	1.96
22	Kolubara 24	436200	4913471	46.03	1.56	1.98
23	Kolubara 23	436983	4914129	47.16	1.55	2.00
24	Kolubara 22	436902	4915180	48.69	1.55	2.02
25	Kolubara 21	437618	4915943	49.64	1.54	2.03
26	Kolubara 20.1	437726	4916923	52.08	1.52	2.06
27	Kolubara 20	438042	4918379	54.39	1.50	2.07
28	Lukavica 4	440828	4914415	53.21	1.66	7.80
29	Kolubara 19	439755	4919475	57.44	2.23	7.40
30	Kolubara 18	439973	4920354	58.41	2.34	5.97
31	Kolubara 17	441544	4925803	64.21	2.41	5.18
32	Kolubara 16	441087	4927716	67.44	2.51	3.89
33	Kolubara 15	440513	4928554	68.66	2.55	3.65
34	Kolubara 14	439805	4929213	69.39	2.54	3.30
35	Kolubara 13	439767	4930692	72.26	2.53	2.98
36	Kolubara12	439091	4932009	74.36	2.52	2.64
37	Kolubara 11.1	438299	4932954	76	2.51	2.34
38	Kolubara 11	438318	4934179	78.44	2.51	2.01
39	Kolubara 10	437638	4935240	80.86	2.50	1.71
40	Kolubara 9	437166	4936662	83.14	2.49	1.39
41	Kolubara 8	437052	4937122	84.66	2.49	1.06
42	Kolubara 7	437770	4938992	86.3	2.49	1.51
43	Kolubara 6	436974	4939775	88	2.49	1.97
44	Kolubara 5	436965	4941019	90	2.48	2.41
45	Kolubara 4	437258	4943323	92.14	2.48	2.88
46	Kolubara 3	437823	4944668	94	2.41	3.11
47	Kolubara 2	439862	4945621	97	2.34	3.24
48	Kolubara 1	440398	4945644	97.82	2.29	3.49

U tabeli 9 primećujemo trendove povećanja i opadanja broja plesni prikupljenih u uzorcima zemljišta na dubinama od 20 cm i 50 cm duž sliva reke Kolubare.

Ukrštanjem informacija o brojnom stanju plesni u uzorcima iz tabele 9 i rasporedu urbanih i ruralnih prostora sa brojem stanovnika iz tabele 1, može se zaključiti sledeće:

Brojnost plesni je manja na samom ušću reka Obnice i Jablanice, odnosno na mestu formiranja reke Kolubare u gradu Valjevu (pozicija 1), sa oko 90 hiljada stanovnika. Na poziciji 1 i dubini od 20 cm broj plesni je (0.47 10^4cfu/g), dok je na dubini od 50 cm (1.01

10^4cfu/g). Zahvaljujući postrojenju za tretman otpadnih voda, urbana sredina naizgled nema veliki uticaj na povećanje broja plesni u priobalnom zemljištu Kolubare. Prilikom proticanja reke kroz urbanu sredinu grada broj plesni na dubini od 20 cm naglo raste do pozicije uzorkovanja 3 (2.33 10^4cfu/g), dok na dubini od 50 cm raste postepeno sve do pozicije uzorkovanja 11 (1.62 10^4cfu/g).

Nakon izlaska iz urbane sredine Valjeva, pozicija uzorkovanja 4, broj plesni na dubini od 20 cm polako opada sve do pozicije uzorkovanja 7 (0.56 10^4cfu/g), u čijoj se blizini nalaze livnica i fabrika za preradu voća.

Od pozicije uzorkovanja 7 (0.56 10^4cfu/g) imamo postepen rast broja plesni na dubini od 20 cm sve do pozicije uzorkovanja 22 (1.56 10^4cfu/g). U ovom potezu reka Kolubara uglavnom protiče kroz ruralna područja sve do pozicije uzorkovanja 20, u blizini Lajkovca, sa oko 15 hiljada stanovnika i bez postrojenja za preradu otpadnih voda. Od pozicije uzorkovanja 22 pa sve do pozicije uzorkovanja 27 (1.50 10^4cfu/g) imamo trend blagog opadanja broja plesni na dubini od 20 cm. U ovom potezu reka Kolubara od Lajkovca protiče kroz ruralni deo sve do ušća reka Lukavice i Peštana sa samom Kolubarom.

Od pozicije uzorkovanja 11 (1.62 10^4cfu/g), pa do pozicije uzorkovanja 15 (1.57 10^4cfu/g), na dubini od 50 cm, dolazi do smanjenja broja plesni, nakon čega dolazi ponovo do trenda povećavanja broja plesni sve do pozicije uzorkovanja 27 (2.07 10^4cfu/g), tj. Do lokacije pre ulivanja reka Lukavice i Peštan u Kolubaru.

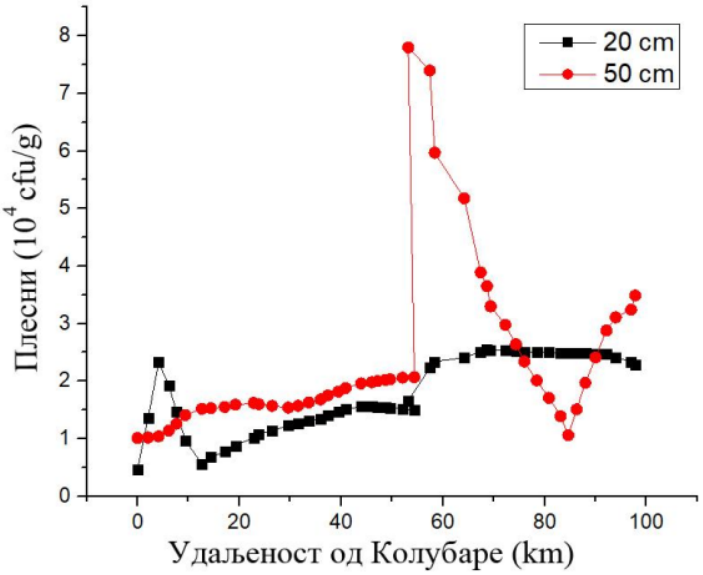
Na pozicijama uzorkovanja 28 i 29, na reci Lukavici kod Lazarevca i kod ušća reka Lukavice i Peštan u Kolubaru, na dubini od 20 cm, dolazi do skoka u broju plesni – pozicija 28 (1.66 10^4cfu/g) i pozicija 29 (2.23 10^4cfu/g), dok je skok broja plesni na dubini od 50 cm na poziciji 28 (7.80 10^4cfu/g) i poziciji 29 (7.40 10^4cfu/g). Potencijalni uzrok za povećanje broja plesni su otpadne vode i muljevi iz urbanih sredina Lazarevca i okoline. Reke Lukavica i Peštan primaju sve otpadne vode urbanog dela Lazarevca koji ima oko 58 hiljada stanovnika i ne poseduje postrojenje za preradu otpadnih voda.

Od pozicije uzorkovanja 29 (2.23 10^4cfu/g) imamo blagi rast broja plesni na dubini od 20 cm sve do pozicije uzorkovanja 33 (2.55 10^4cfu/g). U ovom potezu reka Kolubara protiče između površinskih kopova uglja Kolubara. Na dubini od 50 cm imamo trend opadanja broj plesni od

pozicije uzorkovanja 29 (7.40 10^4cfu/g), sve do pozicije uzorkovanja 41 (1.06 10^4cfu/g). U blizini pozicije uzorkovanja 41, u Kolubaru se uliva reka Tamnava sa svojom pritokom Ub, koje pokrivaju urbane sredine Ub sa oko 28 hiljada stanovnika i Koceljevu sa oko 13 hiljada stanovnika, koje obe nemaju postrojenja za preradu otpadnih voda.

Od pozicije uzorkovanja 34 (2.54 10^4cfu/g), pa sve do pozicije uzorkovanja 48 (2.29 10^4cfu/g), lokacija ušća reke Kolubare u reku Savu, pratimo trend postepenog opadanja broja plesni na dubini od 20 cm. Kolubara u ovom potezu protiče uglavnom kroz ruralne krajeve sve do Obrenovca i ulivanja u Savu. Na dubini od 50 cm imamo trend naglog skoka broja plesni od pozicije uzorkovanja 41 (1.06 10^4cfu/g), pa sve do pozicije uzorkovanja 48 (3.49 10^4cfu/g), tj. ulivanja Kolubare u Savu. Duž ovog poteza, od ulivanja reke Tamnave, Kolubara protiče kroz urbano predgrađe Obrenovca.

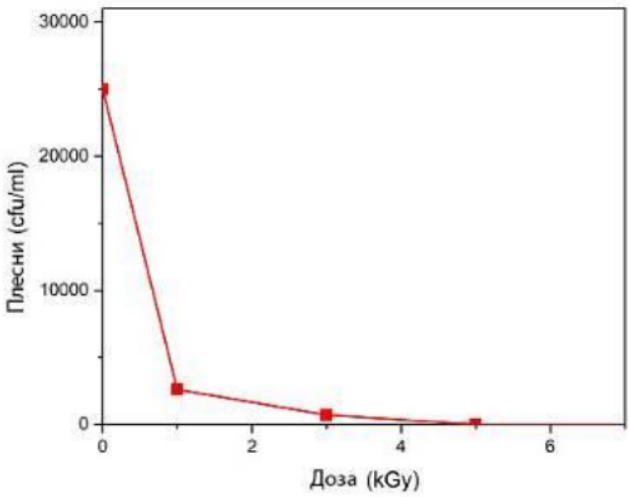
U blizini pozicije uzorkovanja 43 se nalazi Jozića koliba, ekološki lokalitet i rezervat hrastova lužnjaka, dok se nedaleko od pozicije uzorkovanja 44 nalazi Grebača (deponija Obrenovca). Nakon pozicije 44, sve do pozicije 48, Kolubara protiče kroz urbanu sredinu opštine Obrenovac sa oko 23 hiljade stavnika. Obrenovac nema postrojenje za tretman otpadnih voda. Od pozicije uzorkovanja 42 pa do pozicije uzorkovanja 48, leva i desna obala Kolubare je obrasla gustom šumom.



Slika 32. *Sadržaj plesni u zemljištu u zavisnosti od udaljenosti od izvora reke Kolubare. Tačke uzorkovanja predstavljene su brojevima od 1 do 48.*

Sa (slike 32) se vidi da položaj tačke u odnosu na reku Kolubaru i urbane sredine ima blag uticaj na količinu plesni u zemljištu. Sadržaj plesni se kreće od 7000 do 25000 cfu/g u svim uzorcima.

Efekat gama zračenja na inaktivaciju plesni proučavan je primenom doza zračenja od 1, 3 i 5 kGy i brzinom doze od 10 kGy/h na uzorku sa najvećom vrednošću plesni (25000 cfu/g). Dijagram na slici 33, koji je publikovan i u radu (Gajić *et al.*, 2022), prikazuje dobijene rezultate.



Slika 33. *Efekat različitih doza zračenja na smanjenje plesni u uzorcima zemljišta*

Može se zaključiti da je doza od 5 kGy dovoljna za potpunu inaktivaciju plesni u uzorku zemljišta.

4.7. Koncentracije teških metala u zemljištu

Utvrđen je sadržaj teških metala u uzorcima zemljišta prikupljenim sa pet ključnih tačaka uzorkovanja (1, 28, 29, 32 i 48). Uticaj teških metala na mikrobiološko stanje zemljišta uglavnom uključuje uticaj na mikrobnu aktivnost zemljišta, aktivnost enzima u zemljištu i sastav mikrobne zajednice zemljišta (Chu, 2018). Dobijeni rezultati upoređeni su sa remedijacionim vrednostima i graničnim maksimalnim vrednostima iz Uredbe o zagađivačima, štetnim i opasnim materijama u zemljištu (OGRS, 2019). Maksimalne i sanacione vrednosti za sadržaj teških metala u zemljištu navedene su u ovoj uredbi. Kada prosečna koncentracija bilo kog teškog metala prelazi remedijacionu vrednost, projekat mera se mora primeniti. (Tabela 10.) prikazuje sadržaj teških metala u uzorkovanom zemljištu, kao i granične maksimalne i remedijacione vrednosti zagađujućih, štetnih i opasnih materija u zemljištu propisanih regulativom.

Tabela 10. Koncentracije teških metala u različitim uzorcima zemljišta

Teški metali		Kadmijum Cd	Bakar Cu	Nikl Ni	Olovo Pb	Cink Zn	Živa Hg	Arsen As	Selen Se
Pozicija uzorka	Dubina	mg/kg suve materije							
1	20 cm	1.9	83.5	33.6	100	150	6.2	15.3	<0.1
	50 cm	2.0	82.0	35.7	78	150	6.7	16.0	<0.1
28	20 cm	2.2	182.5	44.2	116	150	8.2	18.5	<0.1
	50 cm	2.2	178.0	45.8	110	165	9.0	18.6	<0.1
29	20 cm	1.9	185.0	46.2	98	145	9.0	16.3	<0.1
	50 cm	2.0	182.0	40.3	96	145	9.1	16.0	<0.1
32	20 cm	1.8	212.0	28.7	84	120	8.2	14.7	<0.1
	50 cm	1.6	209.0	31.3	83	95	8.3	15.1	<0.1
48	20 cm	1.6	165.0	30.2	90	110	7.5	14.1	<0.1
	50 cm	1.6	160.0	26.3	82	120	7.3	13.2	<0.1
Remedijacione vrednosti		12	190	210	530	720	10	55	100
Granične maksimalne vrednosti		0.8	36	35	85	140	0,3	29	0.7

Sadržaj kadmijuma, bakra i žive prevazilazi granične maksimalne vrednosti u svim ispitivanim uzorcima, a samo sadržaj bakra (Cu) prelazi remedijacione vrednosti samo u jednoj tački uzorkovanja.

Na osnovu tabele 10, moguće je zaključiti da je sadržaj teških metala u analiziranim uzorcima zemljišta ispod granice remedijacionih vrednosti. Teški metali ne moraju biti uklonjeni iz zemljišta pre mikrobiološke dekontaminacije. Jedini izuzetak je uzorak sa nešto većim sadržajem bakra od dozvoljene remedijacione vrednosti (tačka uzorkovanja 32).

Na obe dubine uzorkovanja vrednost premašuje remedijacionu vrednost za bakar od 190 mg/kg. Mogući izvori povišene koncetracije bakra na datoj lokaciji su kopovi uglja Kolubara ili obližnja termoelektrana Kolubara sa svojim pepelištem. Pre gama tretmana zemljišta sa

tačke uzorkovanja, sadržaj bakra bi trebalo smanjiti sanacijom. Neke od metoda koje se generalno koriste za uklanjanje bakra iz zemljišta su očvršćavanje/stabilizacija, ispiranje zemljišta, vitrifikacija i flotacija (Baskaran *et al*., 2020; Peng *et al*., 2009; Yao *et al*., 2012). Zbog mikrobioloških razloga, nakon uspešnog uklanjanja bakra, zemljište se može tretirati gama zračenjem.

Kad sagledamo situaciju širom sliva reke, prvenstveno treba obratiti pažnju na sadržaj različitih elemenata u zemljištu, a zatim i na njihovu koncetraciju u zavisnosti od dubine uzorkovanja zemljišta. Povećanje koncentracije različitih elemenata sa povećanjem dubine zemljišta, može se objasniti geološkim razlozima, dok se povišene koncetracije u plićim slojevima mogu posmatrati kao da su antropogenog porekla. Međutim, stanje sa raspodelom koncentracije pojedinih elemenata u zemljištu je vrlo komplikovano u području reke Kolubare. Sadržaj Hg je povišen u oba sloja uzorkovanja što je jasna indicija uticaja kopova, gde sama nalazišta lignita imaju povećani sadržaj Hg i As, a i sagorevanje lignita dovodi do pojave povišenog sadržaja ovih elemenata u životnoj sredini. Za sadržaj Cd u zemljištu takođe možemo reći da je mešovitog porekla. Potencijalan izvor povišene koncetracije cinka može biti prirodnog porekla, iz nalazišta Pb i Zn na Maljenu, a može biti i antorpogenog porekla, iz namenske industrije Krušik, što se vidi po njegovom povećanom sadržaju nakon proticanja Kolubare kroz Valjevo. Sadržaj Ni je geološkog porekla, pod uticajem planine Rudnik koja je karakteristična po naslagama serpetinita koji je bogat ovim elementom. Sadržaj Cu je uglavnom antropogenog porekla koje se može dovesti u vezu kako sa sagorevanjem lignita i eksploatacijom njegovih naslaga, tako i sa poljoprivrednim aktivnostima. Na osnovu analiza malog broja prikupljenih uzoraka nije moguće utvrditi njihovo poreklo, niti je moguće sprovesti relevantne statističke analize. Na osnovu rezultata analiza njihovog sadržaja, zagađenje teškim metalima duž sliva reke Kolubare postoji, kao što je i ranije utvrđeno (Kalabić, *et al*., 2019), a samim tim i opravdanost i potreba za budućim istraživanjima.

Teški metali i drugi potencijalno toksični elementi su često prisutni u malim količinama u zemljištu, a njihov povišen sadržaj može biti i antropogenog porekla. Od posebanog značaja su poljoprivredna zemljišta, jer intenzivna biljna proizvodnja dovodi do brzog ulaska potencijalno toksičnih elemenata u lanac ishrane (Adriano, 2002). Na koncetraciju potencijalno toksičnih elementa u zemljištu utiču geohemija matične stene, klimatski i geomorfološki uslovi, vreme izloženosti vremenskim uticajima, tekstura zemljišta, živi

organizmi i antropogeni inputi, kao što su industrijsko zagađenje i rudarstvo, kao i neke aktivnosti vezane za poljoprivredu (đubrenje i upotreba zaštitnih sredstava) (Roca *et al*., 2012; Cabral Pinto *et al*., 2014).

Jedan od važnih činilaca koji utiču na povećanje sadržaja teških metala su i promene nastale kao posledice poplava i klizišta. Devastacija pejzaža nastaje kao rezultat uklanjanja zemljišta i taloženja materijala, kao i mehaničkog zagađenja vode potencijalno toksičnim elementima, što dovodi do niza ekoloških problema (Milačič *et al*., 2017). Sadržaj potencijalno štetnih mikroelemenata u zemljištima pogođenih poplavama se konstantno menja, bilo da je njihovo poreklo antropogeno (Martínez-Santos *et al*., 2015) ili geološko (Liu *et al*., 2016). Ove promene imaju posebno negativan uticaj na poljoprivredno zemljište u rečnim dolinama (Du Laing *et al*., 2009). Zemljišta koja su direktno pogođena poplavnim sedimentima mogu delovati kao izvor zagađenja sama po sebi, ili biti u interakciji sa drugim faktorima na širim prostornim i vremenskim intervalima (Erftemeijer, 2012). Kao rezultat toga, rečni sedimenti su postali važan indikator za identifikaciju izvora zagađenja i antropogenog uticaja (Xu *et al*., 2014).

Geološko poreklo Ni, Cr i Co, kao i mešovito (geološko i antropogeno) poreklo As i Pb, dobro je ispitano i njihovi nivoi su uglavnom određeni tipom stena u planinama na periferiji rečnog sliva, gde se nalaze njihova prirodna ležišta. Cd, Zn i Cu; sa druge strane su u velikoj meri antropogeni, poreklom iz mesta sa razvijenom industrijom (Valjevo, Lazarevac i Obrenovac).

Prema svim ovim pokazateljima promene su deo prirodnih procesa formiranja zemljišta u basenu, sa zanemarljivim antropogenim uticajem.

Međutim, zbog fizičko-hemijskih promena koje se odvijaju tokom poplava, količine polutanata u nanosima ne mogu se koristiti kao jedini pokazatelj njihovog uticaja na priobalno zemljišta. Kao rezultat toga, moraju se utvrditi njihovi pozadinski nivoi, kao i njihovi nivoi u poređenju sa ukupnim sadržajem polutanata na lokacijama za uzorkovanje (N'guessan *et al*., 2009).

Poplave dovode do spiranja i erozije kontaminiranog zemljišta, a, takođe, prilikom velikih padavina polutanti nastali kao posledica intezivnog saobraćaja na putevima ili kao produkti

industrije, završavaju u slivu. Bujični tokova na ovaj način mogu transportovati i potom deponovati polutante iz različitih izvora duž celog sliva (Bates *et al*., 2008).

Od sredine šezdesetih godina XX veka dogodilo se više od 298 poplava u zemljama EU, što čini 12% svih globalnih poplava (Green *et al*., 2013). Između 1915. i 2013. godine, u Srbiji su se dogodilo 848 bujičnih poplava (Petrović *et al*., 2014), pri čemu se jedna od najgorih dogodila 2014. godine, a pogodila je šest rečnih slivova: Dunav, Savu, Veliku Moravu, Zapadnu Moravu, Drinu i Kolubaru. Između 15. i 24. maja palo je više od 200 mm kiše, što je više od tromesečnog proseka padavina za to doba godine. To je rezultiralo poplavama na površini zemljišta od 482700 ha (SGRF, 2014).

4.8. Poređenje metode tretmana zemljišta upotrebom jonizujućeg zračenja sa ostalim metodama za sterilizaciju zemljišta

4.8.1 Poređenje inovativnih i starih tehnologija i metoda za sterilizaciju zemljišta

Sterilizacija zemljišta je praksa koja se odavno primenjuje u komercijalnim plastenicima i kod poljoprivrednih proizvođača. Poljoprivrednici sterilišu svoja polja kada imaju problema sa bolestima u visokim usevima – sterilizacija je jeftinija od eventualnih tretiranja nastalih problema ili nadoknade potencijalnog gubitka čitavog useva.

Kod svake metode sterilizacije zemljišta postoje prednosti i nedostaci. Kada se procedure rigorozno poštuju, negativne posledice se mogu svesti na minimum.

Hemijski tretmani i toplotni tretmani su dve najčešće metode za sterilizaciju zemljišta (Strausbaugh, 2020), pored metode tretmana gama zračenjem, koje je ispitano u ovoj disertaciji.

Tretmani hemijske sterilizacije su jednostavni za upotrebu i primenu, čak i kada se steriliše velika količina zemljišta. Oni se uglavnom koriste u širem obimu od strane komercijalnih kompanija.

Međutim, postoje neki značajni nedostaci, zbog čega hemijski tretmani nisu toliko popularni:

- primene hemikalija mogu ugroziti zdravlje i bezbednost pojedinca koji ga primenjuje, kao i drugih u blizini;
- efekti savremenih hemikalija imaju prilično usku oblast upotrebe; u većini slučajeva, jedna hemikalija je efikasna samo protiv malog broja bolesti ili patogenih mikroorganizama;
- nakon nanošenja, sledi period karantina pre nego što se zemljište može ponovo koristiti; ovo je potrebno da bi se hemikalije potpuno razgradile ili isprale iz podloge;
- polutanti se mogu zadržati u zemljištu i ako se njima ne rukuje pravilno, biljke ih kroz korenje mogu apsorbovati i taložiti u svojim tkivima u opasnim koncentracijama;
- dugotrajna upotreba hemikalija može učiniti bolest ili patogene mikroogranizame otpornijim na specifičan tretman, vremenom ih čineći manje efikasnim ili čak neefikasnim.

Prilikom upotrebe toplotne sterilizacije, toplotni tretmani se češće koriste da bi se izbegli mnogobrojni nedostaci hemijske sterilizacije koji su već pomenuti. Toplotni tretmani podižu temperaturu zemljišta do tačke u kojoj opasni organizmi, spore gljivica, mikroorganizmi i semena korova ne mogu da prežive. Termička obrada se obično naziva sterilizacija, iako je ovo pogrešan naziv, jer zemljište nije potpuno sterilno na povišenim temperaturama.

Neželjeni organizmi se eliminišu na osnovu postignute unutrašnje temperature i vremena potrebnog za njihovu eliminaciju. Da bi se uništili određeni organizmi u vlažnom zemljištu, preporučuje se najmanje 30 minuta izlaganja na visokoj temperaturi.

Iako sterilizacija utiče na populaciju korisnih bakterija u zemljištu, ona ih, prema istraživanju, ne eliminiše u potpunosti. Određene vrste, kao što su *Pseudomonas* i *Bacillus*, brzo rekolonizuju zemljište nakon sterilizacije, a njihove populacije dostižu visoke nivoe u kratkom vremenskom periodu. Ova brza rekolonizacija nadmašuje pad populacije izazvan sterilizacijom.

Ako se dozvoli da unutrašnja temperatura podloge postane previsoka, toplotni tretmani mogu biti opasni. Fitotoksičnost rastvorljivih soli, toksičnost mangana i otrovnih organskih jedinjenja može biti povećana i dovesti do prekomernog zagrevanja zemljišta.

Kada su izložene preterano visokim temperaturama, veća je verovatnoća da će ova metoda naneti štetu mešavinama zemljišta gde je organska materija više zastupljena i brzo se raspada (stajnjak, buđ na lišću, kompost), nego u slučaju mineralnih zemljišta gde se organska materija potpuno razgradila.

Primena gama zračenja u životnoj sredini ima brojne prednost u odnosu na druge metode, kao što je sposobnost da brzo ubije bakterije i inaktivira viruse.

4.8.2 Upoređivanje operativnih troškova i primena inovativnih i starih tehnologija i metoda

Predviđanje uticaja nove tehnologije (akcelerator elektrona u postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda) na tekuće troškove postrojenja i životnu sredinu je ključna komponenta njegove primene. Nekoliko autora se bavilo temom ozračivanja kanalizacionog mulja. Tim na Floridi je definisao cenu od 2,50 $ za 3785 l mulja za postrojenje za zračenje elektrona od 1,5 MeV, koje radi pri 605 l u minuti, dok je druga grupa uporedila zračenje gama i elektronskim snopom za uzorak aktivnog mulja i dobila troškove tretmana od 4,20 $/m^3 za gama zračenje i 2,10 $/m^3 za zračenje elektronskim snopom, što je niže u poređenju sa 4,85–5,19 $, kada se koristi konvencionalna tehnologija u postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda Centralnog okruga „Miami Dade“ (Meeroff *et al*., 2004). Pored toga, urađeno je poređenje troškova između gama zračenja od 6 kGy i postrojenja za spaljivanja mulja, pri čemu je postrojenje za spaljivanje mulja koštalo 60,87 $/m^3 u poređenju sa 3,12 $/m^3 kada se koristi metod gama zračenja. Do sličnih rezultata došli su Engohang-Ndong i kolege sa 3 MeV akceleratorom elektrona. U ovom scenariju, trošak zračenja jednog kubnog metra mulja dozom od 25,7 kGy iznosio je 1,26 $ (Jean *et al*., 2015). Upoređivanjem sa drugim tehnologijama primećuje se da zračenje mulja elektronskim snopom koristi manje energije, samim tim je postrojenje efikasnije i potrebno je manje novca za njegov rad. Zračenje elektronskim snopom traje duže i ekološki je prihvatljivije tehnološko rešenje.

ZAKLjUČAK

Formirana je karta prostorne raspodele prikupljenih uzoraka 48 pozicija duž reke Kolubare, kao i hidrografska mreža, glavne saobraćajnice i urbane sredine na prostoru sliva reke Kolubare.

Osnovna hipoteza da su urbane, industrijske i eksploatacione aktivnosti u slivu reke Kolubare dovele do kontaminacije priobalnog zemljišta je jasno dokazana. Urbane sredine su odgovorne za kontaminaciju sliva i priobalnog zamljišta duž sliva reke Kolubare mikrooganizmima usled nedostatka infrastrukture i postrojenja za tretman otpadnih voda i muljeva, jer većina urbanih sredina u ovom slivu ne poseduje postrojenja za obradu otpadnih voda. Izuzeci su Valjevo i Barajevo koji poseduju postrojenja, ali su potrebna dodatna ulaganja kako bi se ispunili standardi EU. Utvrđeno je da nakon proticaja Kolubare kroz urbane sredine (Valjevo, Lajkovac, Lazarevac, Obrenovac) dolazi do trenda povećanja broja mikrooganizama i plesni u priobalnom zemljištu, dok njenim proticajem kroz ruralne i slabo naseljene oblasti imamo trend njihovog opadanja. Precizno određena distribucija patogenih mikroorganizama, ukupan broj mikroorganizama, plesni i bakterija, u priobalnoj oblasti duž reke Kolubare, kao i njihova vertikalna distribucija na 48 ispitivanih tačaka potvrđuje da su polutanti neravnomerno raspoređeni i ukazuje na uticaj urbanih celina.

Brojnost mikrooganizama na ušću reka Obnice i Jablanice (pozicija 1) iznosi (0.51 10^4cfu/g) na dubini od 20 cm i (1.04 10^4cfu/g) na dubini od 50 cm. Utvrđen je i najveći izvor zagađenja mikrooganizmima na dubini od 50 cm (7.40 10^4cfu/g) u slivu, pozicija uzorkovanja 29, na reci Lukavici, koja protiče kroz centar Lazarevca i potom se uliva u Kolubaru. Brojnost mikroorganizama na poziciji 48 ulivanja Kolubare u Savu na dubini od 20 cm iznosi (2.26 104cfu/g), dok na dubini od 50 cm iznosi (3.46 10^4cfu/g).

Prosečna vrednost ukupnog broja mikroorganizama u svim ispitivanim tačkama duž sliva reke Kolubare iznosi (1.78 104cfu/g) na dubini uzorkovanja od 20 cm, odnosno (2.37 104cfu/g) na dubini od 50 cm. Takođe je potvrđeno da je brojnost mikroorganizama veća na dubini od 50 cm, sa 39% u odnosu na dubinu od 20 cm i 4%, što nam ukazuje da zagađenje

zemljišta dolazi iz podzemnih slojeva i samog kontakta sa podzemnim vodama kontaminiranih vodotokova.

Analizom dobijenih podataka možemo da konstatujemo da teški metali ne premašuju propisane remedijacione vrednosti, mada većina analiziranih polutanata probija granične maksimalne vrednosti. Poreklo viših koncetracija teških metala može da bude prirodnog, geološkog porekla ili antropogenog porekla vezanog za industriju. Dobijeni podaci ukazuju na potrebu za budućim obimnijim istraživanjima teških metala u slivu Kolubare. U uzorcima prikupljenog zemljišta iz sliva reke Kolubare, utvrđene su koncetracije sadržaja teških metala na pozicijama (1, 28, 29, 32, 48). Sve su ispod granice remedijacionih vrednosti, osim jedinog izuzetaka, kod kog je neznatno povećan sadržaj bakra koji premašuje remedijacionu vrednost na poziciji uzorkovanja 32, na dubini od 20 cm (212 mg/kg), dok je na dubini od 50 cm – (209 mg/kg) (tabela 10.). U ovom slučaju, treba izvršiti sanaciju zemljišta radi smanjenja sadržaja bakra, pre tretmana gama zračenjem.

Mapiranjem distribucije doze unutar ozračenog uzorka odredila se efikasnost navedene metode. Dalje, ustanovljeno je da gustina proizvoda ima značajan uticaj na apsorbovanu dozu zračenja u proizvodu. Sa povećanjem gustine materijala, doza zračenja apsorbovana u materijalu linearno pada. Takođe, raspodela doze u kontejneru za uzorke ozračene u šaržnom režimu je prilično uporediva sa distribucijom doze u kontejneru za uzorke ozračene u brzom režimu. U svakom slučaju, zbog uporedive distribucije doze, zračenje uzoraka u kontejneru može se koristiti za brzu procenu uticaja zračenja na materijal sa visokim stepenom pouzdanosti.

Istraživanje u sklopu ove disertacije je imalo za cilj da optimizuje dozu zračenja i brzinu doze pogodne za inaktivaciju patogenih mikroorganizama iz kontaminiranog zemljišta na lokacijama duž reke Kolubare. Analizama je utvrđeno prisustvo tri patogene bakterije (*E. coli, S. Aureus* i *P. aeruginosa*). Potvrđeno je da doza od 3 kGy uništava sve patogene bakterije, 5 kGy inaktivira plesan, a 10 kGy potpuno steriliše tretirano zemljište. Takođe, pokazalo se da brzina doze ne igra značajnu ulogu u mikrobiološkoj dekontaminaciji zemljišta primenom gama zračenja.

Utvrđeno prisustvo patogenih mikroorganizama (*E. coli, S. Aureus* i *P. aeruginosa*) ukazuje na neophodnost izgradnje postrojenja za prečišćavanje i tretman otpadnih voda i mulja, a

tehnologija visokoenergetskog jonizujućeg zračenja bi doprinela sprečavanju dalje distribucije patogenih mikroorganizama kroz sliv reke Kolubare na samom mestu nastanka. U urbanim sredinama širom sliva reke Kolubare su u planu izgradnje postrojenja za preradu optadnih voda i muljeva. Metod visokoenergetskog jonizujućeg zračenja bi mogao da se upotrebi kao inovativno rešenje, kako u postojećim tako i u budućim postrojenjima za tretman otpadnih voda i muljeva. Korišćenjem ove tehnologije imali bismo efikasnija i profitabilnija postrojenja za tretman otpadnih voda i muljeva koja bi rešila višedecenijski problem zagađenja vodotokova i doprinela čistijoj životnoj sredini. Metodom primene visokoenergetskog jonizujućeg zračenja je dokazano da je moguća sterilizacija kontaminiranog zemljišta na jedan inovativan i brz način. Trenutno je moguće primenjivati ovu metodu samo na lokaciji Instituta za nuklearne nauke „Vinča“, u Beogradu, gde se nalazi industrijsko postrojenje za tretman gama zračenjem. Svakodnevnim napretkom u razvoju nuklearnih tehnologija možemo očekivati i inovacije koje će omogućiti efikasniju primenu metoda visokoenergetskog jonizujućeg zračenja na samim izvorima zagađenja u postrojenjima za tretman otpadnih voda i mulja.

Zračenje se dugo koristi za regulisanje mikrobne populacije u hrani, medicinskoj opremi i životnoj sredini, a upotreba zračenja elektronskim snopom za iskorenjivanje mogućih ljudskih i životinjskih patogena iz kanalizacionog mulja je nova. Tehnologija je dokazala svoju sposobnost da eliminiše bakterijske populacije do nivoa koji se smatraju bezbednim za ljude i životnu sredinu. Pokazalo se da su cene korišćenja tehnologije metoda visokoenergetskog jonizujućeg zračenja za čišćenje kanalizacionog mulja konkurentne tradicionalnim metodama i troškovima tretmana kanalizacionog mulja, poput mehaničke i hemijske metode. Upotreba ove tehnike otvara nove mogućnosti velikim gradovima širom sveta da bezbedno recikliraju mulj iz komunalnih otpadnih voda.

LITERATURA

Aguilar, J., Urday-Cornejo, V., Donabedian, S., Perri, M., Tibbetts, R. (2010). Staphylococcus aureus meningitis: case series and literature review. Medicine (Baltimore) 89(2): pp. 117-125.

Adriano, D. C. (2002). Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability, and risk of metals. Springer- Verlag, Berlin. XII, pp. 867. https://doi.org/10.1007/978-0-387-21510-5

Azara, E., Piras, M. G., Parisi, A., Tola, S. (2017). Antimicrobial susceptibility and genotyping of Staphylococcus aureus isolates collected between 1986 and 2015 from ovine mastitis. Vet Microbiol 205: pp. 53-56.

Al-Bachir, M., Al-Adawi, M. A., & Shamma, M. (2003). Synergetic effect of gamma irradiation and moisture content on decontamination of sewage sludge. Bioresource Technology, 90(2), pp. 139–143. doi:10.1016/s0960-8524(03)00124-x

Ali Mussad, R. (2004). Disinfection of Sewage Water and Sludge using Gamma Radiation, Sudan Academy of Sciences (SAS), Atomic Energy Research Coordination Council.

Anđelković, M., Mitrović-Petrović, J., Jankičević, J. (1989). Paleogeografija Srbije, kreda, RGF, Beograd.

Antić-Mladenović, S., Frohne, T., Kresović, M., Stärk, H. J., Tomić, Z., Ličina, V., Rinklebe, J. (2017). Biogeochemistry of Ni and Pb in a periodically flooded arable soil: fractionation and redox-induced (im)mobilization. J Environ Manag 186: pp.141–150

Bajić, D., Polomčić, D. (2012). A conceptual hydrogeological model for open pit mine Polje E (Kolubara coal basin, Serbia). u: Růžička J., Růžičková K. [ur.] The GIS Ostrava 2012: Surface models for geosciences symposium, Ostrava, Czech Republic, 23-25 January 2012, Proceedings of, Ostrava: Technical University of Ostrava-Vysoká škola báňská, pp 1-12.

Baley, D., Humm, J., Todd-Pokropek, A., Van Aswegen, A. (2014). Nuclear Medicine Physics: A Handbook for Teachers and Students, IAEA.

Ballard, J. (2018). Radiation Safety. Oregon: Linn Benton Community College

Baskaran, V., Dhivakar, M. R., Gunasegaran, V. (2020). Electrokinetic remediation of copper polluted soil concatenated with an adsorption zone. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 14, 100395. doi:10.1016/j.enmm.2020.100395

Bates, B. C., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Palutikof, J. P. (2008). Climate change and water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change. IPCC Secretariat, Geneva

Belanović-Simić, S., Perović, V., Vidojević, D., Kostadinov, S., Knežević, M., Kadović, R., Kosanin, O. (2013). Assessment of soil erosion intensity in Kolubara District, Serbia. Fresenius Environ Bull 22(5a): pp. 1556–1563

Bell, H. (2000). Fumigation in the 21st century. Crop Protect. 19, pp. 563–569.

Belyaev, A., Ross D. (2021). Beta-Decay. The Basics of Nuclear and Particle Physics pp. 105-125

Bojanowska-Czajka, A. (2021). "Decomposition of diclofenac in sewage from municipal wastewater treatment plant using ionizing radiation" Nukleonika, vol.66, no.4, 2021, pp.201-206. https://doi.org/10.2478/nuka-2021-0029

Borrely, S. I., Cruz, A. C., Delmaestro, N. L., Sampa, M .H. O., Somessari, E. S. (1998). Radiation processing of sewage sludge: A review. Progress in Nuclear Energy. 1998; 33: pp. 3-21

Bose, S., Bhattacharyya, A. K. (2008). Heavy metal accumulation in wheat plant grown in soil amended with industrial sludge, Chemosphere, 70, pp. 1264– 1272.

Buhač, D., et al. (2012). Designe solution of open pit South Field dewatering from surface and underground water, coal basin Kolubara. u: Pavlović V. [ur.] The X International Opencast Mining Conference OMC 2012, Belgrade: Yugoslav Opencast Mining Committee, Proceedings of, pp. 19-32.

Vakanjac, B., Gajić, V., Ristić Vakanjac, V., Božić, N. (2016). “Metodologija izrade prostorne baze zagađivača reke Drine“, Peta nacionalna naučna konferencija “Inovacioni modeli ekosistemskog inženjerstva“, 8. Oktobra, Beograd.

Vakanjac, B., Ristić Vakanjac, V., (2015). Primena GIS-a pri kartiranju devostiranih područja, Prvo savetovanje sa međunarodnim učešćem Informacione tehnologije razvoj i primena u unapređenju životne sredine, "IT EKO 2015" (ed. Tanasijević Lj. i Cokić Z.), pp 98-111, Beograd, ISBN: 978-86-80464-00-8, COBISS.SR-ID 219554572, Izdavač: Udruženje klaster komora za zaštitu životne sredine i održivi razvoj, Beograd.

Vakanjac, B., Ristić Vakanjac, V., Bartula, M., Aleksic, J. (2014).: Devastation of riverside areas by gravel mining: Case study of the Bogatić Municipality in Serbia, International Conference „Ecological Improvment of Devastated Sites for Sustainable Development“ – ECOIDS-2014 (Ed. Gordana Dražić), pp 29-36, Belgrade, Serbia,

ISBN 978-86-86859-39-6, COBISS.SR-ID 212253452, Publisher: Faculty of Applied Ecology, Belgrade

Vakanjac, B., Čoporda Mastilović, T. (2010). "Ležište mineralnih sirovina, zagađenje i problemi, organizacija GIS baze podataka", Zbornik radova, Međunarodna konferencija „Degradirani prostori i ekoremedijacija", 21.-22.maj, Beograd, str. 121

Vasović, M. (2002). Podrinjsko-valjevske planine. Valjevo: Agencija Valjevac

Vujčić, I., Mašić, S., Spasevska, H., Dramicanin, M. (2018). Accuracy of Determining Absorbed Irradiation Dose at Different Temperature Measurements Using Ethanol-Chlorobenzene Oscillotitrator system, Nuclear Technology and Radiation Protection, 33(04), pp. 363-368. doi: 10.2298/NTRP180316004V

Gavrilović, L., Dukić, D. (2002). Reke Srbije. Beograd: Zavod za udžbenike i nastavna sredstva

Gajić, V., Vujčić, I., Dražić, G., Milovanović, J., Mašić, S. (2022). Use of high-energy ionizing radiation for microbiological decontamination of coastal soil in the Kolubara river basin, Nuclear technology and radiation protection, Vol. XXXVI, No. 3, pp. 261 - 270, Jan, 2022

Gamliel, A., Hadar, E., Katan, J. (1987). Microbial phenomena related to increased growth response in solarized soils and to monoculture systems. Proceedings of the 7th Congress of the Mediterranean Phytopathological Union.

Gautam, S., Shah, M. R., Sabharwal, S., Sharma, A. (2005). Radiation hygienization and value addition to municipal sewage sludge, Water Environ. Res. 77 (2005) pp. 472–479.

Geolis, Geological Information System of Serbia (2010). Osnovne geološke karte Srbije 1:100000. Zavod za geološka i geofizička istraživanja Beograd 1959–1966. http://geoliss.mre.gov.rs/

Gräfe, J. (2021). X-Ray Magnetic Circular Dichroism and X-Ray Microscopy. Magnetic Measurement Techniques for Materials Characterization pp. 231-245

Gracheva, A. Yu., Zav'yalov, M. A., Ilyukhina, N. V., Kukhto, V. A., Tarasyuk, V. T., Filippovich, V. P., Egorkin, A. V., Chasovskikh, A. V., Pavlov, Yu. S., Prokopenko, Strokova, A. V., N. E., Artem'ev, S. A., Polyakova, S. P. (2016). Enhancement of efficiency of storage and processing of food raw materials using radiation technologies. Physics of Atomic Nuclei volume 79, pp. 1682–1687

Green, C., Dieperink, C., Ek, K., Hegger ,D. L. T., Pettersson, M., Priest, S., Tapsell, S. (2013). Flood risk management in Europe: the flood problem and interventions (report no D1.1.1), STAR-FLOOD Consortium, Utrecht

Grupa autora (1989). Geologija šire okoline Beograda. Knjiga IV, paleogeografija, RGF, Beograd.

Grupa autora, (1984). Degurićka pećina, Elaborat, Društvo istraživača „ Vladimir Mandić – Manda“ , Valjevo;

Gheorghe, S., Stoica, C., Vasile, G. G., Nita-Lazar, M., Stanescu, E., Lucaciu, I. E. (2017). Metals Toxic Effects in Aquatic Ecosystems: Modulators of Water Quality. Water Quality. doi:10.5772/65744

Degrange, V., Lensi, R., Bardin, R. (1997). Activity, size, and structure of a Nitrobacter community as affected by organic carbon and nitrite in sterile soil. FEMS Microbiol. Ecol. 24, pp. 173–180

Deredjian, A., Colinon, C., Hien, E., Brothier, E., Youenou, B., Cournoyer B., Dequiedt, S., Hartmann, A., Jolivet, C., Houot, S., Ranjard, L., P. A. Saby N., Nazaret1, S.(2014). Low occurrence of Pseudomonas aeruginosa in agricultural soils with and without organic amendment. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology,4. doi:10.3389/fcimb.2014.00053

Diggle, S., Whiteley, M. (2020). Microbe Profile: Pseudomonas aeruginosa:opportunistic pathogen and lab rat. Microbiology 166 (1): pp. 30–33. doi:10.1099/mic.0.000860

Doi, Y., Nakanishi, I., Konno, Y. (2000). Operational experience of a commercial scale plant of electron beam purification of flue gas, Radiat. Phys. Chem. 57 (2000) pp. 495–499.

Dokmanović, P., Stevanović, Z., Matić, I., Ristić Vakanjac, V. (2013). Stručno mišljenje o hidrogeološkim aspektima gradnje RVS „Rovni“, Beograd;

Kalabić, D., Dražić, G., Dražić, N., Ikanović, J. (2019): Production of Agri-Energy Crop Miscanthus gigantheus on Land Degraded by Power Industry: SWOT Analysis. Pol. J. Environ. Stud. 28(5):3243–3251, DOI: https://doi.org/10.15244/pjoes/93745

Dragićević, S. (2002). Kvantitativna analiza reljefa na primeru sliva Kolubare. Globus br. 27, SGD, Beograd.

Dragićević, S., Živković, N., Ducić, V. (2007): Factors of flooding on the territory of the municipality of Obrenovac. Zbornik radova Geografskog fakulteta, sv. 55, Beograd.

Dragićević, S., Živković, N., Novković, I., Petrović, A., Tošić, R., Milevski, I. (2016): Hydro- logical and suspended sediment regime in the Kolubara River during the extreme year of 2014. Revista de Geomorfologie, 18: 26–38

Dragicevic, S., Zivkovic, N., Roksandic, M., Kostadinov, S., Novkovic, I., Tosic, R., … Blagojevic, B. (2012). Land Use Changes and Environmental Problems Caused by Bank Erosion: A Case Study of the Kolubara River Basin in Serbia. Environmental Land Use Planning. doi:10.5772/50580

Drndarski, N., Stojic, D., Markov, Z. (1993). Stable isotopes in periphyton and sediments from the kolubara river and its tributaries. Environmental Pollution 80, pp. 287-292

Dukić, D. Ž. (1982). Hidrologija kopna. Beograd: Naučna knjiga

Du Laing, G., Rinklebe, J., Vandecasteele, B., Meers, E., Tack, F. M. G. (2009). Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review. Sci Total Environ 407(13): pp. 3972–3985. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.07.025

Ducić, V, Radovanović M (2005): Klima Srbije, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, str. 212.

Đorđević, S., Dželetović, Ž., Stanojević, D., Radan, Z. (2014). Mikrobiološke i biohemijske osobine deposola RB "Kolubara". Zaštita materijala 55(1), pp. 91-94

Đukanović, D. (2000). Klima Valjevskog kraja. Skupština opštine Valjevo, Valjevo.

Eno, C. F., Popenoe, H. (1964). Gamma radiation compared with steam and methyl bromide as a soil sterilizing agent. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 28, pp. 533–535.

Erftemeijer, P. L. A., Riegl, B., Hoeksema, B. W., Todd, P. A. (2012). Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: a review. Mar Pollut Bull 64(9): pp. 1737–1765. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.008

Etzel, J. E., Born, G. S., Stein, J., Helbing, T. J., Baney, G. (1969). Sewage sludge conditioning and disinfection by gamma irradiation. Am. J. Public Health, 59, pp. 2067-2076

Eugenio, N. R., McLaughlin, M., Pennock, D. (2018). Soil pollution: a hidden reality. Food and agriculture organization of the united nations Rome, Italy

ECS (2017). European committee for standardization. 2017 ISO/ASTM 51538:2017: Standard practice for use of the ethanol-chlorobenzene dosimetry system

Živković, N. (1995): Uticaj fizičko-geografskih faktora na visinu oticaja u Srbiji.

Živković, N., Dragićević, S. (2003): Režim padavina u regionu Beograd. Međunarodni naučni skup "Beograd i njegov region", Obrenovac, str. 159-166.

Zhang, J., Zhang, G., Cai, D., Wu, Z. (2015). Immediate remediation of heavy metal (Cr(VI)) contaminated soil by high energy electron beam irradiation. Journal of Hazardous Materials, 285, pp. 208–211. doi:10.1016/j.jhazmat.2014.11.007

IAEA, International Status and Prospects for Nuclear Power (2017). Report by the Director General, 2017.

Iller, E., Chmielewska, D. K., Koczy, B., Rygula, C. (2002). Testing of Compact ESP for Removal of Hydroscopic Ammonium Salts from Flue Gases, Rep. A-5/2002, 52, Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw (in Polish).

Ingham, E.R. (2020). Soil Bacteria, Natural Resources Conservation Service Soils - United States Department of Agriculture

IPE, (2011). Influence of plant-earthworms' interactions on SOM chemistry and p, p'-DDE bioaccumulation. Chemosphere, 83 (2011), pp. 897-902.

Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah -Al- Mamun, M., & Islam, M. K. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. Ecological Indicators, 48, pp. 282–291. doi:10.1016/j.ecolind.2014.08.016

ISO/ASTM 51538 (2009). Practice for use of the ethanol-chlorobenzene dosimetry system, International Organization for Standardization. (2009)

Jean, E-N., Uribe, R. M., Roger, G., Mahinda, G., Nickelsen, M.G., Philip, L. (2015). Effect of electron beam irradiation on bacterial and Ascaris ova loads and volatile organic compounds in municipal sewage sludge. Radiation Physics and Chemistry. 2015;112:6-12. DOI: 10.1016/j.radphyschem.2015.02.013

Jež, Ž., Kaluđerović, Z. (1985). Šalitrena pećina, paleolitsko i neolitsko nalazište, Arheološki pregled za 1985. godinu, Ljubljana;

Jovanović, B. (1956). Reljef sliva reke Kolubare, Srpska akademija nauka, knj CCLXIII, Geografski institut, knj. 10, Beograd;

Joksić, D., Bajat, B. (2004). Elements of spatial data quality as information technology support for sustainable development planning. Spatium, br. 11, str. 77-83

Josimović, B. (2003). Implementation of the environmental management system in spatial planning. Belgrade: Faculty of Geography, Master Thesis

Josimović, B. (2008). Spatial aspects in communal waste management in Kolubara region. Belgrade: Faculty of Geography, PhD dissertation

Kalnejais, L. H., Martin, W. R., & Bothner, M. H. (2010). The release of dissolved nutrients and metals from coastal sediments due to resuspension. Marine Chemistry, 121(1-4), pp. 224–235. doi:10.1016/j.marchem.2010.05.002

Karlović, E. (2010). Muljevi od prečišćavanja komunalnih otpadnih voda – legistativa korišćenja i tretmana muljeva

Kelsey, J. W., Slizovskiy, I. B., Peters, R. D., Melnick A. M. (2010). Sterilization affects soil organic matter chemistry and bioaccumulation of spiked p, p'-DDE and anthracene by earthworms. Environ. Pollut., 158 (2010), pp. 2251-2257.

Kovács, A., Miller, A. (1986). Electron dose determination by ethanol-monochlorobenzene dosimeter. Radiation Physics and Chemistry, 28 (5–6), 531-533. doi: 10.1016/1359-0197(86)90183-9

Kovács, A., Slezsák, I., McLaughlin, W. L., Miller, A. (1995). Oscillometric and conductometric analysis of aqueous and organic dosimeter solutions. Radiation Physics and Chemistry, 46(4-6), pp. 1211–1215. doi:10.1016/0969-806x(95)00357-4

Kovács, A., Stenger, V., Földiák, G. (1987). Evaluation methods of the ethanol — monochlorobenzene dosimeter system, Proceedings of the 6th Tihany Symposium on Radiation Chemistry, 2, pp. 701–709

Kotowska, U., Zalikowski, M., Isidorov, V. A. (2012). HS-SPME/GC-MS analysis of volatile and semi-volatile organic compounds emitted from municipal sewage sludge. Environmental Monitoring and Assessment. 2012;184:2893-2907

L'Annunziata, M. (2007). Radioactivity, Elsevier Inc.

L'Annunziata, M. (2012). Handbook of Radioactivity Analysis, Elsevier Inc.

Lee, O. M.; Kim, H. Y.; Park, W.; Kim, T. H.; Yu, S. (2015). A comparative study of disinfection efficiency and regrowth control of microorganism in secondary wastewater effluent using UV, ozone, and ionizing irradiation process. J. Hazard. Mater. 2015, 295, pp. 201–208.

Lessel, T. (1990). The sewage sludge irradiation plant in "Geiselbullach". In: Joint Meeting of American Society of Civil Engineers, Task Committee on Radiation Energy Treatment of Water, Wastewater and Sludges IAEA Coordination Research Group, Arlington (USA), pp. 1–21

Lessel, T., Suess, A. (1984). Ten year experience in operation of sewage treatment plant using gamma irradiation. Radiation Physics and Chemistry. 1984;24:3-11

Liegel, L. J. (1986). Effects of sterilization procedures on the biological, chemical, and physical properties of soils: a review. Turrialba 36, pp. 11–19.

Little, J. (2003). Principal Cellular and Tissue Effects of Radiation, Holland-Frei Cancer Medicine. 6th edition, 2003.

Liu, J., Sun, S. (2013). Total concentrations and different fractions of heavy metals in sewage sludge from Guangzhou, China. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23(8), pp. 2397–2407. doi:10.1016/s1003-6326(13)62747-8

Liu, J.,Wang, J., Chen, Y., Xie, X., Qi, J., Lippold, H., Luo, D.,Wang, C., Su, L., He, L.,Wu, Q. (2016). Thallium transformation and partitioning during Pb–Zn smelting and environmental implications. Environ Pollut 212: pp. 77–89. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.046

Lotrario, J. B., Stuart, B. J., Lam, T., Arands, R. R., O'Connor, O. A., Kosson, D. S. (1995). Effects of sterilization methods on the physical characteristics of soil: implications for sorption isotherm analyses. Bull. Environ. Contam.Toxicol. 54, pp. 668– 675

Luo, G. (2012). Determination of Total Arsenic in Wastewater and Sewage Sludge Samples by Using Hydride-Generation Atomic Fluorescence Spectrometry Under the Optimized Analytical Conditions. Analytical Letters, 45(17), pp. 2493–2507. doi:10.1080/00032719.2012.694131

Luo, Y. M., Yan, W. D., Christie, P. (2001). Soil solution dynamics of Cu and Zn in a Cu- and Zn-polluted soil as influenced by -irradiation and Cu-Zn interaction. Chemosphere 42, pp. 179–184.

Marlise, dos S., Beatriz, A De S., Débora, M. C., Cintia, A. R., Felipe, C. E., Ana Maria, M. Da S., Nícollas, G. C., Phillipe, A. S., Thais, R. (2019). The Effects of Hypergravity and Radiation Exposure on Plants -Preliminary Results; Conference: AsMA 2019; Las Vegas, USA

Martínez-Santos, M., Probst, A., García-García, J., Ruiz-Romera, E. (2015). Influence of anthropogenic inputs and a high-magnitude flood event on metal contamination pattern in surface bottom sediments from the Deba River urban catchment. Sci Total Environ 514: pp. 10–25. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.078

Matić, B. I., Rakić, U. D., Dejanović, S. M., Jovanović, V. S., Jevtić, M. R., Đonović, N. Ž. (2017). Industrijski kontaminirani lokaliteti u Srbiji kao potencijalna javno-zdravstvena pretnja za izloženu populaciju. Tehnika vol. 72, br. 3, str. 441-447

Mahmood, T., Mehnaz, S., Fleischmann, F., Ali, R., Hashmi, Z. H., Iqbal, Z. (2014). Soil sterilization effects on root growth and formation of rhizosheaths in wheat seedlings. Pedobiologia, 57(3), pp. 123–130. doi:10.1016/j.pedobi.2013.12.005

Meeroff, D., Waite, T., Kazumi, J., Kurucz, C. (2004). Radiation-assisted process enhancement in wastewater treatment. Journal of Environmental Engineering. 2004;130:155-166

Mijatović, B. (1983). Zavisnost hidrodinamičkog režima i bilansa izdani od dubinske cirkulacije u Lelićkom karstu, Zbornik radova odbora za kras i speleologiju SANU, br. 1, str. 1-24, Srpska akademija nauka i umetnosti, Beograd;

Milačič, R., Zuliani, T., Vidmar, J., Oprčkal, P., Ščančar, J. (2017). Potentiallytoxic elements in water and sediments of the Sava River under extreme flow events. Sci Total Environ 605–606: pp. 894–905. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.260

Milojević, N. (1959). Geologija i hidrogeologija terena južno od Valjeva, doktorska disertacija, Rasprave zavoda za geološka i geofizička istraživanja VIII, Beograd;

Molamahmood, H. V., Qin, J., Zhu, Y., Deng, M., Long, M. (2020). The role of soil organic matters and minerals on hydrogen peroxide decomposition in the soil. Chemosphere 249, 126146. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126146

Moradi, F., Khandaker, M. U., Mahdiraji, G. A., Ung, N. M., & Bradley, D. A. (2017). Dose mapping inside a gamma irradiator measured with doped silica fibre dosimetry and Monte Carlo simulation. Radiation Physics and Chemistry, 140, 107–111. doi:10.1016/j.radphyschem.2017.01.032

Mortuza, M. F., Lepore, L., Khedkar, K., Thangam, S., Nahar, A., Jamil, H. M., Alam, M. K. (2018). Commissioning dosimetry and in situ dose mapping of a semi-industrial Cobalt-60 gamma-irradiation facility using Fricke and Ceric-cerous dosimetry system and comparison with Monte Carlo simulation data. Radiation Physics and Chemistry, 144, 256–264. doi:10.1016/j.radphyschem.2017.08.022

McNamara, N. P., Black, H. I. J., Beresford, N. A., Parekh, N. R. (2003). Effects of acute gamma irradiation on chemical, physical and biological properties of soils. Applied Soil Ecology, 24(2), pp. 117–132. doi:10.1016/s0929-1393(03)00073-8

Navab-Daneshmand, T., Julian, T. R., Mosler, H-J., Friedrich, M. N. D., Montealegre, M. C., Gächter, M., Mlambo, L. S. (2018). Escherichia coli Contamination across Multiple Environmental Compartments (Soil, Hands, Drinking Water, and Handwashing Water) in Urban Harare: Correlations and Risk Factors. The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 98(3), pp. 803–813. doi:10.4269/ajtmh.17-0521

N'guessan, Y. M., Probst, J. L., Bur, A., Probst, A. (2009). Trace elements in stream bed sediments from agricultural catchments (Gascogne region, S-W France): where do they come from? Sci Total Environ 407(8): pp. 2939–2952. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.047

OGRS (2019). Službeni glasnik Republike Srbije. 2019. Uredba o graničnim vrednostima zagađujućih materija, štetnih i opasnih materija u zemljištu, 30/2018, 64/2019

Okazaki, M., Hirata, E., Tensho, K. (1983). TTC reduction in submerged soils. Soil Sci. Plant Nutr. 29, pp. 489–497.

Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R. 919820. (2009). Methods of Soil Analysis, part 2, 2nd edition. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Paterne, M., Michel, É., Hatté et Jean-Claude Dutay C. (2020). Carbon-14. Paleoclimatology pp. 51-71

Peng, J., Song, Y., Yuan, P., Cui, X., Qiu, G. (2009). The remediation of heavy metals contaminated sediment. Journal of Hazardous Materials, 161(2-3), pp. 633–640. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.04.061

Person, J. C., Ham, D. O. (1988). Removal of SO2 and NOx from stack gases by electron beam irradiation, Radiat. Phys. Chem. 31 (1988) pp. 1–8.

Petrović, A., Kostadinov, S., Dragićević, S. (2014). The inventory and characterization of torrential flood phenomenon in Serbia. Pol J Environ Stud 23(3): pp. 823–830

Pierce, J., Weiner, R., Veslind, P. (1998). Environmental Pollution and Control, Elsevier Inc.

Pikaev, A. K. (1998). "Electron-beam purification of water and wastewater", Envi- ronmental Application of Ionizing Radiation, Wiley-Interscience, New York (1998) pp. 495–506.

Piuković-Babičković, B., Vojinović, Ž., Vukadinović, P. (2016). Inovirano prečišćavanje otpadnih voda kao preduslov za korišćenje mulja u poljoprivredi. Ekonomika poljoprivrede, vol. 63, br. 2, str. 471-484

Podzorova, E. A., Ryabchenko, V. I., Ryabchenko N. I. (1992). Radiation treatment of industrial sewage.

Popović, A. R., Đordević, D. S., Relić, D. J., Đinović-Stojanović, J. M. (2013).: Termoelektrane u Srbiji kao mogući izvori zagađivanja površinskih i podzemnih voda makro- i mikroelementima. U: Energetika i životna sredina (ur. Anbelkovic, M.), Srpska Akademija Nauka i Umetnosti, Beograd, str. 373-401.

Radovanović, M. (2001). Uticaj reljefa i atmosferske cirkulacije na diferencijaciju klimata u Srbiji. Doktorska disertacija, Geografski fakultet, Beograd.

Ramsay, A. J., Bawden, A. D. (1983). Effects of sterilization and storage on respiration, nitrogen status and direct counts of soil bacteria using acridine orange. Soil Biol. Biochem. 15, pp. 263–268.

Ranković, B., Nikolić, N., Mašić, S., Vujčić, I. (2020). Dose mapping of products with different density irradiated in 60Co irradiation facility of the Vinca institute, Serbia. Nuclear Technology and Radiation Protection, 35(1), 56-63. doi:10.2298/NTRP2001056R

Rawat, K. P., Sharma, A., Rao, S. M. (1997). Microbiological and physicochemical analysis of radiation disinfected municipal sewage, Water Res. 32 (1997) pp. 737– 740.

Reinthaler, F.F., Galler, H., Feierl, G., Haas, D., Leitner, E., Mascher, F., et al. (2013). Resistance patterns of Escherichia coli isolated from sewage sludge in comparison with those isolated from human patients in 2000 and 2009. Journal of Water and Health. 2013;11:13-20

Roca, N., Pazos, MS., Bech, J. (2012). Background levels of potentially toxic elements in soils: a case study in Catamarca (a semiarid region in Argentina). Catena 92: pp. 55–66. https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.11.009

Ruiz-Fernández, A. C., Sanchez-Cabeza, J.-A., Alonso-Hernández, C., Martínez-Herrera, V., Pérez-Bernal, L. H., Preda, M., Quejido-Cabezas, A. J. (2012). Effects of land use change and sediment mobilization on coastal contamination (Coatzacoalcos River, Mexico). Continental Shelf Research, 37, pp. 57–65. doi:10.1016/j.csr.2012.02.005

Ruml, M., Gregorić, E., Matović, G., Radovanović, S., Vujadinović, M., Vuković, A. (2016). Temperature and Precipitation Changes in Serbia Between 1961 and 2010. Annals of the University of Craiova Agriculture, Montanology, Cadastre Series, 46(2): pp. 260-265

Rutherford, E., Royds T. (1908). Spectrum of the radium emanation, Philosophical Magazine, Series 6, vol. 16, pp. 313–317

Sabharwal, S., Shah, M. R., Kumar, N., Patel, J. B. (2004). "Technical and economical aspects of radiation hygienization of municipal sewage sludge using gamma irradiator", Radiation Processing of Gaseous and Liquid Effluents, internal report, IAEA, Vienna, 2004.

Samardzic, I. (2017). Occupation and land degradation due to mining works: Example of the 'Kolubara' mining basin. Zbornik radova - Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu (65-1a), pp. 307-318. doi:10.5937/zrgfub1765307S

Sameh F. N., Anwaar A., Iman S. N., Mona M., Alsherbeny, H. A., Naglaa M. F., Hadeer H., Sawsan M. (2022) Primary and secondary sludge treatment using ionizing radiation technology in Alexandria, Egypt, Applied Radiation and Isotopes, Volume 181, 2022, 110101, https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110101.

Sampa, M. H. O. (2004). "Ongoing research in Brazil using electron beam liquid waste treatment", Status of Industrial Scale Radiation Treatment of Wastewater and its Future, IAEA-TECDOC-1407, IAEA, Vienna (2004) pp. 29—36.

Sandoli, R. L., Ghiorse, W. C., Madsen, E. L. (1996). Regulation of microbial phenanthrene mineralization in sediment samples by sorbent-sorbate contact time, inocula and gamma irradiationinduced sterilization artifacts. Environ. Toxicol. Chem. 15, pp. 1901–1907.

Santos-Araujo, S. N., Alleoni, L. R. F. (2016). Concentrations of potentially toxic elements in soils and vegetables from the macroregion of São Paulo, Brazil: availability for plant uptake. Environ Monit Assess 188(2): pp. 92. https://doi.org/10.1007/s10661-016-5100-2

SGRF (2014). Serbian Government Reports on Floods 2014. http://reliefweb.int/report/serbia/serbia-floods-2014

Sivinski, J., Ahlstrom, S. (1984). Summary of Cesium-137 sludge irradiation activities in the United States. Radiation Physics and Chemistry Special Issue on Irradiation Technology for Environmental Conservation. 1984. p. 14

Smolders, E., Oorts, K., Sprang, P.van, Schoeters, I., Janssen, C. R., McGrath, S. P. (2009). Toxicity of trace metals in soil as affected by soil type and aging after contamination: Using calibrated bioavailability models to set ecological soil standards, Environ Toxic Chem, 28(8), pp. 1633–1642.

Solpan, D., Guven, O., Takacs, E., Wojnariwits, L., Dajka, K. (2003). High energy irradiation treatment of aqueous solutions of azo dyes: Steady state gamma radiolysis experiments, Radiat. Phys. Chem. 67 (2003) pp. 531–534.

Stankovic, S., Kalaba, P., & Stankovic, A. R. (2013). Biota as toxic metal indicators. Environmental Chemistry Letters, 12(1), pp. 63–84. doi:10.1007/s10311-013-0430-6

Stanojević, D. (2009). Biogeografske osobenosti kanjonsko-klisurastog dela doline reke Ribnice i njihova adekvatna zaštita. Zbornik radova - Geografski fakultet Univerziteta u Beogradu, br. 57, str. 47-58

Stanojković-Sebić, A., Dinić, Z., Maksimović, J., Ferdinando, M., Jaramaz, D., Pivić, R. (2015). Stanje i predlog mera popravke zemljišta opštine Veliko Gradište. U: Održivo korišcenje zemljišta (ur. Ninkov, J., zbornik radova naučno-stručnog skupa, 10. septembar 2015., Rimski Šančevi), Institut za ratarstvo i povrtarstvo, Novi Sad, str. 123-129.

Strausbaugh, C. A. (2020). Soil sterilization. AccessScience. https://doi.org/10.1036/1097-8542.632500

Stroetmann, I., Kämpfer, P., Dott, W. (1994). Untersuchungen zur effizienz von sterilisationsverfahren an unterschiedlichen böden (in German, with English Abstract). Zbl. Hyg. Umweltmed 195, pp. 111–120

Supran, G., Oreskes, N. (2017). Assessing ExxonMobil's climate change communications (1977-2014). Environmental Research Letters, Vol. 12, No 8

Shamma, M., Al-Adawi, M. A. (2002). The morphological changes of Ascaris lumbricoides ova in sewage sludge water treated by gamma irradiation. Radiation Physics and Chemistry, 65. 277-279 doi:10.1016/s0969-806x(02)00211-6

Shamos, M. (1959). Great Experiments in Physics, Dover.

Tebbe, C. C., Reber, H. H. (1991). Degradation of [14C] phosphinothricin (glufosinate) in soil under laboratory conditions: effects of concentration and soil amendments on 14CO2 production. Biol. Fertil. Soils 11, pp. 62–67.

Tokunaga, O., Suzuki, N. (1984). Radiation chemical reactions in NOx and SO2 removals from flue gas, Radiat. Phys. Chem. 24 (1984) pp. 145–165.

Tomić, M. (2012). Application of remote sensing in environmental on the example of RB 'Kolubara'. u: International conference on land conservation - Landcon 1209 sustainable land management and climate changes, 2012 Danube Region, September 17-21, Donji Milanovac, Serbia

Trevors, J. T. (1996). Sterilization and inhibition of microbial activity in soil. J. Microbiol. Meth. 26, pp. 53–59.

Trump, J. G. (1981). Energized Electrons Tackle Municipal Sludge. American Scientist. 1981;69:276

UNEP (1999). UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME 1999. Global Environment Outlook 2000, UNEP, Nairobi (1999).

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (2012). "Annex B". Sources and Effects of Ionizing Radiation.vol. 1.United Nations.p. 121. 2012. [49] Radiation and your patient (2001).: A guide for medical practitioners ICRP Supporting Guidance 2 Approved by ICRP Committee 3 in September 2001, 2001

Unkašević, M., Tošić, I. (2011): A statistical analysis of the daily precipitation over Serbia: trends and indices. Theoretical and Applied Climatology, 106:69–78.

Urban, T. (2014). Estimation of the radiation field homogeneity in 60Co blood irradiator. Radiation Physics and Chemistry, 104, 381–384. doi:10.1016/j.radphyschem.2014.05.001

Fernando, D. R., Lynch, J. P. (2015). Manganese phytotoxicity: new light on an old problem. Annals of Botany, 116(3), pp. 313–319. doi:10.1093/aob/mcv111

Filipović, I. (2005). Spatial distribution of geological resources in northwestern Serbia (Jadar block terrane) and its relation to tectonic structures. Annales Géologiques de la Péninsule Balkanique 66: pp. 17–20

Förstner, U., Wittmann, G. T. (1981). Metal Pollution in the Aquatic Environment, Springer-Verlag

Fursova, K. K., Shchannikova, M. P., Loskutova, I. V., Shepelyakovskaya, A. O., Laman, A. G. (2018). Exotoxin diversity of Staphylococcus aureus isolated from milk of cows with subclinical mastitis in Central Russia. J Dairy Sci 101(5): pp. 4325-4331.

Haagsma, J. A., Polinder, S., Stein, C.E., Havelaar, A. H. (2013). Systematic review of foodborne burden of disease studies: Quality assessment of data and methodology. Int J Food Microbiol 166(1): pp. 34-47.

Håkanson, L., Jansson, M. (1983). Principles of Lake Sedimentology, Springer-Verlag, Berlin

Han, B., et al. (2002). Combined electron-beam and biological treatment of dyeing complex wastewater: Pilot plant experiments, Radiat. Phys. Chem. 64 (2002) pp. 53– 59.

Hashimoto, S., Kawakami, W. (1979). Application of process control techniques to radiation treatment of wastewater. Industrial and Engineering Chemistry Process Design and Development. 1979;18: pp. 269-274

Hilarides, R. J., Gray, K. A., Guzzetta, J., Cortellucci, N., Sommer, C. (1994). Radiolytic degradation of 2,3,7,8-TCDD in artificially contami- nated soils, Environ. Sci. Technol. 28 (1994) pp. 2249–2258.

Hillel, D. (2008). Soil pollution and remediation. Soil in the Environment, pp. 211–222. doi:10.1016/b978-0-12-348536-6.50020-4

Hirota, K., et al. (2003). Application of electron beam for the reduction of PCDD/F emission from municipal solid waste incinerators, Environ. Sci. Technol. 37 (2003) pp. 3164–3170.

Hu, Z., Qi, L. (2014). Sample Digestion Methods. Treatise on Geochemistry, pp. 87–109. doi:10.1016/b978-0-08-095975-7.01406-6

Cabral Pinto, M. M. S., Ferreira da Silva, E. A., Silva, M. M. V. G., Melo-Gonçalves, P., Candeias, C. (2014). Environmental risk assessment based on highresolution spatial

maps of potential toxic elements sampled on stream sediments of Santiago, Cape Verde. Geosciences 4(4): pp. 297–315. https://doi.org/10.3390/geosciences4040297

Castro, A., Silva, J., Teixeira, P. (2018). Staphylococcus aureus, a Food Pathogen: Virulence Factors and Antibiotic Resistance. In Foodborne Diseases ed. Holban, AM & Grumezescu AM Academic Press, Massachussetts, pp. 213-238.

Cvijić, J. (1924). Geomorfologija I, izdanje iz 2000: Stevanović, P., Kulenović-Grujić, E., Ranković, D., Jovanović, N., Petrović, D., Grubić, A. (Eds.), SANU i Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, pp. 585;

Cvijić, J. (1926). Geomorfologija II, izdanje iz 1996: Petrović D., Ranković D. (Eds), SANU i Zavodža udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, pp. 587;

CD (1986). Council Directive 86/278/EEC. 1986. Official Journal OJ L 181, 6

CD (1991). Council Directive 91/271/EEC. 1991. Official Journal L 135, pp. 40-52

Claisse, P. (2016). Civil Engineering Materials, Chapter 11 - Ionising radiation, pp. 101-106. doi: 10.1016/B978-0-08-100275-9.00011-5

Clegg, H., Riding, M. J., Oliver, R., Jones, K. C., Semple, K. T. (2014). The impact of soil organic matter and soil sterilization on the bioaccessibility of 14C- azoxystrobin determined by desorption kinetics. J. Hazard Mater., 278 (2014), pp. 336-342

Coleman, C., MacFayden, A. (1966). The recolonization of gamma-irradiated soils by small arthropods. Oikos 17, pp. 62–70

Cooper, W. J., Curry, R. D., O'shea, K. E. (Eds) (1998). Environmental Applications of Ionizing Radiation, Wiley Inc., New York (1998).

Correa, W., Brandenburg, J., Behrends, J., Heinbockel, L., Reiling, N., Paulowski, L., Gutsmann, T. (2019). Inactivation of bacteria by γ-irradiation to investigate the interaction with antimicrobial peptides. Biophysical Journal. doi:10.1016/j.bpj.2019.10.012

Chakarova, R., Kamenov, P., Tsankov, L. (1991). Computer simulation of radiation fields when designing and using gamma-irradiation facilities. Radiation Physics and Chemistry, 38(2), 165–168. doi:10.1016/1359-0197(91)90221-m

Chmielewski, A. G., et al. (1993). Pilot plant for flue gas treatment with electron beam start-up and two stage irradiation tests, Radiat. Phys. Chem. 42 (1993) pp. 663– 668.

Chmielewski, A. G., Zimek, Z., Bryl-Sandelewska, T., Kosmal, W., Kalisz, L., Kaźmierczuk, M. (1995). Disinfection of municipal sewage sludges in installation equipped with electron accelerator. Radiation Physics and Chemistry. 46(4-6): pp. 1071-1074

Chmielewski, A. G., Iller, E., Tymiński, B., Zimek, Z., Licki, J. (1999). Electron Flue Gases Treatment in Poland. In: Inculet, I.I., Tanasescu, F.T., Cramariuc, R. (eds) The Modern Problems of Electrostatics with Applications in Environment Protection. NATO Science Series, vol 63. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4447-6_15

Chu, D. (2018). Effects of heavy metals on soil microbial community. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 113, 012009. doi:10.1088/1755-1315/113/1/012009

Šibalić, D. (1986): Uticaj sunčevog zračenja na erozione procese zemljišta. Materijali sa simpozijuma o problemima erozije u SR Srbiji. Beograd.

Qaim, S.M., Spahn, I., Scholten, B., Neumaier, B. (2016). Uses of alpha particles, especially in nuclear reaction studies and medical radionuclide production. Radiochimica Acta, 0(0), –. doi:10.1515/ract-2015-2566

Wang, J., Wang, J. (2007). Application of radiation technology to sewage sludge processing: A review. Journal of Hazardous Materials. 2007;143:2-7

Washino, M. (1981). Treatment of waste water. Radiation Physics and Chemistry. 1981;18:383-388

Washino, M. (1981).Treatment of waste water. Radiation Physics and Chemistry. 18: pp. 383-388

Wen, H.-W., Hsieh, M.-F., Wang, Y.-T., Chung, H.-P., Hsieh, P.-C., Lin, I.-H., & Chou, F.-I. (2010). Application of gamma irradiation in ginseng for both photodegradation of pesticide pentachloronitrobenzene and microbial decontamination. Journal of Hazardous Materials, 176(1-3), pp. 280–287. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.11.025

Wolf, D. C., Skipper, H. D. (1994). Soil sterilisation. In: Weaver, R.W., Angle, J.S., Bottomley, P. S. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2: Microbiological and Biochemical Properties. Soil Science Society of America, Wisconsin, pp. 41–51.

Xu, Y., Sun, Q., Yi, L., Yin, X., Wang, A., Li, Y., Chen, J. (2014). The source of natural and anthropogenic heavy metals in the sediments of the Minjiang River estuary (SE China): implications for historical pollution. Sci Total Environ 493: pp. 729–736. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.046

Yang, H. J., Jeong, H. J., Bong, K. M., Jin, D. R., Kang, T-W., Ryu, H-S., … Na, E. H. (2020). Organic matter and heavy metal in river sediments of southwestern coastal Korea: Spatial distributions, pollution, and ecological risk assessment. Marine Pollution Bulletin, 159, 111466. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111466

Yao, Z., Li, J., Xie, H., & Yu, C. (2012). Review on Remediation Technologies of Soil Contaminated by Heavy Metals. Procedia Environmental Sciences, 16, pp. 722–729. doi:10.1016/j.proenv.2012.10.099

Young, S., Juhl, A., O'Mullan, G. D. (2013). Antibiotic-resistant bacteria in the Hudson River Estuary linked to wet weather sewage contamination. Journal of Water and Health. 2013;11:297-310

PRILOG

Spisak slika

1) Grafički prikaz sliva reke Kolubare (Substrate map: software SAS.Planet.Nightly.201020.10106, Basemap: Bing Maps-satellite zoom 15).
2) Kamenolom u Markovoj Crkvi Uslikano: 11.08.2020. (lična arhiva)
3) Rudnik uglja Kolubara Uslikano: 12.09.2020. (lična arhiva)
4) Grafički prikaz sliva reke Kolubare, urbanih sredina, važnih saobraćajnica i Rudarskog basena Kolubara (Substrate map: software SAS.Planet.Nightly.201020.10106, Basemap: Bing Maps-satellite zoom 15).
5) Ušće reka Jablanice i Obnice i formiranje reke Kolubare kod Valjeva Uslikano: 13.08.2020. (lična arhiva)
6) Regulacija vodotoka reke Kolubare u gradu Valjevu Uslikano: 14.08.2020. (lična arhiva)
7) Regulacija vodotoka reke Ljig Uslikano: 20.09.2020. (lična arhiva)
8) Ribnička pećina u dolini reke Ribnice Uslikano: 11.08.2020. (lična arhiva)
9) Reka Gradac Uslikano: 13.08.2020. (lična arhiva)
10) Reka Ribnica Uslikano: 20.09.2020. (lična arhiva)
11) Reka Ljig Uslikano: 11.08.2020. (lična arhiva)
12) Reka Tamnava Uslikano: 07.08.2020. (lična arhiva)
13) Reka Ub Uslikano: 13.09.2020. (lična arhiva)
14) Vrste jonizujućeg zračenja i njihova prodornost kroz različite materijale (lična arhiva)
15) Ortopan snimak Uslikano: 28.10.2021. (lična arhiva)
16) Uzorkovanje sa Tačke 1 na dubini od 20 cm (lična arhiva)
17) Uzorkovanje sa Tačke 5 na dubini od 50 cm (lična arhiva)
18) Prostorni raspored tačaka uzorkovanja u slivu reke Kolubare (Substrate map: software SAS.Planet.Nightly.201020.10106, Basemap: Bing Maps-satellite zoom 15).
19) Prikaz rasporeda dozimetara u kutiji prilikom mapiranja doze (lična arhiva)
20) Raspored dozimetara za merenje distribucije doze u kontejneru (lična arhiva)
21) Prikaz raspodele mikroorganizama u urbanim i ruralnim sredinama na dubinama uzorkovanja od 20 cm i 50 cm
22) Ukupan broj mikroorganizama u zemljištu u zavisnosti od udaljenosti od tačke formiranja reke Kolubare

23) Prikaz broja mikrooganizama u uzorcima duž sliva reke Kolubare u odnosu na prisustvo zagađivača
24) Prikaz zagađenja mikroorganizmima prilikom ulivanja pritoka u reku Kolubaru i duž samog toka reke Kolubare
25) Uticaj različitih doza gama zračenja na smanjenje ukupnog broja mikroorganizama
26) Uticaj različitih doza i brzina doza gama zračenja na mikrobiološku dekontaminaciju zemljišta
27) Raspodela doze zračenja unutar kutije ispunjene zemljom (lična arhiva)
28) Raspodela doze zračenja unutar kutije ispunjene tkaninom (lična arhiva)
29) Raspodela doze zračenja unutar kutije ispunjene plastikom (lična arhiva)
30) Zavisnost homogenosti doze u funkciji gustine proizvoda za proizvod ozračen u šaržnom režimu (lična arhiva)
31) Zavisnost homogenosti doze u funkciji gustine proizvoda za uzorke ozračene u posudi za brzo zračenje (lična arhiva)
32) Sadržaj plesni u zemljištu u zavisnosti od udaljenosti od izvora reke Kolubare. Tačke uzorkovanja predstavljene su brojevima od 1 do 48.
33) Efekat različitih doza zračenja na smanjenje plesni u uzorcima zemljišta

Spisak tabela

1) Podaci o broju stanovnika i opštinama Kolubarskog sliva (izvor: Republički zavod za statistiku)
2) Srednje mesečne vrednosti padavina (u mm) za period od 1961. do 1990. godine (izvor: Republički hidrometeorološki zavod Srbije)
3) Ukupan broj mikroorganizama u zemljištu duž sliva reke Kolubare
4) Prosečne vrednosti broja mikrooganizama u uzorcima zemljišta u urbanim i ruralnim delovima Kolubarskog sliva
5) Analiza broja mikroorganizama u tačkama uzorkovanja duž sliva reke Kolubare u odnosu na prisustvo zagađivača
6) Analiza broja mikroorganizama u odnosu na ulivanje pritoka i samog toka reke Kolubare
7) Raspodela doze u proizvodima različite gustine (tkanina, plastika i zemlja)
8) Sadržaj patogenih bakterija u zemljištu pre i posle gama zračenja
9) Ukupan broj plesni u zemljištu duž sliva reke Kolubare
10) Koncentracije teških metala u različitim uzorcima zemljišta

MIKROBIOLOŠKA DEKONTAMINACIJA PRIOBALNOG ZEMLjIŠTA U SLIVU REKE KOLUBARE PRIMENOM VISOKOENERGETSKOG JONIZUJUĆEG ZRAČENjA

ORIGINALITY REPORT

5%
SIMILARITY INDEX

PRIMARY SOURCES

1	uvidok.rcub.bg.ac.rs Internet	711 words — 2%
2	ntrp.vinca.rs Internet	213 words — 1%
3	fedorabg.bg.ac.rs Internet	92 words — < 1%
4	sh.wikipedia.org Internet	72 words — < 1%
5	eteze.bg.ac.rs Internet	49 words — < 1%
6	vbs.rs Internet	48 words — < 1%
7	www.novibecej.rs Internet	43 words — < 1%
8	link.springer.com Internet	37 words — < 1%
9	radar.ibiss.bg.ac.rs Internet	33 words — < 1%

10	bs.wikipedia.org Internet	30 words — < 1%
11	cer.ihtm.bg.ac.rs Internet	28 words — < 1%
12	elementarium.cpn.rs Internet	28 words — < 1%
13	www.readbag.com Internet	27 words — < 1%
14	Nasser S.A.M. Khalil. " Synthesis of Novel α- -Arabinopyranosides of β-Lactams with Potential Antimicrobial Activity ", Nucleosides, Nucleotides and Nucleic Acids, 2005 Crossref	21 words — < 1%
15	www.geoubih.ba Internet	21 words — < 1%
16	academicos.cefetmg.br Internet	20 words — < 1%
17	www.cris.uns.ac.rs Internet	20 words — < 1%
18	nardus.mpn.gov.rs Internet	17 words — < 1%
19	repozitorij.unizg.hr Internet	17 words — < 1%
20	singipedia.singidunum.ac.rs Internet	16 words — < 1%

21	www.meteologos.rs Internet	16 words — < 1%
22	www.zrenjanin.rs Internet	16 words — < 1%
23	issuu.com Internet	14 words — < 1%
24	www.singipedia.singidunum.ac.rs Internet	14 words — < 1%
25	ljudilazi.blogspot.com Internet	13 words — < 1%
26	thesesups.ups-tlse.fr Internet	12 words — < 1%
27	www.skupstinacg.me Internet	11 words — < 1%
28	Jean Engohang-Ndong, R.M. Uribe, Roger Gregory, Mahinda Gangoda, Mike G. Nickelsen, Philip Loar. "Effect of electron beam irradiation on bacterial and Ascaris ova loads and volatile organic compounds in municipal sewage sludge", Radiation Physics and Chemistry, 2015 Crossref	10 words — < 1%
29	www.letsdoit.ba Internet	10 words — < 1%
30	Lucia Škulcová, Kerstin E. Scherr, Jakub Hofman, Lucie Bielská. "What are the effects of soil treatment procedures (sterilization by γ-irradiation and solvent-assisted spiking) on DDE bioaccumulation by earthworms?", Environmental Pollution, 2018 Crossref	9 words — < 1%

31	Mylène Ghislain, Joana Beigbeder, Loïc Dumazert, José-Marie Lopez-Cuesta et al. "Determination of the volatile fraction of phosphorus flame retardants in cushioning foam of upholstered furniture: towards respiratory exposure assessment", Environmental Monitoring and Assessment, 2016 Crossref	9 words — < 1%
32	Vesna Petrović, Tanja Rožek-Mitrović, Radmila Erceg-Javor. "Screen time and extracurricular sports participation among children in a local community in Serbia", Timocki medicinski glasnik, 2020 Crossref	9 words — < 1%
33	laktasi-info.com Internet	9 words — < 1%
34	www.arhiv.rs Internet	9 words — < 1%
35	www.ebrd.com Internet	9 words — < 1%
36	www.ovam.be Internet	9 words — < 1%
37	Gordana Milentijevic, Blagoje Nedeljkovic, Jelena Djokic. "Implementation the environmental protection system in the territory of the Kosovska Mitrovica and Zvecan municipalities", Mining and Metallurgy Engineering Bor, 2014 Crossref	8 words — < 1%
38	Hae Jong Yang, Hyo Jin Jeong, Ki Moon Bong, Dal Rae Jin et al. "Organic matter and heavy metal in river sediments of southwestern coastal Korea: Spatial	8 words — < 1%

distributions, pollution, and ecological risk assessment", Marine Pollution Bulletin, 2020
Crossref

39	Karolina Kajári, Sándor Somogyi. "COMPARATIVE ANALYSIS OF LIVING CONDITIONS IN SETTLEMENTS OF NORTHERN VOJVODINA", DETUROPE - The Central European Journal of Tourism and Regional Development, 2011 Crossref	8 words — < 1%
40	aurora.ekof.bg.ac.rs Internet	8 words — < 1%
41	doczz.net Internet	8 words — < 1%
42	doku.pub Internet	8 words — < 1%
43	es.scribd.com Internet	8 words — < 1%
44	fulir.irb.hr Internet	8 words — < 1%
45	opstinativat.fra1.digitaloceanspaces.com Internet	8 words — < 1%
46	repozitorij.unios.hr Internet	8 words — < 1%
47	scindeks-bic.ceon.rs Internet	8 words — < 1%
48	urn.nsk.hr Internet	8 words — < 1%

49	www.agrostemin.co.rs Internet	8 words — < 1%
50	www.download.p4c.philips.com Internet	8 words — < 1%
51	www.info.croatiabiz.com Internet	8 words — < 1%
52	www.merz.gov.rs Internet	8 words — < 1%
53	www.parlament.gov.rs Internet	8 words — < 1%
54	Ivica Vujcic, Slobodan Masic, Natasa Obradovic, Miroslav D. Dramicanin. "Preparation of beechwood/polymer composites using the method of lyophilization and gamma irradiation", Radiation Physics and Chemistry, 2020 Crossref	7 words — < 1%
55	vinar.vin.bg.ac.rs Internet	7 words — < 1%
56	0350-3593, 2007 Publications	6 words — < 1%
57	Farzet Bikić, Amira Pašalić. "Utjecaj pH vrijednosti tla i dodatka kelatnog agensa na sadržaj kadmija u pojedinim biljkama", Kemija u industriji, 2016 Crossref	6 words — < 1%
58	eprints.ugd.edu.mk Internet	6 words — < 1%
59	repozitorij.pharma.unizg.hr	

Internet

6 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES	ON	EXCLUDE SOURCES	OFF
EXCLUDE BIBLIOGRAPHY	ON	EXCLUDE MATCHES	OFF