

UNIVERZITET U BEOGRADU  
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET

Bojan M. Ranković

**TRETMAN OTPADNIH MULJEVA IZ  
POSTROJENJA ZA PRIPREMU VODE  
ZA PIĆE PRIMENOM JONIZUJUĆEG  
ZRAČENJA**

doktorska disertacija

Beograd, 2021.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF TECHNOLOGY AND METALLURGY

Bojan M. Ranković

**TREATMENT OF WASTE SLUDGES  
FROM DRINKING WATER TREATMENT  
PLANT USING IONIZING RADIATION**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2021

---

mentor: dr Vladimir Pavićević, docent  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

mentor: dr Ivica Vujčić, naučni saradnik  
Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča”,  
Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju

---

član komisije: dr Željko Kamberović, redovni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

---

član komisije: dr Aco Janićijević, vanredni profesor  
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

datum odbrane: \_\_\_\_\_

## *Zahvalnica*

Želim da se ovom prilikom zahvalim svom velikom prijatelju i mentoru dr Ivici Vujčiću na svesrdnoj pomoći koja je pratila naš zajednički rad, na koju sam mogao i mogu uvek da računam. Čovek je bogat onoliko koliko ima iskrenih i pravih prijatelja, a ti si pokazao i pokazuješ koliko si veliki.

Neizmerno sam zahvalan dragom prof. dr Željku Kamberoviću na pruženoj pomoći, savetima i razumevanju.

Veliku zahvalnost dugujem mentoru docentu dr Vladimiru Pavićeviću bez čije bezrezervne pomoći čitav rad ne bi bio izvodljiv.

Zahvaljujem se prof. dr Acu Janićijeviću na pomoći tokom pisanja doktorske disertacije.

Takodje se zahvaljujem prof. dr Đorđu Veljoviću i docentu dr Vasu Manojloviću na pokazanom interesovanju i korisnim savetima prilikom izrade ove doktorske disertacije. Zahvaljujem se Slobodanu Mašiću i Nikoli Jovanoviću koji su mi pružili nesebičnu pomoć i podršku.

Naročito bih se zahvalio svojoj porodici, supuzi Jeleni na ogromnoj podršci, pomoći, strpljenju i razumevanju koje nas je pratilo tokom izrade ove disertacije i koje će nas pratiti ceo život.

Hvala

# REZIME

## **Tretman otpadnih muljeva iz postrojenja za pripremu vode za piće primenom jonizujućeg zračenja**

Povećane potrebe za pripremom vode za piće i značajna količina otpada u obliku tretiranog mulja mogu dovesti do ozbiljnog ekološkog problema. Visok sadržaj organskih materija u mulju, zajedno sa visokim letnjim temperaturama može rezultirati pojačanom aktivnošću mikroorganizama u mulju, što uzrokuje i ozbiljna mikrobiološka zagađenja. Takođe, opasnost predstavlja i moguće prisustvo poliakrilamida, posebno akrilamid monomera koji je veoma štetan i opasan po ljudsko zdravlje i životnu sredinu. U ovoj disertaciji ispitivan je uticaj različitih vrsta jonizujućih zračenja (gama i elektronskog zračenja) na inaktivaciju mikroorganizama u otpadnom mulju iz postrojenja za pripremu vode za piće. Utvrđen je sadržaj teških metala i akrilamida pre i posle zračenja. Zaključeno je da je sadržaj teških metala u otpadnom mulju dobijenom iz postrojenja za pripremu vode za piće znatno niži od graničnih vrednosti. Koncentracija akrilamida, i pre i posle zračenja, bila je ispod dozvoljene granične vrednosti da bi se tretirani mulj mogao koristiti kao đubrivo u poljoprivredi. Utvrđeno je da doza zračenja od 25 kGy inaktivira sve patogene u uzorcima prikupljenim neposredno nakon koagulacije, flokulacije i taloženja, a da je doza od 10 kGy dovoljna za inaktivaciju svih patogena iz osušenih uzoraka prethodno tretiranih krečom. U oba slučaja, broj mikroorganizama naglo opada sa povećanjem doze zračenja. Takođe su istraženi efekti skladištenja na sadržaj mikroorganizama i plesni u otpadnom mulju tretiranom elektronskim snopom i gama zračenjem i procenjena je mogućnost upotrebe takvog mulja kao đubriva u poljoprivredi. Ako se mulj čuva u zatvorenim kesama na tamnom mestu, broj ukupnih mikroorganizama i plesni se ne povećava sa starenjem. Raspodela apsorbirane doze unutar ozračenog materijala složena je funkcija gustine i homogenosti materijala, položaja i oblika izvora zračenja, kao i dizajna radijacionog postrojenja. U ovoj doktorskoj disertaciji je izvršeno detaljno mapiranje apsorbirane doze zračenja u otpadnom mulju. Utvrđeni su položaji minimalne i maksimalne apsorbirane doze zračenja, a homogenost ozračivanja proizvoda izračunata je pomoću dozimetrijskog sistema ECB-oscilotitator. Ustanovljeno je da otpadni muljevi iz postrojenja za pripremu vode za piće nakon odgovarajućeg tretmana visokoenergetskim jonizujućim zračenjem pokazuju potencijal za upotrebu kao đubrivo u poljoprivredi.

# ABSTRACT

## **Treatment of waste sludges from drinking water treatment plant using ionizing radiation**

Increasing production of drinking water and a huge amount of waste in the form of treated sludge causing a significant environmental problem. The high organic content in the sludge, together with the high summer temperatures, leads to the improved activity of sludge microorganisms, which can cause serious microbiological pollution. Also, there is a danger due to the potential presence of polyacrylamide, especially acrylamide monomer which is very harmful and hazardous to the environment and human health. In this dissertation, the influence of various types of ionizing radiation (gamma and e-beam) on microorganisms inactivation in waste sludge from drinking water treatment plants was defined. The content of polyacrylamide and heavy metals before and after irradiation had been determined. It had been concluded that the content of heavy metals in the waste sludge obtained from the drinking water treatment plant is significantly less than the limit values. The concentration of acrylamide, both before and after irradiation, was below a limit value for sludge to be used as fertilizer. It had been found that the dose of 25 kGy inactivates all pathogens in samples collected directly after coagulation, flocculation, and sedimentation, and that the dose of 10 kGy is sufficient to inactivate all pathogens from dewatered samples previously treated with lime. In both cases, the amount of microorganisms decreases sharply with increasing radiation dose. The effects of aging on the content of microorganisms and molds in waste sludge treated with e-beam and gamma irradiation were determined, and the possibility of using such sludge as a fertilizer in agriculture was also evaluated. If the sludge is stored in closed bags in a dark place, aging does not increase the number of total microorganisms and molds. The distribution of the absorbed dose within the irradiated material is a complex function of the material density and homogeneity, the position, and shape of the radiation source, as well as the design of the irradiator. In this doctoral dissertation, detailed mapping of absorbed radiation doses in waste sludge is performed. Positions of minimum and maximum absorbed radiation dose were determined, and the homogeneity of irradiation of products was calculated using the ECB-oscillotitrator dosimetry system. It was found that waste sludges from drinking water treatment plants after adequate treatment with high-energy ionizing radiation shows the potential for use as fertilizer in agriculture.



# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKI DEO .....	3
2.1. Priprema vode za piće.....	3
2.1.1. Standardi kvaliteta vode za piće.....	3
2.1.1.1. Pokazatelji kvaliteta vode i njihov značaj .....	4
2.1.2. Tehnološki procesi pripreme vode za piće.....	5
2.1.2.1. Predtretman.....	6
2.1.2.2. Bistrenje.....	7
2.1.2.3. Koagulacija.....	7
2.1.2.4. Flokulacija .....	9
2.1.2.5. Taloženje .....	13
2.1.2.6. Ozonizacija .....	15
2.1.2.7. Filtracija.....	18
2.1.2.8. Adsorpcija na aktivnom uglju .....	19
2.1.2.9. Dezinfekcija.....	21
2.1.2.9. Obrada mulja .....	32
2.2. Jonizujuće zračenje .....	36
2.2.1. Vrste jonizujućeg zračenja .....	37
2.2.2. Izvori jonizujućih zračenja .....	44
2.2.3. Primena jonizujućih zračenja .....	48
2.2.4. Primena jonizujućih zračenja u tretmanu otpadnih voda i muljeva .....	52
2.2.5. Merenje doze jonizujućeg zračenja u industrijskim postrojenjima.....	57
3. EKSPERIMENTALNI DEO .....	60
3.1. Uzorkovanje.....	60
3.2. Ozračivanje gama zračenjem .....	60
3.3. Ozračivanje snopom elektrona.....	61
3.4. Opis procedura korišćenih za karakterizaciju materijala .....	62
3.4.1. Mikrobiološke analize .....	62
3.4.2. Određivanje sadržaja teških metala.....	63
3.4.3. Određivanje sadržaja PAM i akrilamida u uzorku .....	64

3.4.4. Određivanje pH vrednosti .....	64
3.4.5. Određivanje električne provodljivosti.....	65
3.4.6. Određivanje katjonskog kapaciteta izmene.....	66
3.4.7. Određivanje ukupnog organskog i mineralnog sadržaja mulja.....	66
3.5. Sinteza etanol-monohlorobenzena.....	67
4. REZULTATI I DISKUSIJA.....	69
4.1. Mikrobiološka analiza sirovog otpadnog mulja nakon precipitacije .....	69
4.2. Mikrobiološke analize osušenog tretiranog otpadnog mulja .....	72
4.3. Određivanje koncentracije teških metala u otpadnom mulju.....	74
4.4. Određivanje koncentracije akrilamida u mulju.....	76
4.5. Uticaj skladištenja na mikrobiološka svojstva tretiranog mulja .....	77
4.5.1. Mikrobiološka analiza otpadnog mulja.....	77
4.5.2. Određivanje sadržaja plesni u otpadnom mulju .....	78
4.5.3. Fizičko-hemijske karakteristike otpadnog mulja .....	79
4.6. Dozimetrijska kontrola gama zračenja kojim je tretiran otpadni mulj .....	80
5. ZAKLJUČAK.....	86
LITERATURA .....	88
PRILOG.....	101
Tabele sa mikrobiološkim, biološkim, fizičkim, fizičko-hemijskim, hemijskim i radiološkim pokazateljima kvaliteta vode po vrstama laboratorijskog pregleda	
Izveštaji o ispitivanju muljeva Gradskog zavoda za javno zdravlje Beograd	
Ocena izveštaja o proveru originalnosti doktorske disertacije	
Biografija kandidata	
Naučni radovi kandidata	
Izjava o autorstvu	
Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije	
Izjava o korišćenju	

# 1. UVOD

Voda za piće je osnovna, uz vazduh i hranu najvažnija potreba čovečanstva. Sa povećanjem svetske populacije i smanjenjem zaliha prirodne vode za piće, sve više raste potreba za postrojenjima za pripremu vode za piće širom sveta.

U većini procesa pripreme vode za piće iz površinske, tj. sirove rečne vode i vode iz prirodnih jezera i veštačkih akumulacija, flokulacija je jedna od ključnih faza, konkretno neophodan tehnološki proces (Ma et al., 2019; Zhang et al., 2019; Lee i Choo, 2013). Prema Moranovoj definiciji, flokulacija je fizički proces u kojem se sitne čvrste koloidno dispergovane čestice destabilizovane koagulacijom spajaju u mnogo veće čestice (flokule) pomoću dodatog flokulanta i kontrolisanog niskog intenziteta mešanja (Moran, 2018). Kao komercijalni flokulanti najviše se koriste sintetički polimeri rastvorljivi u vodi sa molekulskom masom od  $10^3$  do  $3 \times 10^7$ , koji se dele na katjonske, anjonske i nejonske flokulanti u zavisnosti da li i kako disociraju u vodenom rastvoru (Tarleton i Wakeman, 2007; Dwari et al., 2018). Poliakrilamid (PAM) je najčešći flokulant koji se koristi u industrijskim postrojenjima za pripremu vode za piće (Long et al., 2019; Chen et al., 2019; Nguyen et al., 2019; Chen et al., 2019; Liu et al., 2017). Otpadni mulj dobijen tokom pripreme vode za piće sadrži PAM i organske supstance. Vremenom se PAM može razgraditi u visokokancerogeni monomer akrilamida, opasan po životnu sredinu i zdravlje ljudi (Seguchi et al., 1981; Plaček et al., 2003; Wei et al., 2017).

Tretman otpadnog mulja uključuje dodavanje kreča za inaktivaciju mikroorganizama. Ovaj tretman ne može da inaktivira sve patogene u otpadnom mulju (Lim et al., 2002; Kashyap i Datta, 2017; Hu et al, 2017). Glavni problem ovog tretmana je što jako dugo traje, potrebno je više od mesec dana da se inaktiviraju sve bakterije i mikroorganizmi (Popova et al., 2014). Takođe, nakon tretmana potrebno je obezbediti deponiju za velike količine otpadnog mulja.

Korišćenjem jonizujućeg zračenja otpadni mulj se može brzo i efikasno dezinfikovati od svih patogena i potencijalno koristiti kao đubrivo u poljoprivredi (Rathod et al, 2009; Yin i Wang, 2015). U tu svrhu korišćeni su gama zraci iz

radioaktivnog izvora zračenja Co-60, kao i elektronski snop iz akceleratora elektrona. Potencijalni problem kod tretmana mulja gama zračenjem je mogućnost razgradnje PAM-a do monomera akrilamida ako brzina doze zračenja nije dovoljno visoka (Seguchi et al., 1981; Plaček et al., 2003). Može povećati rizik od tumora mlečnih žlezda, centralnog nervnog sistema i folikularnog epitela štitaste žlezde. Međutim, iz literature je poznato da upotreba jonizujućeg zračenja adekvatne brzine zračenja može čak i smanjiti količinu akrilamida u hrani (Zyzak et al., 2003; Fan i Mastovska, 2006).

Cilj ove doktorske disertacije je optimizacija procesa ozračivanja i određivanje minimalne doze zračenja neophodne za inaktivaciju mikroorganizama iz otpadnog mulja u postrojenju za pripremu vode za piće, uz poređenje gama zračenja i elektronskog zračenja. Takođe je bitno utvrditi sadržaj teških metala i monomera akrilamida u otpadnom mulju pre i posle zračenja. Na osnovu ovih rezultata i detaljnih mikrobioloških analiza, razmatrana je mogućnost upotrebe tretiranog otpadnog mulja kao đubriva, uzimajući u obzir direktive o zaštiti tla (Council Directive 86/278/EEC, 1986; Council Directive 91/271/EEC, 1991).

Takođe je razmatrana mogućnost upotrebe ovog mulja kao đubriva nakon izvesnog vremena skladištenja. Ako se odmah ne koristi kao đubrivo, vać nakon izvesnog perioda skladištenja, postoji mogućnost da se sadržaj mikroorganizama i plesni u mulju može se povećati. U sklopu ove disertacije izvršena je analiza ukupnog broja mikroorganizama i plesni nakon skladištenja mulja. Uzorci su ispitani neposredno nakon tretmana jonizujućim zračenjem i nakon 15 meseci skladištenja na tamnom i suvom mestu.

Pošto je poznato da je prilikom zračenja raspodela apsorbovane doze unutar ozračenog proizvoda složena funkcija gustine i homogenosti proizvoda, položaja i oblika izvora zračenja, kao i dizajna postrojenja za ozračivanje, u sklopu ove doktorske disertacije je izvršeno detaljno mapiranje apsorbovane doze zračenja u uzorcima koji imaju istu gustinu kao otpadni mulj. Utvrđeni su položaji minimalne i maksimalne apsorbovane doze zračenja, a homogenost ozračivanja proizvoda izračunata je pomoću dozimetrijskog sistema ECB-oscilator.

## **2. TEORIJSKI DEO**

### **2.1. Priprema vode za piće**

Voda koju svakodnevno koristimo za vodosnabdevanje, a koja dolazi preko vodozahvatnih objekata, nikada nije sasvim čista jer sadrži različite materije koje su unešene iz okoline kroz koju prolazi (npr. atmosfere, litosfere, hidrogeološkog medijuma). Takođe, u vodi mogu da se nađu i razne vrste zagađujućih supstanci. Kako bismo otkrili prisustvo pojedinih supstanci u sirovoj vodi, moraju se uzeti uzorci na strogo propisani način. Nakon toga, vrši se analiza uzoraka i dobijeni rezultati upoređuju sa važećim propisanim standardima vode za piće. Tako dobijeni rezultati nam pokazuju da li i u kojoj meri treba vršiti proces pripreme vode.

Korišćenjem različitih tehnoloških procesa kojima se uklanjaju neželjene primese, odnosno zagađujuće supstance, postiže se priprema vode za piće. Čitav niz glavnih i dopunskih procesa, od sasvim jednostavnih do vrlo složenih, mogu se kombinovati, nekad i sa posebnim tretmanom, u okviru ukupnog tehnološkog postupka pripreme vode za piće.

Primele nastale u toku hidrološkog ciklusa prirodne vode, koja je uglavnom disperzni sistem, po svojim fizičko-hemijskim svojstvima svrstavaju se u tri grupe:

- grubo disperzni sistemi ili suspenzije (emulzije), čestice veće od 100 nm
- koloidno-disperzni sistemi ili koloidi imaju veličinu čestica od 1 do 100 nm
- molekularno-disperzni sistemi ili pravi rastvori, koji su supstance potpuno rastvorljive u vodi i čija je veličina čestica manja od 1 nm.

#### **2.1.1. Standardi kvaliteta vode za piće**

Ovi standardi mogu biti relativni i apsolutni. Relativni standardi postavljaju načelne zahteve, npr. da bi voda za piće trebalo da bude čista u fizičko-hemijskom, i mikrobiološkom pogledu. Apsolutni standardi su nacionalni, međunarodni, regionalni i sl. U Republici Srbiji je na snazi Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće (dalje Pravilnik) koji sadrži 133 indikatora higijenske ispravnosti vode za

piće i 384 norme (Pravilnik, 2019). Najvažniji međunarodni standardi su oni koje propisuje Svetska zdravstvena organizacija (SZO).

#### **2.1.1.1. Pokazatelji kvaliteta vode i njihov značaj**

“Pokazatelji kvaliteta vode mogu biti: fizički, fizičko-hemijski, hemijski, mikrobiološki, biološki i radiološki. Pravilnikom su propisane su četiri vrste laboratorijskog pregleda vode za piće sa zahtevanim mikrobiološkim pokazateljima kvaliteta:

- **osnovni (A)** – najčešći pregledi za otkrivanje indikatora zagađenja koja s najčešći uzrok higijenske neispravnosti
- **periodični (B)** – ispitivanje većeg broja pokazatelja
- **novi zahvati vode (V)** – takođe ispitivanje većeg broja pokazatelja kao preventiva ugrožavanju vodovodnih distribucionih sistema
- **higijensko-epidemiološka indikacija (G)** – konkretna situacija nalaže određivanje dodatnih pokazatelja kvaliteta pored osnovnih“ (Povrenović i Pavićević, 2011).

U Prilogu su predstavljene tabele sa navedenim pokazateljima po propisanim vrstama laboratorijskog pregleda – Tabele 1, 2 i 3 (Pravilnik, 2019).

Najvažniji sanitarni (higijenski) pokazatelj kvaliteta vode je mikrobiološki, tj. sadržaj bakterija, virusa i prozoa u vodi za piće. Vode se zagađuju patogenim i drugim mikroorganizmima putem fekalnog zagađenja ljudskog i životinjskog porekla, tako da zbog direktne opasnosti po zdravlje stanovništva, voda za piće ne sme da sadrži takve mikroorganizme. Indikatori fekalnog zagađenja vode dozvoljavaju se u zavisnosti od vrste i značaja vode (prečišćena, dezinfikovana i flaširana voda i prirodna voda – otvorena i zatvorena izvorišta). Kako se patogene bakterije teško dokazuju u vodi za piće, istražuju se samo indikatori fekalnog zagađenja. Kada se na osnovu osnovnog ili nekog proširenog pregleda ustanovi odstupanje od propisanih mikrobioloških normi, onda se traže i patogeni mikroorganizmi salmonela i šigela vrste, ako postoje higijensko-epidemiološke indikacije, pratiće se i drugi mikroorganizmi, sem navedenih. Što se tiče bakterioloških normi, postoje umerena odstupanja u vanrednim prilikama u odnosu na normalno stanje. U vanrednim prilikama prate se samo dva indikatora fekalnog zagađenja: ukupan broj aerobnih

mezofilnih bakterija i ukupan broj koliformnih bakterija određenih kao najverovatniji broj u 100 ml (Pravilnik, 2019).

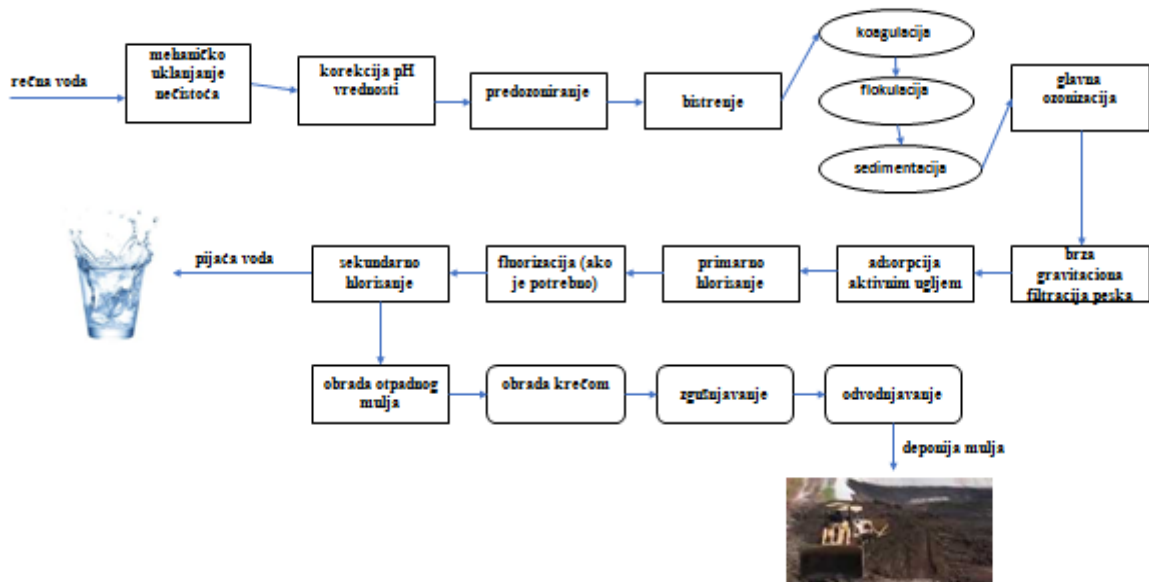
### **2.1.2. Tehnološki procesi pripreme vode za piće**

Priprema vode za piće se obavlja primenom određenih tehnoloških procesa zasnovanih su na fizičkim, hemijskim i biološkim dejstvima, kojima se postiže uklanjanje nepoželjnih sastojaka iz sirove vode. Smanjivanjem kvaliteta sirove vode povećava se broj i složenost procesa koje treba primeniti da bi se postigao propisani kvalitet vode za piće. U literaturi postoje prikazi različitih vrsta postrojenja za pripremu vode za piće sa posebnim dominantnim tehnološkim procesom: sa peščanim filterima (Vanderaesen et al., 2019; Fuijoka et al., 2019; Vandermaesen et al., 2017), sa upotrebom fosfata (Douterelo et al., 2020; Choo i Oh, 2020; Li et al., 2019), sa elektrokoagulacijom (Castañeda et al., 2020; Kumari i Kumar, 2020), sa ozonizacijom (Talvy et al., 2011; Papageorgiou et al., 2011; Ding et al., 2019) i sa UV zračenjem (Liu et al., 2009; Zeng et al., 2020).

Standardni postupak za pripremu vode za piće od površinske vode, tj. sirove rečne vode ili vode prirodnih jezera i veštačkih akumulacija sastoji se od ovih procesa:

- mehaničko uklanjanje krupnih nečistoća
- korekcija pH vrednosti (po potrebi)
- predozonizacija
- bistrenje: a) koagulacija
  - b) flokulacija
  - c) taloženje (sedimentacija)
- glavna ozonizacija
- brza gravitaciona peščana filtracija
- adsorpcija na granulisanom aktivnom uglju
- dezinfekcija (primarno i sekundarno hlorisanje)
- obrada otpadnog mulja: a) stabilizacija krečom
  - b) zgušnjavanje
  - c) obezvodnjavanje.

Slika 2.1. prikazuje šematski dijagram postupka za prečišćavanje vode za piće iz površinske vode, tj. sirove rečne vode.



**Slika 2.1.** Šematski dijagram postupka za prečišćavanje vode za piće

Uklanjanje i obrada mulja iz postrojenja su sastavni deo procesa pripreme vode za piće. Postrojenje za prečišćavanje vode objedinjuje objekte procesa, opremu i hemikalije koje treba primeniti da bi se na tehničko-tehnološki i tehnoekonomske optimalan, time i najprihvatljiviji način iz sirove vode uklonili svi neželjeni sastojci.

### 2.1.2.1. Predtretman

U kategoriju predtretmana sirove vode spada zadržavanje krupnih plivajućih i lebdećih primesa, tj. materijala na grubim i finim rešetkama i sitima. Uređaji za ovu namenu se postavljaju na početku vodozahvatnih postrojenja, van objekata ili na samom ulazu u postrojenje. Zatim sledi mešanje, tj. ujednačavanje u prihvatnim (razdelnim) komorama i, po potrebi, podešavanje pH vrednosti i predozonizacija. U slučaju podzemnih voda kao sirovine, obavezno se na početku koristi aeracija. Uspeh narednih faza pripreme vode zavisi od efikasnosti primene ovih procesa.



### 2.1.2.2. Bistrenje

Tehnološka linija bistrenja se sastoji od tehnoloških sledećih procesa:

- koagulacije
- flokulacije
- taloženja (sedimentacije).

Treba napomenuti da su koagulacija i flokulacija suštinski jedinstven fizičkohemijski proces, jer se koagulacijom bez flokulacije ništa ne postiže, tj. ne može se obezbediti željeni naredni proces taloženja, a flokulacija nije moguća ako joj ne prethodi koagulacija, iako se uvek tradicionalno navode posebno, što je i ovde učinjeno.

### 2.1.2.3. Koagulacija

Površinske vode koje imaju povećanu mutnoću, sadrže čvrste čestice koje se mogu podeliti u dve grupe, one dovoljno krupne koje se mogu same taložiti (suspendovane taložne, veće od 10  $\mu\text{m}$ ), i one u stanju suspenzije koje to ne mogu jer su mnogo manje i istovrsno negativno naelektrisanе (koloidne, manje od 100 nm). Ove se čestice svojim negativnim naelektrisanjem međusobno odbijaju čime sprečavaju njihovo grupisanje u veću masu, zvanu flokule (pahuljice) kako bi omogućile spontano taloženje. Zbog toga se uvodi proces koagulacije koji predstavlja proces destabilizacije koloidnih čestica, koji se postiže na četiri osnovna načina:

- kompresija difuznog sloja
- adsorpcija uz neutralizaciju naelektrisanja
- inkorporiranje čestica u talog (koprecipitacija)
- adsorpcija uz međučestično povezivanje.

Ovaj proces se postiže dodavanjem hemijskih koagulanata, kao što su aluminijum-sulfat, polialuminijum-hlorid (PAC) i železo(III)-hlorid, kao i brzim mešanjem. Koagulacija se odvija kroz dve faze. Prva faza je ravnomeran raspored dodate hemikalije po celoj zapremini vode koja se zbog razblaženja hidrolize obrazujući pri tom metal-hidroksilne komplekse. Druga faza je destabilizacija u kojoj se odigrava sorpcija hidrolisane hemikalije – koagulantna na površini čestica i neutralizacija naelektrisanja. Ove dve faze veoma su brze. Obrazovanje metal-

hidroksilnih kompleksa odvija se za 0,01 do 1 s, a njihova sorpcija na nerastvorenim česticama i koloidima za  $10^{-4}$  s (Jahić, 1990). Prilikom izbora tehnike koagulacije treba voditi računa o temperaturi vode, prirodi nerastvorenih supstanci i alkalitetu vode i prisustvu supstanci koje otežavaju koagulaciju. Koagulacija je definisana sledećim parametrima:

- energijom mešanja,
- vremenom kontakta,
- potrebom predtretmana i
- dozom koagulanata.

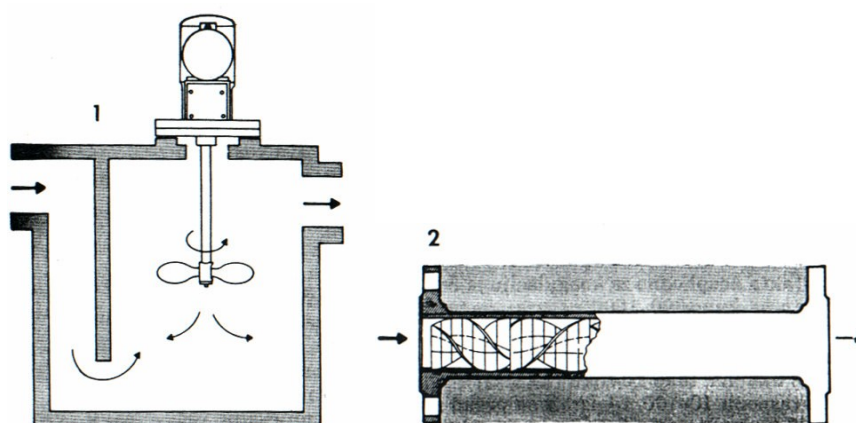
Isto tako, učestalost i broj sudaranja čestica su takođe značajni u koagulaciji. Da bi koagulacija bila uspešno sprovedena potrebno je da se po celoj zapremini vode na mestu dodavanja koagulantata obezbedi njegov ravnomeran raspored, a to se efikasno može ostvariti u maloj zapremini vode i uz primenu intenzivnog mešanja i turbulencije. Efikasnost koagulacije zavisi od stvaranja optimalnog dejstva koagulantata i postizanja brzog i potpunog mešanja dodate hemikalije sa vodom. Primenom odgovarajuće doze i koncentracije koagulantata kao i količine vode u smislu podešavanja pH vrednosti, alkaliteta vode i eventualne predoksidacije, postiže se optimalno dejstvo koagulantata. Mešanje se mora izvoditi intenzitetom koji omogućava potpuno mešanje vode u cevi ili komori u kojoj se vrši destabilizacija i mora se sprovesti za veoma kratko vreme. Vreme kontakta koje je neophodno za koagulaciju je 5 do 10 s, a uneta energija 0,5 do 1  $W/m^3h$ , odnosno 600 do 1.000  $s^{-1}$ , izražena preko gradijenta brzine. Mešanje se u otvorenim bazenima postiže i pri malim brzinama, ali uz upotrebu mehaničke opreme, odnosno mešalice. Brzine u objektima u kojima se mešanje postiže strujanjem vode uz hidraulički gubitak trebalo bi da se kreću 1 do 1,8 m/s. U cevima brzina bi trebalo da je veća od 1,5 m/s. Mešanje koje se izvodi ispuštanjem mlaza vode zahteva brzinu od oko 3,5 m/s.

Uređaji koji koriste mehaničku opremu i energiju mogu na sledeći način se razvrstati:

- mehaničke mešalice, koje se najčešće koriste, mogu biti različitog oblika (turbinska, propelerna, mrežasta, gredasta, spiralna i sl.)
- mlaznice i injektori, koji nisu ekonomični

- pumpa koja ubacuje vodu i koagulant u cev, nakon toga voda treba da prođe kroz cev minimalne dužine 60 m brzinom 0,65 do 1 m/s i da se u njoj zadrži oko 1 min.

Najčešće se koagulacija obavlja u tzv. brzim mešačima sa povećanim gradijentom brzine i smanjenim vremenom zadržavanja, prikazanim na slici 2.2. Osnova ovakvog bazen za mešanje može biti kružnog ili kvadratnog oblika. Korisna dubina bazena bi trebala da je približno jednaka širini, tako da se uglavnom koristi samo jedna mešalica, a pri tome se izbegava potapanje oslonaca osovine mešalice. Motor je sa konstantnim brojem obrtaja jer uspešno funkcionisanje mešalice zavisi samo od veličine bazena, a ne od protoka.



**Slika 2.2.** Načini izvođenja brzog mešanja kod koagulacije

1.brzi mešač sa elektromotornom mešalicom, 2.statički brzi mešač (Jahić, 1990)

#### 2.1.2.4. Flokulacija

Flokulacija je fizički proces stvaranja mase krupnih flokula od sitnih, destabilizovanih koloidnih čestica stvaranjem povećanog gradijenta brzine u masi vode sporim mešanjem, čime se omogućava njihov intenzivan dodir koji rezultira spajanjem u krupnije agregate (pahulje). Flokulacijom se preko niza faktora – gradijenta brzine, vremena kontakta i primene hemikalija (flokulanta) postiže obrazovanje krupnih čestica, tj. flokula određene veličine i jačine pogodnih za taloženje kao sledeći proces bistrenja. Pravilnom kombinacijom navedenih faktora postiže se ukрупnjavanje flokula i to tako što se povezuju više manjih i povećava se njihova jačina. Jačina flokula podrazumeva njihovu otpornost na sile smicanja i

torzije koje se javljaju pri proticanju vode kroz kanale na putu do filtera ili cevi, kao i u samom filteru. Izbor načina flokulacije uslovljen je narednim procesom:

- ako je taloženje sledeća faza, treba obrazovati flokule velikih dimenzija i velike gustine, tako da se na taj način postiže njihovo brzo i efikasno taloženje
- ako je filtriranje proces koji dolazi direktno iza flokulacije, potrebno je obrazovati flokule manjih dimenzija, ali velike čvrstine, tako da su dimenzije ovih flokula prilagođene granulaciji filterske ispune, a jačina brzini filtriranja.

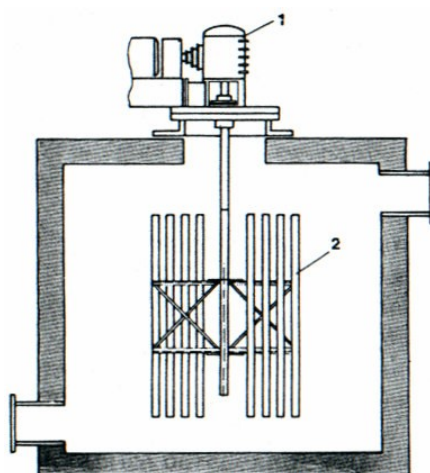
Važno je za oba slučaja da obrazovane flokule budu što je više moguće jednakog prečnika (Jahić, 1990).

Objekti koji se koriste za flokulaciju, kao i kod koagulacije, mogu biti dvojaki i dele se na flokulatore sa korišćenjem energije vode uz formiranje turbulencije i flokulatore sa korišćenjem mehaničkih uređaja. Do sudara među česticama dolazi usled Braunovog kretanja čestica ili stvaranjem povećanog gradijenta brzine u masi vode. Posle brzog mešanja formirane flokule su sitne i lagane. Da bi se mogle istaložiti potrebno ih je ukрупniti i otežati kako bi se potom lako istaložile u lamela separatoru. Proces ukрупnjavanja flokula najčešće se odvija u tri komore za flokulaciju. Kao flokulant koristi se rastvor anjonskog polielektrolita. U svakoj od komora za flokulaciju unosi se određena energija mešanja kako bi se postepeno povećavale flokule.

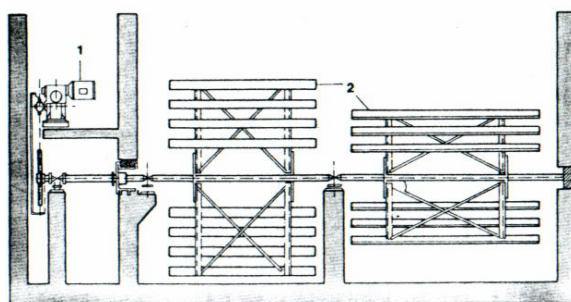
U prvoj flokulacionoj komori dozira se rastvor polielektrolita koji ima ulogu da privuče koloidne čestice i svojim makromolekulima izvrši ukрупnjavanje i otežavanje flokula. U ovoj komori se unošenjem energije preko lopatica vertikalnih mešalica pospešuje broj sudara i prijanjanja koloidnih čestica i koagulanata. U drugoj većoj komori nastavlja se ukрупnjavanje flokula unošenjem energije mešanjem vode. Da ne bi došlo do razbijanja flokula energija mešanja se smanjuje tako da je broj obrtaja mešalice u trećoj najvećoj komori najmanji. Ovom procedurom obezbeđuje se formiranje kompaktnih, ravnomernih i gustih flokula koje se odvođe na taloženje. Da bi se tačno definisale doze hemikalija potrebno je da se proces koagulacije i flokulacije simulira na džar-test uređaju.

Savremeni flokulatori su komore koje imaju oblik koji može da obezbedi kretanje vode bez kratkih veza i povratnih tokova, a kako bi se to postiglo izvršena

se podela ukupne zapremine na više komora. Najmanji broj komora je tri, a u posebnim slučajevima dve. Zapremina flokulatora treba da obezbedi vreme zadržavanja vode od 15 do 30 min, a sasvim retko do 40 min. U komore se ugrađuju mehanički mešači, kojima se postiže unošenje energije u vodu. Broj okretaja mešalice je takav da odgovara perifernim brzinama 0,1 do 0,6 m/s. U retkim slučajevima koriste se periferne brzine od 1 m/s. Uneta energija u flokulaciji kreće se u rasponu 10 do 100 s<sup>-1</sup>, izražena preko gradijenta brzine, tako da najveći gradijent brzine se primenjuje na početku, a najmanji pri kraju flokulacije. Na slikama 2.3. i 2.4. su prikazani najčešći uređaji za flokulaciju.



**Slika 2.3.** Vertikalni flokulator: 1.pogon, 2.mešalice (Jahić, 1990)

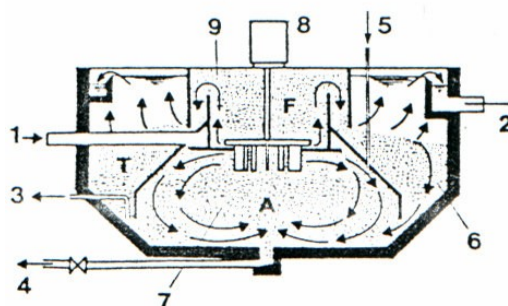


**Slika 2.4.** Horizontalni flokulator: 1.pogon, 2.mešalice (Jahić, 1990)

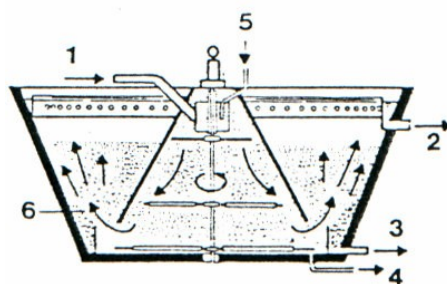
### **Kombinovani uređaji**

Flokulacija i taloženje su procesi koji nisu strogo odvojeni zato što se flokulacija nastavlja i u taložniku. Ovo je posebno iskorišćeno kod kombinovanih objekata za koagulaciju, flokulaciju i taloženje. Kod postrojenja sa manjim

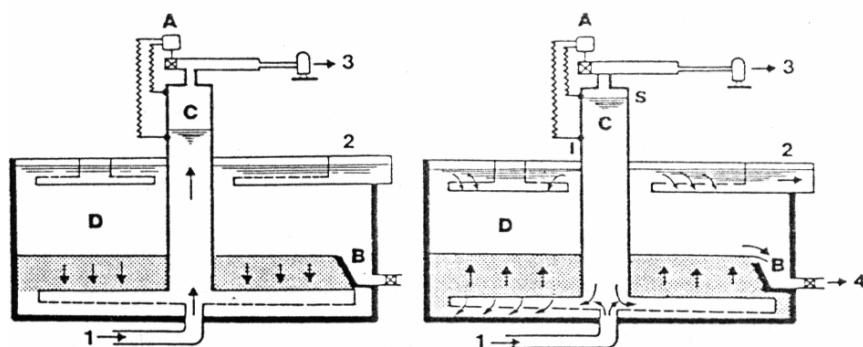
zapreminskim protocima i skromnijim raspoloživim prostorom upotrebljavaju se i takvi kombinovani uređaji. To ima za posledicu da se ne mogu uspešno menjati uslovi u toku flokulacije, što svakako predstavlja manu takvih uređaja. Međutim, postoje i prednosti takvog kombinovanja: prelaz vode iz flokulatora u taložnik izaziva najmanje poremećaje obrazovanih pahuljica, kombinacijom objekata postiže se ušteda u prostoru, a rad i održavanje čine jeftinijim i jednostavnijim, koristi se mogućnost recirkulacije mulja, čime se povećava broj čestica u procesu koagulacije i povećava mogući broj međusobnih dodira čestica, a tako se poboljšava i flokulacija. Na sledećim slikama su predstavljeni najčešći tipovi kombinovanih uređaja: akcelerator, precipitator i pulsator.



**Slika 2.5.** Akcelerator: 1. sirova voda, 2. odvod, 3. slavina za uzorke i ispuštanje mulja, 4. ispuštanje za ispiranje i pražnjenje, 5. hemikalije, 6. zona povratnog toka, 7. primarna zona mešanja i reakcije, 8. pogon, 9. sekundarna zona mešanja i reakcije (Jahić, 1990)



**Slika 2.6.** Precipitator: 1. dovod vode, 2. odvod vode, 3. ispuštanje mulja, 4. ispuštanje za pražnjenje precipitatora, 5. dovod hemikalija, 6. koncentrator mulja (Jahić, 1990)



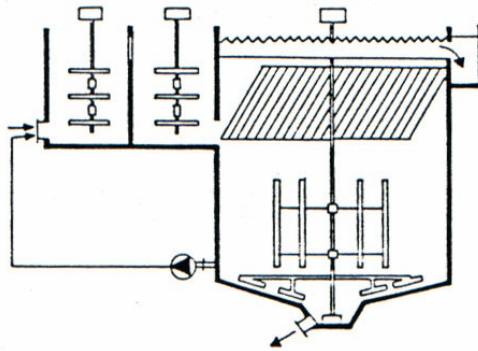
**Slika 2.7.** Pulsator: 1. dovod sirove vode, 2. sakupljači prečišćene vode, 3. vakuum pumpa, 4. ispušt mulja sa automatskim zatvaračem (Jahić, 1990)

### 2.1.2.5. Taloženje

Izdvajanje suspendovanih čvrstih čestica iz vode pomoću gravitacije je taloženje ili sedimentacija. Pri uslovima laminarnog toka vode moguće je za prihvatljiv vremenski period (najviše do 1 h) istaložiti čestice veće od 10  $\mu\text{m}$  (taložne suspendovane čestice). Zbog toga se u prethodnom procesu koagulacije i flokulacije dodatkom koagulanta i flokulanta i odgovarajućim mešanjem (prvo brzim, pa sporim) od mnogo manjih koloidnih čestica obrazuju velike flokule pogodne za taloženje. U praksi se najčešće koriste sledeće vrste taložnika:

- pravougaoni sa horizontalnim tokom vode
- kružni sa vertikalnim tokom vode
- cevni taložnik
- taložnik sa lebdećim muljem,
- lamelni taložnici (sa recirkulacijom mulja, bez recirkulacije mulja, sa zgušnjavanjem mulja).

U pripremi vode za piće najviše se koristi lamelni taložnik sa recirkulacijom mulja, čime se pospešuju prethodni proces koagulacije i flokulacije, prikazan na sledećoj slici 2.8.



**Slika 2.8.** Lamelni taložnik sa recirkulacijom i zgušnjavanjem mulja (Jahić, 1990)

Površina raspoloživa za taloženje može se značajno povećati ubacivanjem velikog broja separacionih ćelija (voda/mulj) odnosno lamela u postojeći uređaj. Iz raspodeljivača voda prolazi kroz proreze koji služe za uvođenje vode na početak lamelne ploče. Svaka lamelna ploča ima funkciju taložnika u kome dolazi do izdvajanja flokula u vidu mulja. Mulj pada na dole, klizajući niz lamele, a izbistrena voda preliva preko prelivnih traka u gornji deo kanala za izbistrenu vodu. Efikasnost procesa je daleko veća u odnosu na klasične taložnike u pogledu uklanjanja mutnoće ( $<1$  NTU), boje, organskih materija i teških metala. Hidrauličko površinsko opterećenje lamelnog taložnika računato na oko  $1$  m/h omogućava efikasno taloženje i zahteva 5-6 puta manji prostor od ostalih tipova konvencionalnih taložnika, a takođe omogućava kompaktno rešenje sistema za koagulaciju, flokulaciju i taloženje. Lamelni taložnik ima mnogobrojne prednosti u odnosu na ostale tipove taložnika, kao što su:

- veliko hidrauličko opterećenje i velika taložna površina,
- manje vreme zadržavanja,
- značajno smanjenje potrebnog prostora,
- kratak period startovanja i postizanja stacionarnih uslova,
- poboljšan kvalitet izbistrena vode (mutnoća  $<1$  NTU),
- značajno bolji efekti uklanjanja organskih materija i teških metala,
- visoka efikasnost pri niskim temperaturama i niskom alkalitetu vode,
- manja količina vode od pranja filtera posle filtracije,
- nema nadmuljne vode,
- velika koncentracija mulja (4%),
- odlična fleksibilnost,
- manja investiciona ulaganja,



- manja potrošnja hemikalija
- kontrolisan unos energije.

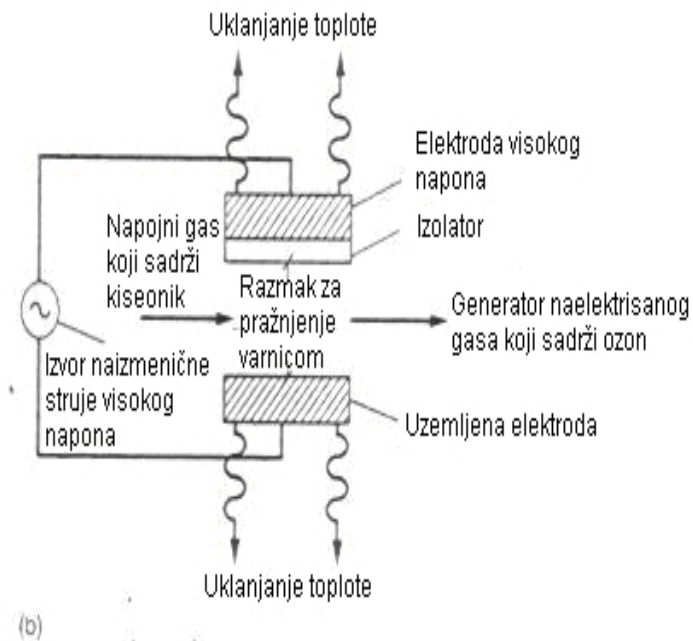
Izdvojeni mulj se prikuplja u ugušćivaču koji je smešten neposredno ispod lamelarnih ploča. U ovom prostoru vrši se ugušćivanje čvrstih materija iz sirove vode zajedno sa reakcionim produktima hemikalija za flokulaciju, pri čemu samo čvrste materije dospevaju u prostor za ugušćivanje i jednako se raspodeljuju po celoj zapremini ugušćivača. Iskustva iz prakse su pokazala da je za usvojeni tip lamelarnog taložnika sa integrisanim ugušćivačem mulja omogućena koncentracija suve supstance u mulju na dnu ugušćivača od 2–10% masenih. U ugušćivaču je predviđena ugradnja sistema za grebanje i usmeravanje mulja (tzv."skreper") koji odstranjuju mulj sa dna i usmeravaju ga u konus zgušnjivača koji se nalazi na samom dnu.

#### **2.1.2.6. Ozonizacija**

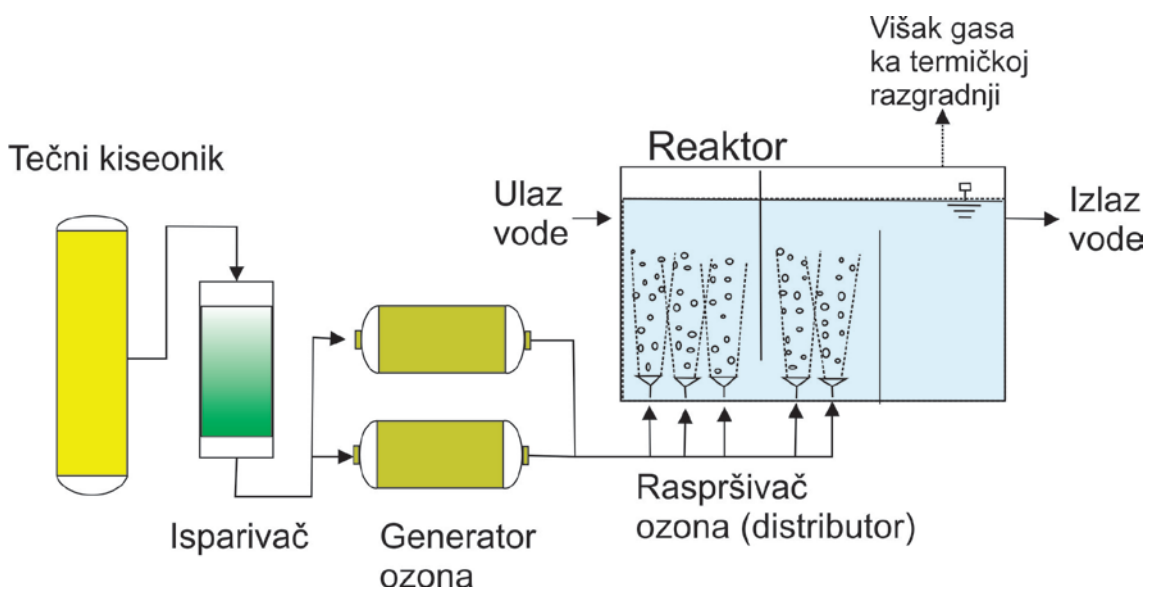
Ozon je najjače oksidaciono i dezinfekcion sredstvo i kao takvo neophodno u pripremi vode za piće iz površinskih voda, tj. sirovih rečnih voda i voda iz prirodnih jezera i veštačkih akumulacija. Uobičajena upotreba ozona je za kontrolisanje ukusa, mirisa i supstanci koje doprinose obojenju vodi, kao i razgradnju prirodnih organskih supstanci složene strukture čime se znatno olakšava njihovo kasnije uklanjanje iz vode procesom adsorpcije na granulisanom aktivnom uglju. Proizvodi se na više načina, ali dominira pomoću električnog pražnjenja, čime se imitira prirodni proces pojave ozona pri električnom pražnjenju (munjama) u atmosferi tokom oluja. Termodinamički je vrlo nestabilan, pa se brzo raspada složenim hemizmom obrazujući slobodne radikale koji ostvaruju izuzetnu oksidacionu i dezinfekcionu aktivnost. Zbog nestabilnosti mora se proizvoditi isključivo na mestu korišćenja od kiseonika iz prečišćenog i osučenog vazduha ili tečnog kiseonika, što je mnogo češće u praksi.

Na slici 2.9. je prikazana šema ozon generatora, dok je na slici 2.10. predstavljen standardan sistem za ozonizaciju, koji se sastoji iz sledećih delova:

- snabdevanje energijom
- uređaja za pripremu napojnog gasa
- uređaja za proizvodnju ozona
- bazena za kontakt ozona sa vodom
- uređaja za razgradnju izdvojenog gasa (Povrenović i Pavićević, 2011).



**Slika 2.9.** Šema ozon generatora (EPA, 1999; Povrenović i Pavićević, 2011)



**Slika 2.10.** Šema ozonizacije u pripremi vode za piće  
(Povrenović i Pavićević, 2011)

Predozonizacija je primena ozona pre koagulacije flokulacije, što povećava delotvornost hemikalija i uklanja smetnje za njihovo efikasno delovanje do kojeg dolazi u prisustvu većih koncentracija materija organskog porekla, bilo rastvorenih

ili koloidno dispergovanih u vodi. Primenom ozona u predozonizaciji se postižu sledeća dejstva u procesu bistrenja i filtriranja:

- razaranje metal-organskih kompleksa
- uklanjanje ukusa i mirisa
- inaktivacija algi i delimična dezinfekcija
- destabilizacija koloidnih i obojenih materija
- bolji kvalitet filtrata i povećanje efikasnosti filtera.

Ovim dejstvima postižu se sledeća poboljšanja:

- smanjenje sadržaja materija koje hlorisanjem obrazuju trihalometane
- smanjenje boje, ukusa i mirisa
- smanjenje doze koagulanta
- sprečava se infekcija jedinica procesa
- smanjenje potrošnje vode za pranje filtera.

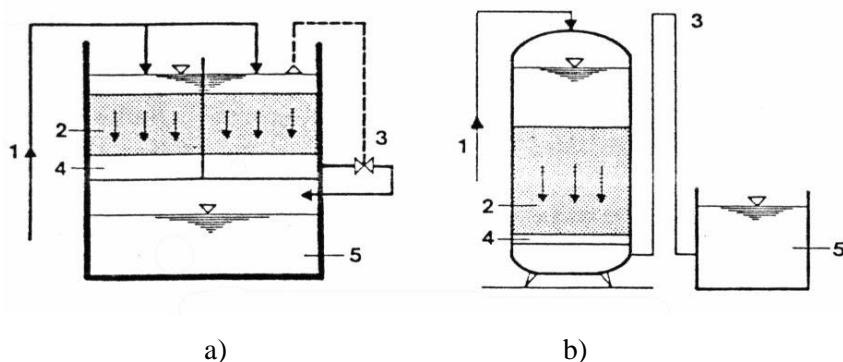
Glavna ozonizacija ima za cilj hemijsku oksidaciju i dezinfekciju. Primjenjuje se posle bistrenja ili posle filtriranja. Uslovi dejstva ozona u procesu glavne ozonizacije koji postoje u praksi (vreme kontakta 10–20 min za dozu ozona 2–5 g/m<sup>3</sup>), ne omogućavaju potpunu oksidaciju organskih jedinjenja, tj. njihovo pretvaranje u ugljen-dioksid i vodu, već se odvija samo delimična razgradnja. Glavno dejstvo ozona na materije prisutne u vodi u uslovima koji se primenjuju je:

- razlaganje složenih materija, tj. velikih molekula u oksidacione produkte manje molekulske težine, pri tome se postižu sledeći efekti:
  - materije mogu postati biološki razgradljive
  - obrazuju se polarne materije
  - smanjuje se boja vode, jer se oksidacijom obrazuju nebojena, ili manje obojena jedinjenja
  - obrazuju se materije koje nemaju miris
  - smanjuje se potencijal obrazovanja hlor-organskih jedinjenja
- uništavanje algi, bakterija, virusa i spora
- uklanjanje štetnih materija; dejstvom ozona postiže se snižavanje koncentracije štetnih materija na dopuštene vrednosti, što je, slučaj sa deterdžentima, fenolima i pesticidima
- poboljšavanje rada filtera, ako se ozonizacija primenjuje posle bistrenja.

### 2.1.2.7. Filtracija

Filtracija je proces prečišćavanja vode koja prolazi kroz filtracioni medijum. Sam proces se ostvaruje prolaskom vode kroz sloj zrnastog materijala, koji je postavljen na perforiranu podlogu. Poboljšanje kvaliteta vode nastaje usled uklanjanja suspendovanih i koloidnih materija. Tokom filtracije mogu nastupiti i neki drugi procesi: katalitičko uklanjanje mangana, sorpcija teških metala, biološka oksidacija amonijaka i zadržavanje bakterija. To se može desiti ukoliko postoje odgovarajući uslovi, kao npr. dnevna svetlost, brzina filtracije, izbor filterske ispune itd. Uklonjene nečistoće se akumuliraju na filtracionom medijumu pa je neophodno njegovo pranje u određenim vremenskim intervalima.

Filtracija vode u kontrolisanim uslovima izvodi se u sporim i brzim gravitacionim filterima i filterima pod pritiskom, prikazano na slici 2.11. U sva tri navedena slučaja filterska jedinica se sastoji od objekta izgrađenog od betona ili čelika na čijem se dnu, koji čini perforirana podloga, nalazi drenažni sistem preko kojeg se sakuplja filtrirana voda i odvodi izvan filterske jedinice. Taj drenažni sistem se koristi i za pranje filtera sa kretanjem vode za pranje odozdo na gore. Na perforiranoj podlozi postavljena je filterska ispuna direktno ili preko nosećeg sloja, a iznad ispune nalazi se prostor za vodu koja se filtrira. Prilikom gravitacionog filtriranja koji se primenjuje u sporim i brzim filterima, pogonska sila filtriranja je hidrostatički pritisak koja se ostvaruje visinom vodenog stuba. Kod filtera pod pritiskom u vidu zatvorenih sudova pogonska sila se ostvaruje pomoću pumpi. Elementi filterske jedinice su dovodne i odvodne cevi, kanali sa zatvaračima i oprema koja služi za upravljanje radom filtera.



**Slika 2.11.** Kontrolisana filtracija: a) brzi gravitacioni filter, b) filter pod pritiskom  
1. dovod sirove vode, 2. filterska ispuna, 3. zatvarač (sifon), 4. drenažni sistem, 5.  
rezervoar čiste vode (Jahić, 1990)

U pripremi vode za piće u vodovodnim sistemima koristi se brzi gravitacioni dvomedijumski peščano-antracitni filteri sa brzinama filtracije 4–10 (prosečno 7) m/h. Oni se sastoje od peščanog sloja visine 1 m i antracita (alternativa je vulkanski pepeo – tuf) visine 40 cm i drenažnog sistema koji se sastoji od duplog dna sa filterskim mlaznicama (diznama) iz kog se voda odvodi u rezervoar čiste vode. Poboljšanje rada filtra postiže se korišćenjem uniformnog filtracionog medijuma. Na taj način obezbeđuje se ravnomeran pad pritiska duž filterske ispune, što značajno produžava vreme rada filtera do 40–45 h. Za vreme filtracije u brzim filtrima sa dvoslojnim medijumom efikasno se uklanjaju suspendovane materije. Izlazna mutnoća filtrirane vode je ispod 0,2 NTU. Kao dodatak, ostvaruje se delimična biološka oksidacija amonijaka u filterskoj ispuni, kao i uklanjanje oksida železa i značajna delimična redukcija organskih materija. Tokom filtracije vode dolazi do zaprljavanja filterske ispune. Pranje filtera vrši se kratkim rastresanjem filterske ispune vazduhom, zatim pranjem (fluidizacijom peska) vodom i vazduhom odozdo na gore i završnim pranjem vodom u ukupnom trajanju do 20 min.

#### **2.1.2.8. Adsorpcija na aktivnom uglju**

Adsorpcija na aktivnom uglju je postupak izdvajanja organskih supstanci iz vode. U sistemu aktivni ugalj–voda karakterističan je mali naboj i u ovom slučaju dominantne su Van der Valsove sile, tj odvija se fizička adsorpcija.

Proces adsorpcije se koristi u tretmanu vode za piće za uklanjanje svih organskih supstanci (što znači da je aktivni ugalj neselektivni adsorbens), a posebno je značajno:

- onih koja daju ukus i miris vodi
- sintetičkih organskih supstanci
- obojenih organskih jedinjenja
- sredstava za dezinfekciju.

„Za definisanje procesa adsorpcije najbitniji su adsorpciona ravnoteža i kinetika adsorpcije. Migracija supstanci u sistemu tečno-čvrsto odvija se u dva pravca, iz rastvora ka adsorbensu i sa adsorbensa ka rastvoru. Neto efekat ova dva suprotna procesa je adsorpcija. Momenat kada se dva suprotno usmerena procesa, adsorpcija i desorpcija uravnoteže naziva se adsorpciona ravnoteža. Na adsorpcionu ravnotežu utiču: temperatura, specifična površina adsorbensa, veličina i distribucija pora u adsorbensu, hemijski procesi na površini adsorbensa, priroda adsorbata i osobine rastvarača (vode)“ (Povrenović i Pavićević, 2011).

Postupci adsorpcije mogu biti šaržni i kontinualni. Šaržna adsorpcija se odvija u sudu sa mešanjem u koji se dodaje voda i aktivni ugalj u prahu. Nakon završene adsorpcije, gravitacionim taloženjem, filtracijom ili centrifugiranjem se odvaja adsorbens sa adsorbovanom supstancom. Kontinualna adsorpcija se odvija u adsorpcionim kolonama ili bazenima pomoću granulisanog (zrnastog) aktivnog uglja (GAU). Ovo se primenjuje kod velikih zapreminskih protoka kakvi su u vodovodnim sistemima. Specifična površina aktivnog uglja u granulama je 1.200–1.500 m<sup>2</sup>/g, a granulacija 0,6–1,6 mm. Posle određenog perioda rada dolazi do njegovog zasićenja, a sve zbog ograničenja adsorpcionog kapaciteta uglja, pa se tada prekida rad i vrši se regeneracija uglja. Regeneracija granulisanog aktivnog uglja se izvodi termički, žarenjem granulisanog aktivnog uglja na temperaturi od oko 900°C u peći sa vrlo malim dotokom vazduha da bi se izarila samo adsorbovana organska supstanca, ne i aktivni ugalj (ipak se tom prilikom izgubi oko 5% adsorpcionog kapaciteta).

Kombinacija ozon – aktivni ugalj je jedno od najsavremenijih tehničkih rešenja za preradu površinskih i podzemnih voda lošijeg kvaliteta do kvaliteta vode za piće, koje mogu biti opterećene otrovnim supstancama i onima koje stvaraju ukus i miris. Ovakva tehnologiju prečišćavanja vode se smatra vrlo efikasnom i najčešće se koristi u savremenim i modernim postrojenjima za prečišćavanje vode za piće. Prethodna brza peščana filtracija onemogućava brzo zasićenje aktivnog uglja zadržavanjem dela prisutnih organskih supstanci koje su adsorbovane na suspendovanim česticama izdvojenim pri filtraciji. Aktivni ugalj je odlična podloga za razvoj bakterija koje takođe imaju ulogu u uklanjanju biorazgradive organske supstance jer imaju podlogu, kiseonik i hranu. Ovaj fenomen omogućava mnogo duži radni vek aktivnog uglja u odnosu na proračunat na osnovu kapaciteta adsorpcije. Izvesne reakcije oksidacije organskih

jedinjenja koje eventualno nisu dovršene, u kontaktu sa aktivnim ugljem se katalizuju pomoću rezidualnog kiseonika koji je prisutan u aktivnom uglju čime se postiže zaokružen proces na ovim filterima. Važno je napomenuti da je uklanjanje ozona iz vode fenomen koji je takođe vezan za katalitičku funkciju granulisanog aktivnog uglja.

Suštinska uloga aktivnog uglja je je proces adsorpcije organskih supstanci rastvorenih u vodi, tako što bivaju zadržane u porama aktivnog uglja. Na osnovu kontrole rada GAU filtera, uzorkovanja i analize kvaliteta aktivnog uglja, vrši se procena vremena nakon kog je potrebna prva regeneracija ispune u GAU filterima (delimična ili cela). Važno je pridržavati se svih uputstava vezanih za odražavanje i upravljanje radom filtera datih od strane projektantai i isporučioaca aktivnog uglja.

Potrebno je da ugalj ima sledeće osobine:

- veliku internu strukturu pora
- visok sadržaj mikropora
- optimalnu gustinu
- makimalnu tvrdoću
- malo prašine
- odličan kapacitet adsorbcije
- visoku zapreminsku aktivnost
- brzu dehlorinaciju i da bude opterećen malom mutnoćom filtrirane vode.

Ugalj treba da bude takav da ga njegova mikroporoznost čini posebno pogodnim za uklanjanje malih molekula organskih jedinjenja. Radi što dužeg veka trajanja aktivnog uglja (zadržavanje adsorbcionih karakteristika) potrebno je voditi računa da voda koja dolazi na njega bude bistra i sa što manjim sadržajem hlora ili ozona da bi se izbegle česte regeneracije uglja koje su skupe i tehničko-tehnološki vrlo zahtevne. Pranje GAU filtera vrši se slično kao i pranje peščanih filtera samo sa manjim brzinama fluida i to samo vodom i samo vazduhom.

#### **2.1.2.9. Dezinfekcija**

„Dezinfekcija vode znači inaktiviranje, tj. uklanjanje svih patogenih mikroorganizama (šire posmatrano i svih supstanci izazivača bolesti) iz sirove vode u pripremi za piće. Ona u jednostavnijem načinu primene obuhvata jednokratni proces,

npr. dezinfekciju vode seoskog bunara, dok u većim, složenijim sistemima za pripremu vode podrazumeva kombinaciju tri procesa: početnu oksidaciju koja prethodi ostalim procesima, primarnu dezinfekciju (inaktiviranje mikroorganizama u vodi) i sekundarnu dezinfekciju (produženo, tj. rezidualno delovanje u celom distributivnom sistemu). Najznačajniji bakteriološki indikatori fekalnog zagađenja su *Escherichia coli*, (kao najspecifičnija od brzo odredljivih termotolerantnih i drugih koliformnih bakterija preporučena od Svetske zdravstvene organizacije (WHO) za osnovni indikator), fekalne streptokoke i spore sulfit-redukujućih klostridija. Visoko rizični patogeni su: bakterije – *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholere*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*; virusi – adenovirusi, enterovirusi, hepatitis A, hepatitis E, *Norwalk* virus, *Rotavirus* i protozoe (paraziti) – *Giardia*, *Cryptosporidium*, *Entamoeba histolytica* i *Dracunculus*. Drugi najznačajniji opšti pokazatelj mikrobiološkog kvaliteta vode je brojnost aerobnih mezofilnih bakterija, obavezan u svim vrstama pregleda vode i posebno značajan u proceni efikasnosti tehnoloških procesa pripreme vode za piće. Metode danas najzastupljenije za mikrobiološke laboratorijske analize su:

- MPN (*most probable number*) ili MT (*multiple tube*) – metod najverovatnijeg broja ili metod epruveta
- MF (*membrane filtration*) – metod membranske filtracije
- P/A (*presence/absence*) – metod testa prisutno/odsutno
- HPC (*heterotrophic plate count*) – metod određivanja broja kolonija heterotrofa.
- BARTs (*biologic activity reaction tests*) – biološki aktivni reakcioni testovi“ (Povrenović i Pavićević, 2011). U Prilogu su predstavljene tabele sa mikrobiološkim i biološkim pokazateljima kvaliteta vode po propisanim vrstama laboratorijskog pregleda – Tabele 1 i 2 (Pravilnik, 2019).

Procesi dezinfekcije ne zavise samo od osobina mikroorganizma i primenjenog dezinfekcionog sredstva, kontaktnog vremena, nego i od uslova sredine u kojoj se odvijaju. Od osobina mikroorganizama najznačajnije su: brojnost, fiziološko stanje, otpornost vegetativnih oblika, sposobnost obrazovanja spora i prisustvo ćelijskih kapsula i omotača. “Od kvalitetnog sredstva za dezinfekciju vode se zahteva:

- da uklanja, tj. inaktivira sve patogene mikroorganizme eventualno prisutne u vodi
- da se dezinfekcija završava za što kraće vreme i u uslovima većih promena temperature



- da u koncentracijama u kojima efikasno dezinfikuje vodu ne izaziva toksičnost vode, i ne daje joj neprijatan ukus ili miris
- da je jeftino i da se lako nabavlja i skladišti
- da se lako dozira u vodu, bez primene složene i skupe aparature
- da se lako i brzo može odrediti njegova koncentracija u vodi
- da u dužem periodu vremena obezbeđuje mikrobiološku higijensku ispravnost vode, tj. da ima produženo (rezidualno) dejstvo neophodno u sprečavanju naknadnog inficiranja vode (reinfekcija) u distributivnom delu vodovodnih sistema” (Gaćeša i Klašnja, 1994).

„Logična podela dezinfekcionih postupaka je sledeća:

**a) oksidativni (reagentni) procesi:**

- hlor (gasoviti hlor, hipohloriti, hloramini)
- hlor-dioksid
- drugi halogeni (jedinjenja joda, broma i fluora)
- ozon (ozonizacija će biti detaljnije predstavljena u posebnom poglavlju)
- permanganat
- ne-fotohemijski unapređeni procesi oksidacije (Advanced oxidation processes – AOPs):
  - ozon/vodonik-peroksid (perokson)
  - vodonik-peroksid/ $\text{Fe}^{2+}$  (Fenton i Fenton-slični procesi)
  - elektrohemijska oksidacija
  - jonizacija

**b) neoksidativni (nereagentni) procesi:**

- ultraljubičasto zračenje (UV)
- ultrazvuk (US)
- membranska mikrofiltracija i ultrafiltracija
- oligodinamički efekti jona srebra i bakra (uslovno)
- toplota (pasterizacija, sterilizacija)
- fotohemijski unapređeni procesi oksidacije:
  - heterogena fotokataliza na titan-dioksidu
  - fotoliza u ultravakuumu

- mikrotalasi

c) **kombinacija oksidativnih i neoksidativnih procesa – unapređeni procesi oksidacije:**

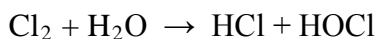
- vodonik-peroksid/UV
- ozon/UV
- ozon/vodonik-peroksid/UV
- Foto-Fenton (vodonik-peroksid/Fe<sup>2+</sup>/UV)
- vodonik-peroksid/US
- ozon/US
- Fenton/US” (Povrenović i Pavićević, 2011).

**Tabela 2.1.** Karakteristike pet najčešće primenjivanih dezinfekcionih sredstava (Dalmacija et al., 2005)

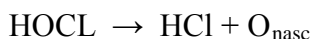
	dezinfekciono sredstvo				
	slobodan hlor	kombinovani hlor	hlor-dioksid	ozon	UV zračenje
efikasnost pri dezinfekciji					
bakterija	odlična	dobra	odlična	odlična	dobra
virusa	odlična	dovoljna	odlična	odlična	dovoljna
protozoa	dovoljna do loša	loša	dobra	dobra	odlična
endospora	dobra do dovoljna	loša	dovoljna	odlična	dovoljna
upotreba kao primarnog dez. sredstva	najčešće	često	povremeno	često	vanredno (hitno)
MDK reziduala	4 mg/l 5 mg/l <sup>1</sup>	4 mg/l	0,8 mg/l 0,4 mg/l <sup>1</sup>	-	-
doza	1–6 mg/l	2–6 mg/l	0,2–1,5 mg/l	1–5 mg/l	20–100 mJ/cm <sup>2</sup>
1 Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ 42/98)					

## Hlorisanje

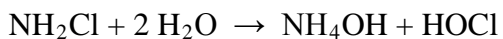
Dezinfekcija hlorisanjem odnosno gasovitim hlorom, hipohlorastom kiselinom i hipohloritima i hloraminima ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ,  $\text{NHCl}_2$  i  $\text{NCl}_3$  – jedinjenja nastala reakcijom amonijaka i elementarnog hlora) je najzastupljeniji postupak dezinfekcije u svetu zbog produženog (rezidualnog) dejstva iako je hlor vrlo otrovan i opasan (korišćen kao prvi moderni bojni otrov u Prvom svetskom ratu). Rastvaranjem hlora u vodi nastaju hlorovodonična i hipohlorasta kiselina:



Smatra se da je hipohlorasta kiselina ona supstanca koja stupa u reakciju sa bakterijama narušavajući ćelijski metabolizam, odnosno izazivajući njihovu inaktivaciju. Drugo tumačenje je da usled delovanja hlora značajnu ulogu ima nascentni kiseonik, koji nastaje razlaganjem hipohloraste kiseline:



Produženo dejstvo hlora se zasniva na prisustvu rezidualnog aktivnog hlora koncentracije 0,3-0,5 mg/l koji omogućuju hloramini od kojih je najzastupljeniji monohloramin na pH vrednostima vode (neutralna i blago bazna sredina) koji reaguje sa vodom:



oslobadajući hipohlorastu kiselinu koja obezbeđuje pomenuto dezinfekciono dejstvo. Efekat hlorisanja se znatno povećava sa porastom temperature. Ipak se voda iz ekonomskih razloga uvek hlorige na ambijentalnoj temperaturi. Efekat hlorisanja takodje zavisi i od vrste prisutnih mikroorganizama jer su različiti mikroorganizmi u različitoj meri otporni na delovanje hlora i njegovih jedinjenja.

**Tabela 2.2.** Dezinfekciona sredstva koja se koriste za hlorisanje vode  
(Gaćeša i Klašnja, 1994)

Oblik	Formula	Komercijalno ime	Sadržaj hlora, %	Primedba
Hlorni gas	$\text{Cl}_2$	Tečni hlor*	100	Nabavlja se u bocama ili dobija elektrolizom NaCl.

Natrijum-hipohlorit	NaOCl	Žavelova voda	10–15	Koristi se samo kao vodeni rastvor.
Kalcijum-hipohlorit	Ca(OCl) <sub>2</sub>	Kaporit, Hiperit	70	
Kalcijum-hloridhipohlorit	CaCl(OCl)	Hlorni kreč	25–35	Raspada se uz taloženje kreča i CaCO <sub>3</sub> .
Neorganski hloramini	NH <sub>2</sub> Cl NHCl <sub>2</sub> NCl <sub>3</sub>	Amonijum-hloramini	do 25	Nastaje na pH: 6–8 5–6 <5
Organski hloramini		Halamid, Pantocid, itd.	do 25	Deluju duže i sporije.
Hlor-dioksid	ClO <sub>2</sub>		50	Deluje brže i efokasnije.

\*Naziv za hlor dobijen elektrolizom, komprimovanjem (10 bar) preveden u tečno stanje i napunjen u čelične boce.

Efikasnost delovanja, odnosno baktericidnost hlornih preparata opada po sledećem redosledu: hlor-dioksid > elementarni hlor > kalcijum-hipohlorit > hlorni kreč > natrijum-hipohlorit > hloramini.

Hlor je jako oksidaciono sredstvo i on će se trošiti na oksidaciju ukoliko u vodi ima supstanci koje se mogu oksidovati pre nego dodje do izražaja njegovo dezinfekciono dejstvo. Prema tome, masa hlora koja se dozira u vodu prilikom dezinfekcije podrazumeva i hlor koji se troši za oksidaciju. Slobodni aktivni hlor se nalazi u obliku hipohloraste kiseline (HOCl) i hipohloritnog anjona (OCl<sup>-</sup>), i on obezbeđuje trenutnu dezinfekciju. Kombinovani aktivni hlor čine hloramini sa svojim produženim dejstvom.

**dodati hlor = hlor utrošen za oksidaciju + ukupni (rezidualni) aktivni hlor**

**ukupni (rezidualni) aktivni hlor =  
slobodni aktivni hlor + kombinovani aktivni hlor**

**Tabela 2.3.** Prednosti i nedostaci upotrebe hlora u dezinfekciji vode (EPA, 1999)

Prednosti	Nedostaci
Hlor	
Dobro poznata tehnologija	Opasne hemikalije kojim su izloženi radnici i stanovništvo; moraju se koristiti stroge mere zaštite na radu
Efikasno dezinfekciono sredstvo	Relativno dugo vreme kontakta u poređenju sa drugim dezinfekcionim sredstvima
Rezidual hlora mora se meriti i održavati u granicama	Kombinovani hlor je manje efikasan u inaktivaciji nekih virusa, spora i cista pri manjim dozama koje se koriste za koliformne bakterije
Kombinovani rezidual hlora može se stvoriti i dodatkom amonijaka	Rezidualna toksičnost tretiranog izlaznog toka mora se smanjiti dehlorisanjem
Germicidni reziduali hlora mogu se održavati u dugačkoj distributivnoj mreži	Obrazovanje trihlormetana i drugih sporednih produkata dezinfekcije (SPD)
Raspolaganje hemijskim sistemom za dodatne mere kao kontrola mirisa, dozirne linije i dezinfekcioni pogon za vodene sisteme	Oslobađanje isparljivih organskih jedinjenja iz bazena za kontakt sa hlorom
Oksiduje sulfide	Oksiduje gvožđe, magnezijum i ostala neorganska jedinjenja (troši dezinfekciono sredstvo)
Relativno jeftin (troškovi rastu u slučaju zahtevnije protivpožarne regulative)	Oksiduje različita organska jedinjenja (troši dezinfekciono sredstvo)
Dostupan kao kalcijum i natrijum hipohlorit, što je bezbednije od gasnog hlora	Povećan nivo ukupnih rastvorenih materija u izlaznom toku
	Povećan sadržaj hlorida u otpadnoj vodi
	Povećani sigurnosni zahtevi

## Hlor-dioksid

Hlor-dioksid ima dobra biocidna svojstva u širokom rasponu pH (od 3 do 9) pri čemu inaktivira patogene koji su otporni na dejstvo hlora kao što su *Giardia* i *Cryptosporidium*. Njegovim korišćenjem se sprečava stvaranje opasnih sporednih proizvoda dezinfekcije kao što su trihalometan, halosirćetna kiselina i hlorfenoli ali se zato stvaraju nepoželjni hloriti. Hlor-dioksid ne može da zameni primenu gasovitog hlora u većim sistemima, ali može da bude alternativno rešenje hipohloritima u manjim sistemima pripreme vode, kao i dopuna u kombinovanim sistemima (Povrenović i Pavićević, 2011).

**Tabela 2.4.** Prednosti i nedostaci upotrebe hlor-dioksida u dezinfekciji vode (EPA, 1999)

Prednosti	Nedostaci
Hlor-dioksid	
Efikasno dezinfekciono sredstvo	Nestabilan, mora se proizvesti na licu mesta
Mnogo efikasniji od hlora u inaktivaciji većine virusa, spora, cista i dr.	Oksiduje železo, magnezijum i druga neorganska jedinjenja (troši dezinfekciono sredstvo)
Biocidne osobine nisu zavisne od pH vrednosti vode	Oksiduje brojna organska jedinjenja (troši dezinfekciono sredstvo)
Pod povoljnim uslovima primene halogenovani SPD se ne stvaraju	Obrazuje SPD (hlorite i hlorate)
Oksiduje sulfide	Može dovesti do stvaranja mirisa
Razgrađuje fenole za razliku od hlora	Razlaže se na sunčevoj svetlosti
Duže rezidualno dejstvo od hlora	Povećan nivo ukupnih rastvorenih materija u izlaznom toku
	Troškovi rada mogu biti visoki (nekoliko puta skuplji od hlora, obavezno određivanje hlorita i hlorata)

## Ultraljubičasto (UV) zračenje

Princip dezinfekcije se zasniva na prolasku ultraljubičastih zraka kroz sloj vode u protočnom sistemu. Efekat rada uređaja je potpuno inaktiviranje svih mikroorganizama u vodi pri čemu se dobija praktično sterilna voda. UV dezinfekcija se kvantitativno karakteriše energijom koju prime mikroorganizmi. „Posebno treba istaći da se UV zračenjem u procentu većem od 99,9 % mogu inaktivirati organizmi koji su veoma otporni na hlorisanje, a pre svega rezistentne protozoe, *Cryptosporidium parvum* i *Giardia lamblia*, čak pri relativno niskim dozama zračenja manjim od 15 mJ/cm<sup>2</sup>, što je velika prednost ovog vida dezinfekcije. Glavni nedostatak je odsustvo produženog (rezidualnog) delovanja, odnosno izražena mogućnost reinfekcije u distributivnoj mreži, što znači da je UV zračenje vrlo pogodno za primarnu dezinfekciju, ali praktično neprimenjivo za sekundarnu“ (Povrenović i Pavićević, 2011).

**Tabela 2.5.** UV doza zahtevana za sigurnu inaktivaciju (inaktivaciju poverenja) za *Cryptosporidium parvum*, *Giardia lamblia* i viruse (Dalmacija et al., 2005)

Log sigurne inaktivacije	UV doza (mJ/cm <sup>2</sup> )		
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	<i>Giardia lamblia</i>	Virusi
0,5	1,6	1,5	39
1,0	2,5	2,1	58
1,5	3,9	3,0	79
2,0	5,8	5,2	100
2,5	8,5	7,7	121
3,0	12	11	143
3,5	-	-	163
4,0	-	-	186

**Tabela 2.6.** Prednosti i nedostaci upotrebe UV zračenja u dezinfekciji vode  
(EPA, 1999)

Prednosti	Nedostaci
UV zračenje	
Efikasno dezinfekciono sredstvo	Nema trenutnih informacija o uspešnosti dezinfekcije
Bez toksičnih ostataka	Nema produžeg (rezidualnog) efekta
Efikasniji od hlora pri inaktivaciji većine virusa, spora, cisti	Manje efikasan u inaktivaciji nekih virusa, spora, cista, pri manjim dozama koje se koriste za koliformne bakterije
Ne stvara SPD pri dozama za dezinfekciju	Značajna potrošnja energije
Ne povećava nivo ukupnih rastvorenih materija u izlaznom toku	Problemi sa hidrodinamikom u UV rektorima
Efikasan u razgradnji zaostalih organskih supstanci kao N-nitrozodimetilamin (NDMA)	Relativno skup postupak (cene padaju sa novim i unapređenim modelima na tržištu)
Povećana bezbednost u odnosu na druge dezinfekcione postupke	Zahteva se veliki broj UV lampi kada se koristi sistem „nizak pritisak i nizak intenzitet“
Zahteva manje prostora od dezinfekcije hlorom	Lampe „nizak pritisak i nizak intenzitet“ zahtevaju pranje kiselinama radi skidanja kamenca
Pri većim UV dozama od zahtevanih za dezinfekciju, UV zračenje smanjuje koncentraciju tragova organskih supstanci kao NDMA	Potreba za hemijskim sistemom za pomoćne operacije kao kontrola mirisa i dozirne linije



## Ozon

**Tabela 2.7.** Prednosti i nedostaci upotrebe ozona u dezinfekciji vode (EPA, 1999)

Prednosti	Nedostaci
Ozon	
Efikasno dezinfekciono sredstvo	Nema trenutnih informacija o uspešnosti dezinfekcije
Mnogo efikasniji od hlora u inaktivaciji većine virusa, spora, cista i dr.	Nema rezidualnog efekta
Biocidne osobine nisu zavisne od pH vrednosti vode	Manje efikasan u inaktivaciji nekih virusa, spora, cista pri manjim dozama koje se koriste za koliformne bakterije
Kraće kontaktno vreme nego kod hlora	Obrazovanje SPD
Oksiduje sulfide	Oksiduje železo, magnezijum, i ostala neorganska jedinjenja (troši dezinfekciono sredstvo)
Zahteva manje prostora	Oksidiše različita organska jedinjenja (troši dezinfekciono sredstvo)
Povećava sadržaj rastvorenog kiseonika	Tretman zahteva isključenje dotoka gasa
	Bezbednosni zahtevi
	Visoko korozivan i toksičan
	Značajna potrošnja energije
	Relativno skup postupak
	Visoka zahtevi tokom rada i održavanja
	Zahteva kiseonik velike čistoće kao polaznu sirovinu

## Kombinovana i interaktivna dezinfekcija

„Moguća perspektiva daljeg usavršavanja dezinfekcionih postupaka je u kombinovanoj i interaktivnoj dezinfekciji. Ovaj proces, kada se više različitih dezinfekcionih sredstava primenjuje zajedno, pre svega za primarnu dezinfekciju, može dovesti do pojave efikasnije i efektivnije patogene inaktivacije, tj. do pojave sinergije.

**Tabela 2.8.** Inaktivacija *Cryptosporidium parvum* zajedno ozonom i hlor-dioksidom (Provči, 2010)

Dezinfekciono sredstvo	Nivo inaktivacije (log-jedinice)		
	pH 6	pH 8	pH 11
Ozon	1.6	0.8	0
Hlor dioksid	0.9	1.4	2.4
Ozon praćen hlor dioksidom	4.0	3.6	2.9
Inaktivacija pripisana sinergizmu	1.5	1.4	0.5

Sinergički efekat je jednak razlici u vrednostima efekta inaktivacije postignutog istovremenom primenom većeg broja dezinfekcionih sredstava i zbira efekata ostvarenih pojedinačnim postupcima (u nekim slučajevima je prisutno i antagonističko dejstvo, pa svaku kombinaciju treba laboratorijski dobro ispitati)“ (Povrenović i Pavićević, 2011). Na početku potpoglavlja navedeni su kombinovani i interaktivni načini dezinfekcije koji su kombinacija oksidativnih, kao i oksidativnih i neoksidativnih postupaka i zajedno čine unapređene procese oksidacije (AOPs).

### 2.1.2.9. Obrada mulja

Sadržaj suve materije u mulju za različite tipove taložnika dat je u tabeli 2.9. Zapremina mulja nastala u procesu bistrenja zavisi od sadržaja suspendovanih i koloidnih čestica u sirovoj vodi.

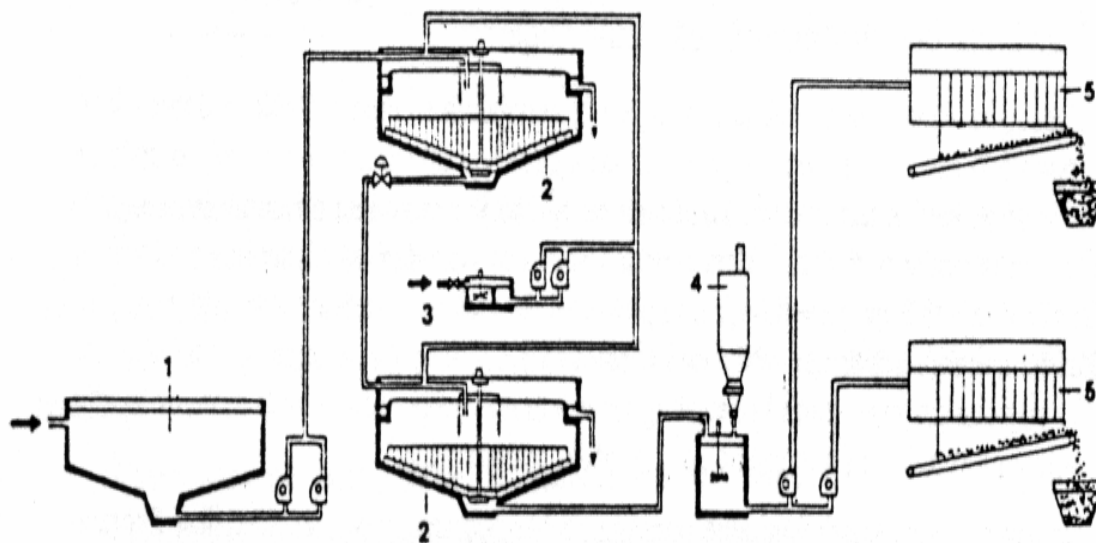
**Tabela 2.9.** Sadržaj suve materije u mulju

Tip taložnika	Sadržaj suve materije u mulju	
	%	kg/m <sup>3</sup>
Pravougaoni sa horizontalnim tokom	0,1	1
Kružni sa vertikalnim tokom	0,2– 0,5	2–5
Cevni taložnik	0,3–0,6	3–6
Lamelni taložnik	1	10
Lamelni taložnik sa recirkulacijom i zgušnjavanjem	10	100

U praksi pripreme vode za piće koriste se dva načina obrade mulja. Prvi je odlaganje mulja na polja za sušenje, a drugi je koncentrisanje mulja u tzv. zgušnjavačima i mehaničko očeđivanje, tj. obezvodnjavanja. Muljni kolač ili pogača, koji se dobija na kraju oba načina obrade mulja, odlaže se na posebnu deponiju. Prisutna praksa ispuštanja mulja iz taložnika u vodotok nije u skladu sa propisima. Propisi ne dozvoljavaju unošenje nerastvornih materija, čija je brzina taloženja veća od 0,4 mm/s u otvorene tokove, odnosno 0,2 mm/s u jezera i akumulacije.

Polja za sušenje mulja imaju korisnu visinu od 1 m. Na dnu polja nalazi se drenaža preko koje je postavljen sloj od 10 cm šljunka granulacije 1 do 3 cm, i 10 cm peska granulacije 2 do 5 mm. Voda iz mulja odloženog na poljima za sušenje se proceduje (oko 30%) i isparava (oko 10%), tako se na kraju dobija mulj sa oko 60% vlage, koji se sa polja može ukloniti mehaničkim putem jer više nije tečan već pastozan. Uobičajno je da se grade tri polja, svako kapaciteta za smeštaj jednomesečne zapremine mulja, tako da se jedno polje puni, drugo je puno i u njemu se mulj očeđuje, a treće se prazni.

Ugušćivanje mulja vrši se u tzv. zgušnjavačima pod dejstvom gravitacione sile uz sabijanje taloga u donjim zonama zgušnjavača, uobičajno u seriji od dva zgušnjavača, a pospešuje se dodatkom polielektrolita. Uklanjanje vode iz zgusnutog mulja obavlja se filter-presama, trakastim presama, centrifugama ili na neki drugi način. Na slici 2.12 prikazana je šema postupka ugušćivanja i mehaničkog ocedivanja mulja.



**Slika 2.12.** Postupak koncentracije i mehaničkog ocedivanja mulja:

1. prihvatni bazen, 2. zgušnjavač, 3. polimer, 4. kreč, 5. filter-prese

Kada zgušnjavači rade u seriji, u prvom se vrši ugušćivanje mulja od 0,1% suve materije (SM) na 2% uz dodatak polielektrolita, a u drugom od 2% na 6% uz dodatak kreča. Opterećenje zgušnjavača iznosi oko 15 kgSM/m<sup>2</sup>/dan, a ukoliko se za mehaničko ocedivanje koriste filter-prese, onda je njihovo opterećenje 1 kgSM/m<sup>2</sup>/h. U muljnom kolaču nalazi se 50–60% vlage. Mulj se kondicionira sa krečom pre ocedivanja u cilju stabilizacije, tj. sprečavanja procesa truljenja.

Radi ekonomičnijeg zbrinjavanja mulja akcenat je na smanjenju njegove zapremine i opasnih i štetnih karakteristika mulja na izvoru stvaranja da bi se pojeftinili ili, ako je moguće, potpuno izbegli dalji postupci obrade. Jedan od najisplativijih načina konačnog zbrinjavanja mulja je njegova primena u poljoprivredi, tj. rasipanje mulja na i u zemljište sa ciljem pospešivanja rasta useva. U to slučaju potrebna su detaljna

ispitivanja mogućeg sadržaja otrovnih supstanci – teških metala i opasnih, otrovnih organskih zagađujućih supstanci (Council Directive 86/278/EEC). U tom smislu definisane su i analize mulja koje obuhvataju sledeće parametre:

- maseni udeo suve materije izražen u %,
- maseni udeo ukupnog organskog ugljenika u suvoj materiji mulja izražen u %,
- pH vrednost mulja,
- maseni udeo ukupnog ukupnog azota u suvoj materiji mulja u %,
- maseni udeo ukupnog fosfora u suvoj materiji mulja u %,
- sadržaj teških metala u suvoj materiji mulja: kadmijum, bakar, nikl, olovo, cink, hrom i živa izražen u mg/kg,
- sadržaj sledećih polihlorovanih bifenila u suvoj materiji mulja izražen u mg/kg:
  - 2,4,4'-trihlorobifenil,
  - 2,2',5,5'-tetrahlorobifenil,
  - 2,2',4,5,5'.pentahlorobifenil,
  - 2,2',3,4,5,5'-heksahlorobifenil,
  - 2,2',3,4,4',5,5'-heptahlorobifenil.
- sadržaj polihlorovanih dibenzodioksina/dibenzofurana u suvoj materiji mulja izraženih u mg/kg TCDD ekvivalenta.

U narednim tabelama predstavljeni su dozvoljeni sadržaji teških metala i izuzetno otrovnih organskih zagađujućih supstanci – polihlorovanih bifenila (PCB).

**Tabela 2.10.** Dozvoljen sadržaj teških metala u reprezentativnom uzorku mulja

Teški metali	Dozvoljeni sadržaj teških metala izražen u mg/kg suve materije reprezentativnog uzorka mulja
Kadmijum	5
Bakar	600
Nikl	80
Olovo	500

Cink	2000
Živa	5
Hrom	500

**Tabela 2.11.** Dozvoljen sadržaj polihlorovanih bifenila (PCB) u reprezentativnom uzorku mulja

Polihlorovani bifenili (PCB)	Dozvoljeni sadržaj polihlorovanih bifenila (PCB) izražen u mg/kg suve materije reprezentativnog uzorka mulja
2,4,4'- trihlorobifenil	0,2
2,2',5,5' – tetrahlorobifenil	0,2
2,2',4,5,5' – pentahlorobifenil	0,2
2,2',3,4,5,5' – heksahlorobifenil	0,2
2,2',3,4,4',5,5' – heptahlorobifenil	0,2

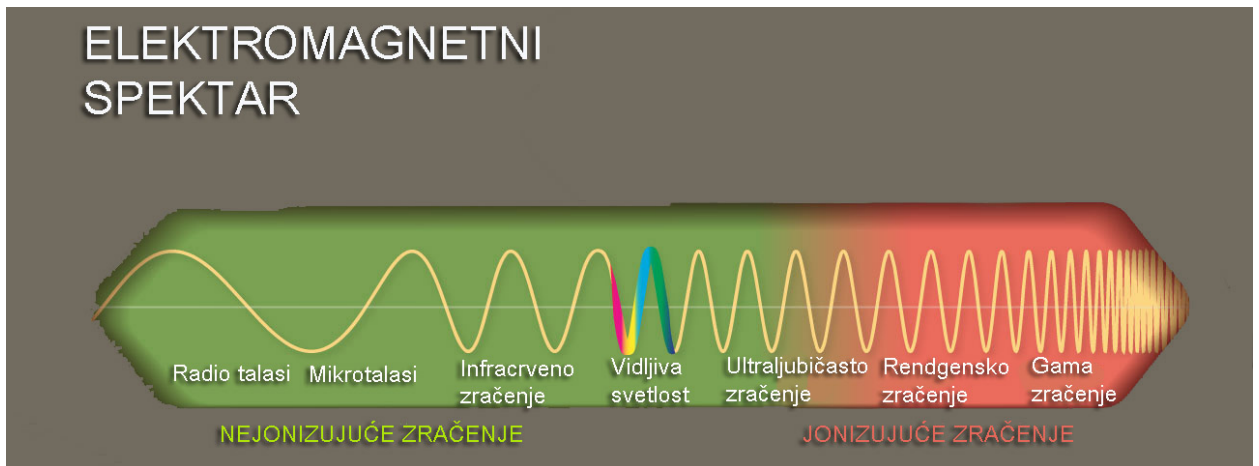
U Prilogu su izveštaji Gradskog zavoda za javno zdravlje Beograd, Centra za higijenu i humanu ekologiju, Laboratorije za humanu ekologiju i ekotoksikologiju o vrlo detaljnim analizama šest uzorka mulja iz postrojenja za pripremu vode za piće od rečne vode iz avgusta 2014.

## 2.2. Jonizujuće zračenje

Jonizacija je proces u kojem se elektron odvaja iz atomskog omotača. Na taj način atom postaje pozitivni jon, a elektron odvojen od omotača naziva se slobodni elektron. Da bi se to dogodilo potrebno je na atom delovati energijom koja je viša od privlačnih sila jezgra koje drže elektrone u omotaču. Ova energija se naziva energija jonizacije. Ukoliko atom primi energiju koja je niža od energije aktivacije može doći do

ekscitacije (pobuđivanja) atoma. Sa još većom energijom jonizacije mogu se iz atoma ukloniti protoni i neutroni, i tako razbiti jezgro atoma (Claisse, 2016).

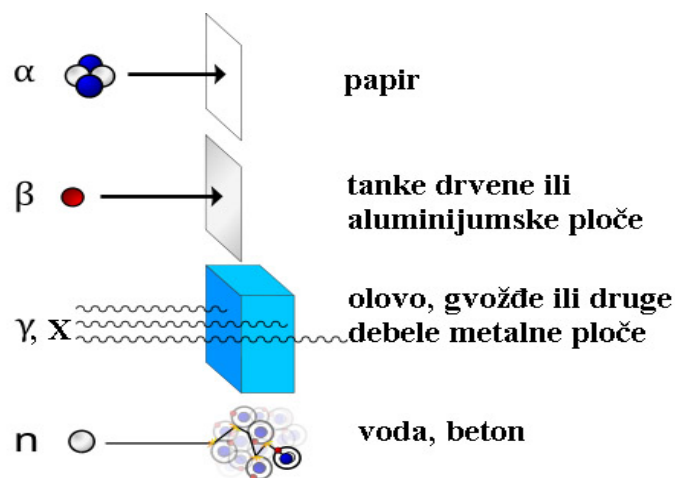
Jonizujuće zračenje je oblik energije potrebne za uklanjanje elektrona iz atoma ili molekula. Ono je nevidljivo i može putovati kroz razne materijale. Na slici 2.13 prikazan je elektromagnetni spektar gde se može videti opseg jonizujućeg zračenja.



Slika 2.13. Elektromagnetni spektar

### 2.2.1. Vrste jonizujućeg zračenja

Jonizujuće zračenje može se podeliti na alfa, beta, gama, Rendgensko (X-zračenje), neutronske i kosmičko zračenje (L'Annunziata, 2012). Na slici 2.14. prikazane su vrste jonizujućih zračenja i njihova prodornost kroz različite materijale.

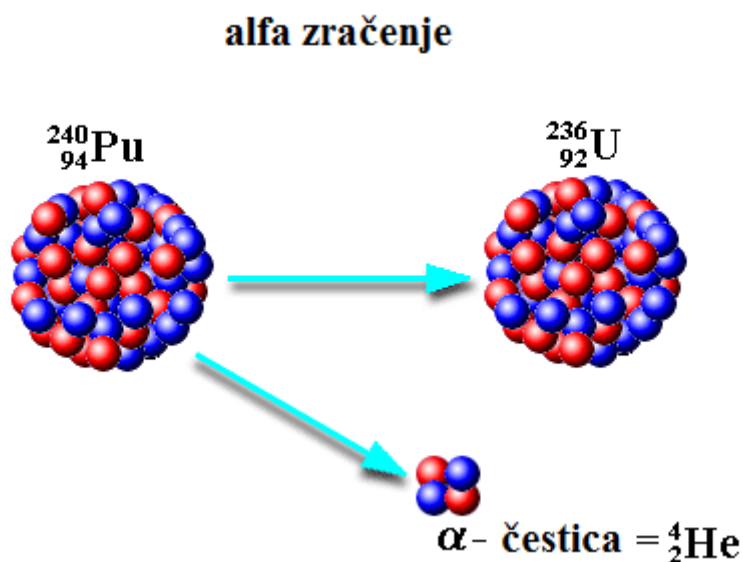


Slika 2.14. Vrste jonizujućih zračenja i njihova prodornost

## Alfa zračenje

Alfa ( $\alpha$ ) zračenje je vrsta radioaktivnog zračenja prilikom kojeg jezgro atoma emituje alfa česticu. Alfa čestice su pozitivno naelektrisani joni helijuma ( $\text{He}^{2+}$ ) koji se sastoje od dva neutrona i dva protona. Alfa zračenje se javlja kada jezgro atoma postane nestabilno. Tada se emituju alfa čestice da bi se uspostavila ravnoteža između odnosa neutrona i protona u jezgru. Alfa zračenje se javlja kod elemenata sa visokim atomskim brojem, kao što su uranijum, radijum i torijum. Jezgra ovih elemenata bogata su neutronima, što omogućava emisiju alfa čestica. Alfa čestice su relativno teške i spore, pa imaju malu prodornu snagu. Mogu se zaustaviti listom papira (L'Annunziata, 2007). Eksterno ozračivanje alfa česticama ne predstavlja direktnu opasnost po zdravlje čoveka, jer ih epidermalni sloj kože zaustavlja. Opasnost po zdravlje nastaje kada se materijal kontaminiran radionukleidima koji emituju alfa zračenje pojede ili udahne ili na neki drugi način apsorbuje u telu, jer su organi i tkiva znatno osetljiviji na dejstvo alfa čestica od kože (Pierce et al., 1988).

Alfa zračenje je otkriveno 1899. godine. Prvi ga je opisao Ernest Rutherford koji se smatra utemeljivačem nuklearne fizike. Osam godina kasnije, zajedno sa Tomasom Rojdsom, dokazao je da su alfa čestice joni helijuma  $\text{He}^{2+}$  (Rutherford i Rojds, 1908). Na slici 2.15. dat je šematski prikaz alfa zračenja.



Slika 2.15. Šematski prikaz alfa zračenja

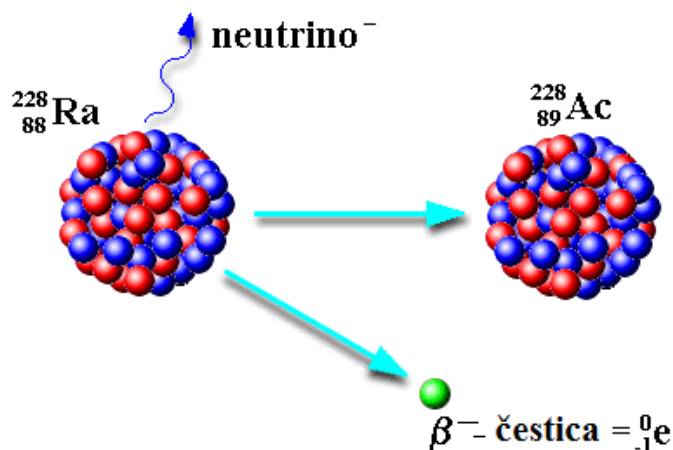


Alfa zračenje se primenjuje kod izrade detektora dima (americijum-241), kao izvor energije za radioizotopske termoelektrične generatore koje se koriste za svemirske sonde i pejsmejkere za srce (plutonijum-238). Može se koristiti i za jonizaciju vazduha (polonijum-210), a u novije vreme se ispituje mogućnost primene alfa zraka u radioterapiji, za zaustavljanje rasta tumora, pošto njihova mala prodorna moć sprečava ozračivanje okolnog zdravog tkiva (Qaim et al., 2016).

## Beta zračenje

Beta ( $\beta$ ) zračenje se sastoji od visokoenergetskih elektrona ili pozitrona. Beta čestice se emituju iz prirodnih materijala, kao što je stroncijum-90, njihovim radioaktivnim raspadom. Lakše su od alfa čestica i njihova prodornost je veća, a mogu biti zaustavljeni tankom pregradom od čelika ili betona. Što se tiče rizika po ljudsko zdravlje, beta čestice mogu prodrati u tkivo i izazvati mutaciju DNK.

Beta zračenje je prvi otkrio Bekerel dok je eksperimentisao sa fluorescencijom, ali ga je prvi opisao Radeford 1899. godine. Na slici 2.16. prikazan je šematski prikaz beta zračenja.



Slika 2.16. Beta zračenje

Beta zračenje se koristi u medicinske svrhe, kao što je lečenje očnih bolesti. Beta čestice se takođe koriste za ispitivanje debljine predmeta. U zavisnosti od debljine predmeta, on će apsorbovati manju ili veću količinu beta zračenja, i na osnovu merenja apsorbovane doze zračenja može se izračunati njegova debljina.

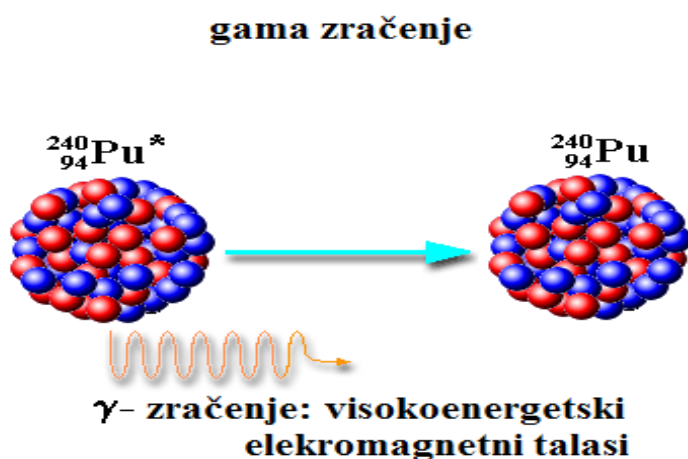
## Gama zračenje

Gama ( $\gamma$ ) zraci nastaju raspadanjem radioaktivnih atomskih jezgara i određenih subatomskih čestica. Uobičajeno prihvaćene definicije regiona gama zračenja i rendgenskog zračenja uključuju preklapanje talasnih dužina pri čemu gama zračenje obično ima talasne dužine koje su kraće od nekoliko desetina angstrema. Ne postoji teorijska gornja granica za energije fotona gama zraka i nema donje granice za talasnu dužinu gama zraka.

Termin gama zrak je prvi upotrebio britanski fizičar Ernest Rutherford 1903. godine nakon ranih studija o emisiji radioaktivnih jezgara (Shamos, 1959). Kao što atomi imaju energetske nivoe povezane sa različitim konfiguracijama elektrona koji kruže oko jezgra, tako i atomska jezgra imaju strukture energetskog nivoa određene konfiguracijama protona i neutrona. Kada jezgro napravi prelaz sa višeg energetskog nivoa na niži energetski nivo, emituje se foton koji odvodi višak energije. Razlike u nivou nuklearne energije odgovaraju talasnim dužinama fotona u gama području.

Prirodni izvori gama zračenja na zemlji uključuju gama raspad iz prirodnih radioizotopa kao što je kalijum K-40, a takođe kao sekundarno zračenje iz različitih atmosferskih interakcija sa česticama kosmičkih zraka. Zbog svoje visoke prodornosti, gama zraci zahtevaju velike količine zaštitne mase da bi se njihovo dejstvo svelo na nivo koji nije štetan za žive ćelije. Gama zraci najbolje apsorbuju materijali sa visokim atomskim brojevima i velikom gustinom. Zbog toga je olovni štit bolja zaštita od drugih zaštitnih materijala sa manjom gustinom poput aluminijuma, betona, vode ili zemlje. Glavna prednost olova nije u manjoj težini već u njegovoj kompaktnosti zbog veće gustine. Brojne su primene gama zračenja. Beskontaktni industrijski senzori obično koriste izvore gama zračenja u rudarstvu, proizvodnji hemikalija, hrane, sapuna i deterdženata, industriji celuloze i papira. Takođe se koriste za merenje nivoa tečnosti u industriji prerade vode i nafte. Gama zračenje se često koristi za uništavanje živih organizama u procesu koji se naziva ozračivanje. Ova primena gama zračenja uključuje sterilizaciju medicinske opreme i uklanjanje bakterija iz mnogih namirnica. Gama zraci se takođe koriste i za lečenje nekih vrsta karcinoma jer ubijaju njegove ćelije. U postupku koji se naziva operacija gama nožem više koncentrovanih zraka se usmerava na ćelije karcinoma. Gama zraci se takođe koriste u dijagnostičke svrhe u nuklearnoj

medicini kao na primer u PET skeniranju. Gama zraci uzrokuju oštećenja na ćelijskom nivou i prodiru u ljudski organizam izazivajući oštećenje celog tela, međutim njihova energija jonizacije je niža nego kod alfa i beta čestica koje su manje prodorne. Visoke doze gama zračenja dovode do akutnog oštećenja tkiva. Na slici 2.17. dat je šematski prikaz gama zračenja.

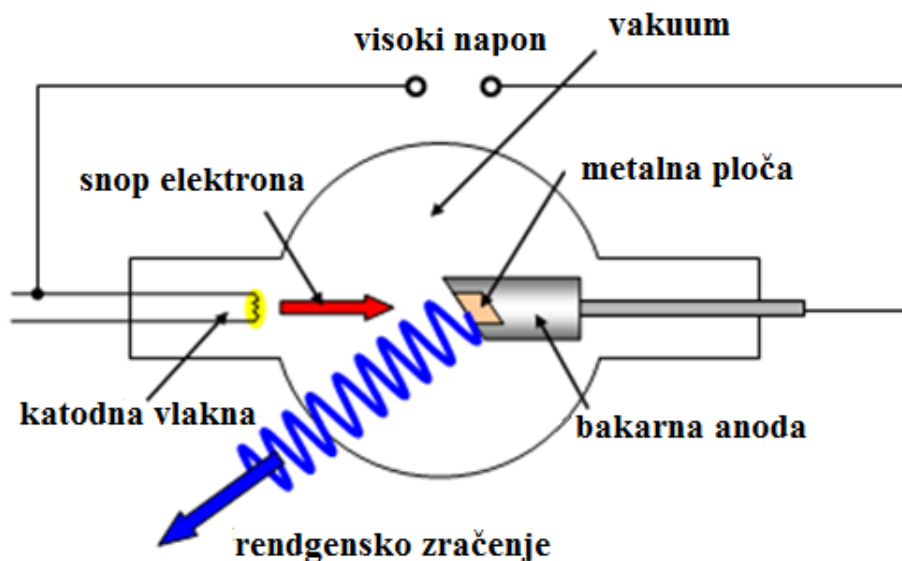


Slika 2.17. Gama zračenje

### Rendgensko (X) zračenje

Rendgensko (X) zračenje je oblik visokoenergetskog elektromagnetnog zračenja velike prodornosti. Većina rendgenskih zraka ima talasnu dužinu u rasponu od 10 pikometara do 10 nanometara. Kod rendgenskih zraka talasne dužine su kraće nego kod UV zraka i obično duže nego kod gama zraka. Rendgensko zračenje je prvi otkrio nemački naučnik Rendgen 1895. godine, Robert (1997), i nazvao ga je X zračenje što je u tom trenutku označavalo nepoznatu vrstu zračenja (Markel, 2010). Rendgenski zraci se obično proizvode ubrzavanjem naelektrisanih čestica. Primer je snop elektrona koji udara o metalnu ploču po rendgenskoj cevi ili kružni snop elektrona u akceleratoru čestica. Pored toga, aktivirani atomi mogu da emituju rendgenske zrake. Prvi put ih je primenio Rendgen kada je slikao ruku svoje supruge na fotografskoj ploči formiranoj pomoću rendgenskih zraka. Tako je započela medicinska primena rendgenskih zraka. Danas je primena rendgenskih zraka u medicini nezamenjiva. Koristi se u radiografiji, CT tomografiji, fluoroskopiji, radioterapiji (Roobottom et al., 2010). Svoju primenu rendgensko zračenje našlo i u industrijskoj radiografiji, astronomiji, mikroskopiji i kristalografiji.

Međutim, odmah nakon pronalaska rendgenskih zraka, primećeno je da izlaganje ovom zračenju dovodi do mnogih štetnih posledica po ljudski organizam. Zbog toga je Svetska Zdravstvene organizacije (WHO) rendgensko zračenje klasifikovala kao kancerogeni vid zračenja (Little, 2003), pa su detekcija i praćenje izloženosti ovom zračenju od krucijalne važnosti. Na slici 2.18. šematski je prikazan nastanak rendgenskih zraka u generatoru X zraka.

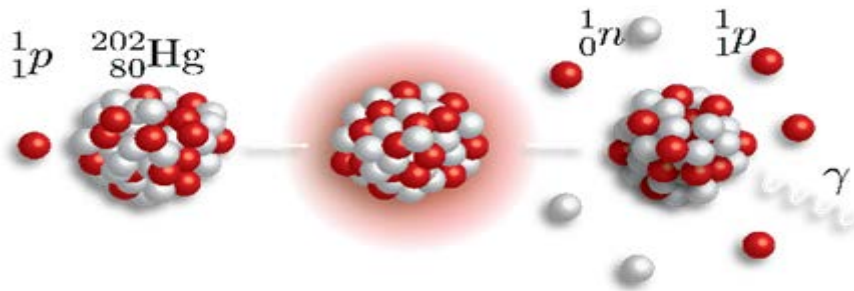


Slika 2.18. Generator rendgenskog zračenja

### Neutronska zračenje

Neutronska zračenje se sastoji od slobodnih neutrona i emituje se kao rezultat spontane ili indukovane nuklearne fisije. Slobodni neutroni mogu da pređu i nekoliko kilometara kroz vazduh, a efikasno se mogu zaustaviti materijalom bogatim vodonikom poput betona ili vode. Slobodni neutroni nemaju naelektrisanje pa nisu sposobni da jonizuju atom direktno, već to čine indirektno tako što stabilan atom čine nestabilnim. Tako aktiviran nestabilni atom ima veću verovatnoću da emituje jonizujuće zračenje druge vrste. Neutronska zračenje je jedina vrsta zračenja koja je u stanju da materijale koji nisu radioaktivni pretvori u radioaktivne. Najčešće se koristi u mineralogiji, geologiji, kristalografiji i hemiji čvrstog stanja kao i pojedinim medicinskim postrojenjima za tretiranje kancera. Značajna je primena neutronske zračenja i u nuklearnoj industriji kao i u industriji eksploziva.

Neutronska zračenje predstavlja opasnost po ljudsko zdravlje, Little (2003), jer može da indukuje radioaktivnost u ljudskom telu. Zbog velike kinetičke energije neutrona ovo zračenje se smatra najozbiljnijim i najopasnijim zračenjem po ljudski organizam. Na slici 2.19. prikazano je neutronska zračenje.



**Slika 2.19.** Neutronska zračenje

### **Kosmičko zračenje**

Kosmički zraci (Slika 2.20) su delovi atoma koji dospevaju na zemlju i potiču iz prostora izvan Sunčevog sistema, najčešće iz udaljenih galaksija (Sharma, 2008). Kreću se brzinom svetlosti i mogu prouzrokovati probleme sa elektronikom u satelitima i drugim mašinama. Otkriveni su 1912. godine i do danas njihova priroda nije detaljnije ispitana. Pretpostavlja se da je njihovo poreklo povezano sa eksplozijama supernova (Pinholster, 2013). Kosmičko zračenje može da jonizuje molekule kiseonika i azota u atmosferi, a posledica toga je smanjenje koncentracije ozona u atmosferi kao i stvaranje nestabilnih izotopa poput ugljenika C-14.



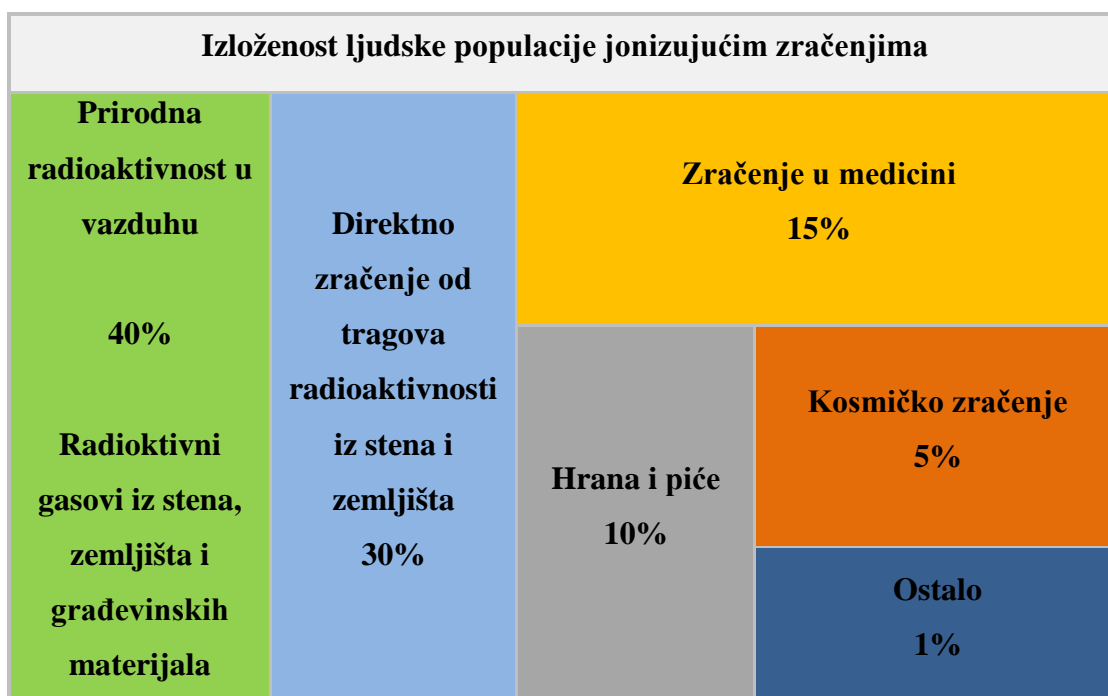
**Slika 2.20.** Kosmičko zračenje

## 2.2.2. Izvori jonizujućih zračenja

Jonizujuće zračenje se može javiti kao prirodno ili se može proizvesti veštački, kroz ljudsku aktivnost. Efekti prirodnog i veštačkog zračenja su isti (UNSCEAR, 2000).

### Prirodni izvori jonizujućeg zračenja

Jonizujuće zračenje iz prirodnih izvora je svuda oko nas i potiče od početka nastanka života na Zemlji. Često se naziva prirodnim pozadinskim zračenjem. Kosmičko zračenje na Zemlju stiže iz dubokog svemira, a prirodni radioaktivni elementi pronađeni u zemljištu nastali su u eksplozijama supernova. Prirodni radioaktivni elementi se nalaze u stenama i zemljištu i kao takvi su prisutni u hrani i građevinskim materijalima. Najveći izvor izloženosti ljudi prirodnom pozadinskom zračenju potiče od gasa radona ali se izloženost jako razlikuje u zavisnosti od lokalne geologije. Ukupno 75–80% doze zračenja ljudsko telo primi od prirodnih izvora zračenja. Na slici 2.21. je prikazan procenat izlaganja populacije različitim vrstama jonizujućeg zračenja.



Slika 2.21. Izloženost ljudske populacije jonizujućim zračenjima

Postoje mnogi izvori prirodnog radioaktivnog materijala kao što su uranijum i torijum u zemljištu i steni u ugljenik C-14 u atmosferi. Ovo zračenje može izazvati

mnogobrojne posledice po ljudsko zdravlje kao što su kanceri, mutacije gena i slično (Kamen i Martin, 1963). Naučni komitet Ujedinjenih Nacija za efekte atomskog zračenja (UNSCEAR) identifikuje četiri glavna načina izlaganja prirodnom zračenju: kosmičko zračenje, zračenje iz tla, zračenje udisanjem i zračenje gutanje (UNSCEAR Report, 2019).

### **Izloženost kosmičkom zračenju**

Spoljnu atmosferu Zemlje neprestano bombarduju čestice koje postoje u svemiru i potiču iz različitih izvora. Kosmički zraci su uglavnom protoni ali mogu biti i druge čestice ili talasna energija. Deo ovog zračenja prodire u zemljinu atmosferu i živi organizmi na Zemlji ga apsorbuju, što rezultira prirodnom izlaganju zračenja. Doze ovog zračenja variraju u zavisnosti od lokacije i načina života stanovništva (npr. učestalost korišćenja avio saobraćaja, način grejanja, građevinski materijal itd.).

### **Zračenje iz tla**

Sastav zemljine kore je glavni izvor prirodnog zračenja. Tu spadaju naslage uranijuma, kalijuma i torijuma. Tragovi ovih minerala se nalaze i u građevinskim materijalima pa se izloženost prirodnom zračenju može javiti i u zatvorenom i u otvorenom prostoru.

### **Izloženost udisanjem**

Izloženost prirodnom zračenju može nastati i udisanjem radioaktivnih gasova proizvedenih raspadom radioaktivnih minerala koji su nalaze u zemljištu. Radon je radioaktivni gas bez mirisa i boje koji nastaje raspadanjem uranijuma U-238. On ne reaguje sa okolnom materijom pa se lako može kretati kroz zemlju i atmosferu. Radon predstavlja zdravstveni rizik ne samo u rudnicima uranijuma već i u stambenim i drugim prostorijama ukoliko se akumulira duže vreme. Radon je najveći izvor prirodnog izlaganja zračenju.

## Izloženost putem gutanja

Tragovi radioaktivnih minerala se prirodno nalaze u sadržaju hrane i vode za piće. Npr. povrće se obično uzgaja u zemljištu koje može sadržati radioaktivne minerale. Jednom uneseni u biljku, ovi minerali rezultiraju unutrašnjim izlaganjem prirodnom zračenju.

U tabeli 2.12. prikazane su prosečne godišnje efektivne doze zračenja koje stanovništvo primi od prirodnih izvora jonizujućeg zračenja, kroz različite načine izloženosti (UNSCEAR Report, 2008).

**Tabela 2.12.** Prosečno godišnje izlaganje stanovništva prirodnom jonizujućem zračenju

Izvori zračenja	Godišnja efektivna doza (mSv)
Izloženost kosmičkom zračenju	0,39
Direktno jonizujuće zračenje i fotoni	0,28
Neutronska zračenje	0,10
Kosmogeni radionuklidi	0,01
Zračenje iz zemljišta	0,48
Inhalacija (udisanje)	1,26
- uranijumov i torijumov lanac raspada	0,006
- radon <sup>222</sup> Rn	1,15
- toron <sup>220</sup> Rn	0,10
Ingestija (gutanje)	0,29
- kalijum <sup>40</sup> K	0,17
- uranijumov i torijumov lanac raspada	0,12
UKUPNO (svi izvori)	2,4

## Veštački izvori jonizujućeg zračenja

### Medicinski izvori

Jonizujuće zračenje se intenzivno koristi u medicini. Najpoznatija je upotreba rendgenskih aparata koji se koriste za snimanje kostiju i dijagnozu bolesti. Takođe, primer je i nuklearna medicina koja koristi radioaktivne izotope za dijagnozu i lečenje bolesti poput raka. Pacijenti i profesionalno izložena lica koja rukuju veštačkim



izvorima zračenja imaju veliku izloženosti ovom tipu zračenja. Više od 95% ukupne doze zračenja od veštačkih izvora potiče od medicinske primene (ICRP, 2001; Baley et al., 2014).

### **Industrijski izvori**

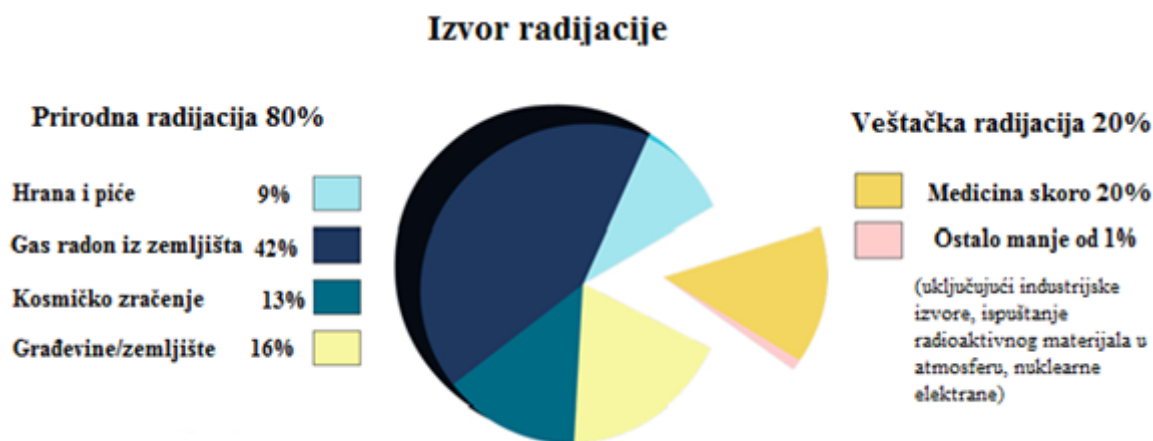
Zračenje ima razne industrijske primene kao što su nuklearni merači koji se koriste za izgradnju puteva i merači gustine koji mere protok materijala kroz cevi u fabrikama. Takođe, u nekim detektorima dima nalaze se izvori zračenja. Zračenje se koristi za sterilizaciju medicinske opreme, konzervaciju hrane, modifikaciju polimernih materijala itd.

### **Ispuštanje radioaktivnog materijala u atmosferu**

Od kraja drugog svetskog rata do 1980. godine u atmosferu je puštena velika količina radioaktivnog materijala. Većina ovih materijala ima kratko poluvreme raspada ali neki postoje i do danas (Hvistendahl, 2017).

### **Nuklearne elektrane**

Nuklearne elektrane koriste uranijum za otpočinjanje lančane nuklearne reakcije koja proizvodi paru, a ona pokreće turbine za proizvodnju električne energije. Kao deo svojih uobičajenih aktivnosti, nuklearne elektrane ispuštaju regulisani nivo radioaktivnog materijala koje ljude može izložiti manjim dozama zračenja. Slično tome, rudnici uranijuma, postrojenja za proizvodnju goriva i postrojenja za preradu radioaktivnog otpada oslobađaju određenu radioaktivnost. Na slici 2.22. prikazano je izlaganje stanovništva prirodnim i veštačkim izvorima jonizujućeg zračenja.



**Slika 2.22.** Izlaganje stanovništva prirodnim i veštačkim izvorima jonizujućeg zračenja

### 2.2.3. Primena jonizujućih zračenja

Jonizujuće zračenje se koristi u različitim oblastima medicine, privrede, industrije i nauke. U zavisnosti od primene, koriste se različiti tipovi jonizujućih zračenja.

#### Primena u medicini

Bolnice, lekari i stomatolozi koriste različite nuklearne materijale i postupke za dijagnozu, nadgledanje i lečenje širokog spektra metaboličkih procesa i medicinskih stanja kod ljudi. Dijagnostički rendgen ili terapija zračenjem primenjeni su na oko 7 od 10 stanovnika u SAD i zemljama zapadne Evrope. Kao rezultat, medicinski postupci koji koriste zračenje spasili su hiljade života otkrivanjem i lečenjem stanja od hipertireoze do raka kostiju.

Najčešći od ovih medicinskih postupaka je korišćenje rendgenskog zračenja - vrste zračenja koja može proći kroz kožu. Kada se izlože rendgenskom zračenju, kosti i druge čvrste strukture bacaju senke jer su gušće od kože, pa se te senke mogu detektovati na fotografskom filmu. Efekat je sličan postavljanju olovke iza papira i držanju olovke i papira ispred svetla. Otkriva se senka olovke jer većina svetlosti ima dovoljno energije da prođe kroz papir, ali gušća olovka zaustavlja svu svetlost. Razlika je u tome što su rendgenski zraci nevidljivi, pa nam je potreban fotografski film da

bismo ih detektovali. Ovo omogućava lekarima i zubarima da uoče slomljene kosti i zubne probleme. Rendgensko zračenje i drugi oblici zračenja takođe imaju razne terapijske primene. Najčešće se koriste za uništavanje kancerogenog tkiva, smanjenje veličine tumora ili redukciju bolova. Na primer, radioaktivni jod (konkretno jod-131) često se koristi za lečenje karcinoma štitne žlezde.

Rendgenski aparati su takođe povezani sa računarima u mašinama koje se nazivaju skeneri kompjuterizovane aksijalne tomografije (CAT) ili kompjuterizovane tomografije (CT) (ICRP, 2001). Ovi instrumenti pružaju lekarima slike u boji koje prikazuju oblike i detalje unutrašnjih organa. To pomaže lekarima da lociraju i identifikuju tumore, anomalije u veličini ili druge fiziološke ili funkcionalne probleme organa. Pored toga, bolnice i radiološki centri godišnje izvrše veliki broj postupaka povezanih sa nuklearnom medicinom. U takvim postupcima lekari primenjuju blago radioaktivne supstance na pacijentima koje privlače određeni unutrašnji organi poput pankreasa, bubrega, štitne žlezde, jetre ili mozga radi dijagnoze kliničkih stanja (Baley, 2014).

### **Nuklearne elektrane**

Električna energija proizvedena nuklearnom fisijom jedna je od najprepoznatljivijih upotreba jonizujućeg zračenja. Kako na planeti raste populacija korisnika električne energije, potreban je pouzdan, bogat, čist i pristupačan izvor električne energije. Električna energija se može proizvoditi na mnogo načina - koristeći generatore koje napajaju sunce, vetar, voda, uglj, nafta, gas ili nuklearna fisija.

Svrha nuklearne fisije koja se koristi u nuklearnim elektranama je da zagreje vodu do ključanja, da bi se proizvela para za pogon generatora za proizvodnju električne energije. Iako nuklearne elektrane imaju mnogo sličnosti sa drugim vrstama elektrana koje proizvode električnu energiju, postoje neke značajne razlike. Izuzev solarnih, vetroelektrana i hidroelektrana, sve ostale elektrane (uključujući one koje koriste nuklearnu fisiju) koriste ključaju vodu da bi proizvele paru koja okreće lopatice turbine nalik na propelere, koji zatim okreću osovinu generatora. Unutar generatora, kalemi žice i magnetna polja međusobno deluju da bi stvorili električnu energiju. U tim postrojenjima se energija potrebna za ključanje vode u paru proizvodi ili sagorevanjem

uglja, nafte ili gasa (fosilna goriva) u peći ili cepanjem atoma uranijuma u nuklearnoj elektrani. U nuklearnoj elektrani uranijumsko gorivo stvara toplotu kroz proces koji se naziva fisija (IAEA, 2017).

Nuklearne elektrane se napajaju uranijumom koji emituje radioaktivne supstance. Većina ovih supstanci je zarobljena u peletu sa uranijumskim gorivom ili u zapečaćenim metalnim šipkama za gorivo. Međutim, male količine ovih radioaktivnih supstanci (uglavnom gasovi) pomešaju se sa vodom koja se koristi za hlađenje reaktora. i druge nečistoće u vodi postaju radioaktivne dok prolaze kroz reaktor. Voda koja prolazi kroz reaktor se obrađuje i filtrira kako bi se uklonile ove radioaktivne nečistoće pre nego što se vrati u životnu sredinu. Ipak, male količine radioaktivnih gasova i tečnosti na kraju se ispuštaju u životnu sredinu pod kontrolisanim i nadgledanim uslovima.

Zbog ovih navedenih opasnosti postoje pokreti ljudi koji su usmereni protiv rada nuklearnih elektrana u svetu, i mnoge zemlje su zabranile njihovu izgradnju na svojim teritorijama. Među njima je i Republika Srbija, koja je tu zabranu donela 1995. godine (Zakon o zabrani izgradnje nuklearnih elektrana u SR Jugoslaviji, 1995).

### **Primena u nauci**

Univerziteti, fakulteti, srednje škole i druge akademske i naučne institucije u svetu koriste nuklearne materijale u laboratorijskim demonstracijama i eksperimentalnim istraživanjima. Na primer, kao što lekari mogu da obeležavaju supstance u telima ljudi, tako i naučnici mogu da označavaju supstance koje prolaze kroz biljke, životinje ili zemljište. Ovo omogućava istraživačima da proučavaju stvari poput puteva kojima prolaze različite vrste zagađenja vazduha i vode kroz životnu sredinu. Slično tome, zračenje je pomoglo da se sazna više o vrstama tla koje su potrebne različitim biljkama, veličinama novootkrivenih naftnih polja i tragovima okeanskih struja. Pored toga, istraživači koriste niskoenergetske radioaktivne izvore u gasnoj hromatografiji da bi identifikovali komponente naftnih derivata, smoga i dima, pa čak i složene proteine i enzime koji se koriste u medicinskim istraživanjima.

Arheolozi takođe koriste radioaktivne supstance da bi utvrdili starost fosila i drugih predmeta kroz proces nazvan datiranje ugljenikom. Na primer, u gornjim

nivoima naše atmosfere kosmički zraci udaraju u atome azota i formiraju prirodno radioaktivni izotop ugljenik C-14. Ugljenik se nalazi u svim živim bićima, a njegov mali procenat je i ugljenik C-14. Kada biljka ili životinja uginu, više ne unosi novi ugljenik, a ugljenik C-14 koji se akumulirao tokom svog života započinje proces radioaktivnog raspadanja. Kao rezultat, nakon nekoliko godina, stari objekat ima niži procenat radioaktivnosti od novijeg. Mereći ovu razliku, arheolozi mogu da utvrde približnu starost.

### **Primena u industriji**

Brojne su primene jonizujućih zračenja u industriji. Na primer, zračenjem se hrana, medicinska oprema i drugi materijali izlažu određenim vrstama zračenja (poput elektrona, gama ili rendgenskih zraka) da bi uništili mikroorganizme. Pritom se ne oštećuje materijal koji se dezinfikuje i on ne postaje radioaktivnom. Kada se tretira na ovaj način, hrani se produžava rok trajanja, a medicinska oprema (poput zavoja, špriceva i hirurških instrumenata) se sterilise bez izlaganja otrovnim hemikalijama ili ekstremnoj toploti. Kao rezultat toga, tamo gde se sada koristi hlor - hemijska supstanca koja je toksična i sa kojom je teško rukovati, moguće je koristiti jonizujuće zračenje za dezinfekciju pijaće vode i uništavanje patogenih mikroorganizama u kanalizaciji.

Slično tome, jonizujuće zračenje se koristi za uklanjanje toksičnih zagađivača, kao što su izduvni gasovi iz elektrana i industrijskih postrojenja. Na primer, zračenje elektronskim snopom može ukloniti opasan sumpor dioksid i azotne okside iz naše okoline. Takođe, mnoge tkanine od kojih se izrađuje odeća bile su ozračene pre nego što su izložene raznim hemikalijama. Ovaj tretman čini da se hemikalije vežu za tkaninu, kako bi odeća bila sveža i bez nabora. Slično tome, posuđe za kuvanje koje se ne lepi tretira se gama zracima kako bi se sprečilo da čvršće hrana prijanja za metalnu površinu.

Poljoprivredna industrija koristi zračenje za poboljšanje proizvodnje i pakovanja hrane. Na primer, seme biljaka se izlaže jonizujućem zračenju da bi se stvorile nove i bolje vrste biljaka. Pored jačanja biljaka, zračenje se može koristiti za suzbijanje populacija insekata, smanjujući na taj način upotrebu opasnih pesticida. Radioaktivni materijal se takođe koristi u meračima koji mere debljinu ljuske jaja kako bi se odstranila tanka, lomljiva jaja pre nego što se upakuju u kartonske kutije. Pored toga,

mnoga hrana je upakovana u polietilenski skupljajući omotač koji je ozračen tako da se može zagrejati iznad uobičajene tačke topljenja i omotati oko hrane kako bi obezbedio hermetički zaštitni pokrivač.

Reflektujući saobraćajni znakovi su tretirani radioaktivnim tricijumom i fosforescentnom bojom. Jonizujućim detektorima dima, koriste americium-241 za detekciju. Inženjeri takođe koriste merila koja sadrže radioaktivne supstance za merenje debljine proizvoda od papira, nivoa tečnosti u rezervoarima za ulje i hemikalije, kao i vlage i gustine zemljišta i materijala na gradilištima. Takođe koriste rendgenski postupak, koji se naziva radiografija, kako bi pronašli inače neprimetne nedostatke u metalnim odlivcima i zavarenim spojevima. Radiografija se koristi i za proveru protoka ulja u zaptivenim motorima i brzine i načina trošenja različitih materijala. Uređaji za evidentiranje bunara koriste radioaktivni izvor i opremu za detekciju kako bi identifikovali i zabeležili formacije duboko unutar bušotine (ili bunara) za naftu, gas, mineralne, podzemne vode ili geološka istraživanja. Radioaktivni materijali napajaju svemirske letelice i snabdevaju električnom energijom satelite koji se šalju u misije u najudaljenije regije Sunčevog sistema.

#### **2.2.4. Primena jonizujućih zračenja u tretmanu otpadnih voda i muljeva**

Primene izvora jonizujućih zračenja u očuvanju životne sredine susreću se u mnogim oblastima, uključujući otkrivanje i analizu transporta zagađivača, vodenih resursa, upravljanje i tretman komunalnim i industrijskim otpadnim vodama. Obezbeđivanje čiste vode i sanitarnih uslova jedan je od glavnih ciljeva održivog razvoja. Jedan od problema koji utiču na ovaj cilj je smanjenje kvaliteta prirodne pijaće vode. Ovo smanjenje se pripisuje kontinuiranom porastu neprečišćenih otpadnih voda, što je dovelo do unosa opasnih materijala u izvore pijaće vode (Allaoui et al., 2015). Otpadne vode su definisane kao jedan tip ili kombinacija više tipova sledećih otpadnih voda: domaća, komercijalna, industrijska, hortikulturna i akvakulturna (UNESCAP, 2015). Napredak u tretmanu otpadnih voda pomogao je u rešavanju nekih problema u snabdevanju vodom, kontroli zagađenja, reciklaži vode i zaštiti životne sredine. Sada se otpadne vode tretiraju kao resurs, gde se u pogonima za prečišćavanje otpadnih voda koristi biogas nastao anaerobnom digestijom mulja, a efluenti iz ovih postrojenja se

mogu koristiti nakon odgovarajućeg tretmana. Trenutno upravljanje otpadnim vodama u zemljama u razvoju karakteriše ispuštanje velikih količina otpadnih voda u tokove površinskih voda bez odgovarajućeg tretmana. To takođe dovodi do poteškoća u finansiranju, radu i održavanju infrastrukture za prečišćavanje otpadnih voda.

Konvencionalna postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda imaju za cilj smanjenje nivoa kontaminacije na prihvatljiv nivokoji je propisan od strane nacionalne regulatorne agencije i u skladu je sa međunarodnim smernicama. Koriste se višestepeni procesi, gde se primenjuje faza predobrade za uklanjanje grubih i krutih čvrstih materija iz toka otpada, korišćenjem tehnologije fizičkog tretmana kao što su sita i komore za pesak (FAO, 1992). Tada se primenjuju metode primarne obrade za uklanjanje suspendovanih čvrstih materija koje bi se mogle taložiti gravitacionom sedimentacijom sa ili bez koagulacije i flokulacije (FAO, 1992; Quach-Cu et al., 2018). Efluenti iz primarnog tretmana usmeravaju se na sekundarnu fazu tretmana za uklanjanje zaostalih suspendovanih čvrstih materija i organskih materijala upotrebom procesa biološkog tretmana (FAO, 1992). Efluenti iz sekundarne faze mogu sadržati neke teške metale, sintetičke organske zagađivače i rastvorljivi mikrobnostatak (Deng i Zhao, 2015; Shon et al., 2006). U tercijarnoj fazi prečišćavanja, otpadnim vodama iz sekundarne faze se uklanjaju organski sastojci i teški metali pomoću naprednih tehnologije prečišćavanja otpadnih voda (FAO, 1992; Quach-Cu et al., 2018; Tchobanoglous et al., 2003). Ove tehnologije uključuju filtraciju, sorpciju, uklanjanje gasa, razmenu jona, napredne procese oksidacije i destilaciju (Tchobanoglous et al., 2003). Konačno, vrši se i dezinfekcija, u zavisnosti od potencijalne upotrebe tretiranih otpadnih voda i njihovih karakteristika.

Sprovedeno je više studija za procenu opravdanosti upotrebe jonizujućeg zračenja u obliku gama ( $\gamma$ ) zraka ili elektronskog snopa za uklanjanje zagađivača i dezinfekciju otpadne vode i mulja (Mussad, 2004). Rezultati ovih studija ukazali su da je tretman jonizujućim zračenjem tehnički i ekonomski isplativ. Postrojenja za tretman otpadnih voda i muljeva postoje u više sveskih zemalja (Tabela 2.13). Prvo takvo postrojenje je izgrađeno 1973. godine u Nemačkoj (Swinwood et al., 1992).

**Tabela 2.13.** Lista postrojenja za tretman otpadnih voda i muljeva

	Tip zračenja	Tip otpada	Razlog za tretman
Austrija	Elektronski zraci Cobalt-60	Pijaća voda Otpadna voda	Smanjivanje hemijskih kontaminacija Smanjenje fenola
Kanada	Cobalt-60	Mulj	Dezinfekcije đubriva pre upotrebe
Češka Republika	Cobalt-60	Pijaća voda	Dezinfekcija
Nemačka	Cobalt-60 Cobalt-60	Mulj Dobra voda	Dezinfekcija zemljišta pre upotrebe Prevenција biološkog zagađenja
Indija	Cobalt-60	Mulj	Dezinfekcija
Japan	Cobalt-60 Cobalt-60	Mulj Procedna voda sa deponije	Dezinfekcija pre kompostiranja Uništavanje toksina
Norveška	Cobalt-60 Elektronski zraci	Mulj Otpadna voda	Dezinfekcija Dezinfekcija
Južna Afrika	Elektronski zraci	Mulj	Dezinfekcija
Sjedinjene Američke Države	Elektronski zraci	Otpadna voda, Mulj	Dezinfekcija

Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) zastupa stanovište da postoji potreba za nastavkom istraživanja u oblasti primene radijacionih tehnologija za tretman otpadnih voda i muljeva kako bi se povećala opšta svest o ovim procesima u životnoj sredini (IAEA, 2008). Objavljene su publikacije o ulozi jonizujućeg zračenja u razgradnji azo-boja, Wojnarovits i Takacs (2008), o optimizovanim dozama i postupcima, Jan et al. (2015), kao i patenti o sistemima i postrojenjima za tretman



otpadnih voda i muljeva upotrebom jonizujućeg zračenja (Patent US3854875A, 1970; Patent US3846296A, 1971).

Generalno se svako jonizujuće zračenje odlikuje sposobnošću da predaje deo svoje energije u okolni medij. Ova energija pobuđuje atome medija uklanjajući njihove elektrone i prekidajući hemijske veze između njegovih molekula (Rahman et al., 2014). Ova karakteristika omogućava primenu jonizujućeg zračenja u prečišćavanju otpadnih voda. Efikasnost procesa zračenja procenjuje se izračunavanjem hemijskog prinosa zračenja (G-vrednost,  $\mu\text{mol} \cdot \text{J}^{-1}$ ) koja kvantifikuje broj formiranih vrsta pri apsorpciji od 100 eV i predstavljen je formulom:

$$G = \frac{6,023 \times 10^{23} C}{D \times 6,24 \times 10^{16}}$$

gde je C koncentracija formirane vrste (mol / L), a D apsorbovana doza zračenja (Gy).

Za poboljšanje efikasnosti poljoprivredne proizvodnje koriste se pesticidi, herbicidi i fungicidi. Ostaci ovih zagađivača i njihovi toksični nusproizvodi postoje u poljoprivrednim otpadnim vodama i mogu migrirati na površinu kao i u podzemne vode. Tehnologija tretmana jonizujućim zračenjem dokazala je svoju efikasnost u degradaciji ovih zagađivača primenom metode tercijarnog tretmana. Većina sprovedenih istraživanja u ovom području usredsređena su na optimizaciju uslova zračenja, istražujući efekat drugih komponenata otpada u procesu razgradnje i mogućnost upotrebe tehnologija kombinovanog tretmana kako bi se poboljšala ukupna efikasnost procesa. Tabela 2.14 prikazuje performanse jonizujućeg zračenja u uklanjanju nekih zagađivača u poljoprivrednim otpadnim vodama.

**Tabela 2.14.** Performanse degradacije zagađujućih supstanci otpadnih voda iz poljoprivrede korišćenjem jonizujućeg zračenja

Zagađujuće supstance	Poreklo	Performanse degradacije	Inicijalna koncentracija kontaminanta, mg/l	Doza, kGy
Polihlorovani bifenili	Pesticid	96%	/	<0,1
Alkil halogenidi	Herbucid, fungicid, insekticid	98%	100	1

Trihalometani	Dezinfekcija proizvoda	87,4%	/	2
		95%	145-780	6
		87,8%	264	8
Nitrofenoli	Produkti degradacije		0,139	5
Karbofuran, Dimetoat, Imidaklopid, Prohloraz	Pesticid	99%	50 (pH 5,5)	5
Metiokarb	Pesticid	67%		
2,4,-dihlorfenol	Pesticid	Potpuna degradacija	50	10

U literaturi je opisano da se dezinfekcija mulja i otpadne vode može postići upotrebom doze zračenja od 7 i 4 KGy, respektivno. Sprovedena je uporedna studija za procenu mogućnosti upotrebe različitih naprednih metoda oksidacije pri dezinfekciji komunalnih otpadnih voda, kontrola ponovnog rasta mikroorganizama i s tim povezani operativni troškovi (Lee et al., 2015). Rezultati su pokazali da su na efikasnost UV zračenja uticale sezonske promene u sastavu otpadne vode, dok na efikasnost jonizujućeg zračenja ovo nije bilo uticajuć faktor. Jonizujuće zračenje je obezbedilo visoku stabilnu efikasnost dezinfekcije (95%) za ukupan broj kolonija pri dozama zračenja većim od 0,25 kGy i inhibirao njihov ponovni rast. Sa ekonomske tačke, potrošnja električne energije za proizvodnju UV zračenja i ozona je tri reda veličine viša nego pri upotrebi jonizujućeg zračenja. Generalno, održivošću radijacionih tehnologija upravlja njihova tehnička konkurentnost, dobre performanse, ekonomska izvodljivost i bezbedna operativna praksa. Primena jonizujućeg zračenja za tretman otpadnih voda i muljeva je efikasan postupak za dezinfekciju i smanjenje koncentracije organskih zagađivača. Nekoliko studija je dokazalo ekonomsku izvodljivost tehnologije zračenja elektronskim snopom i  $\gamma$  zračenjem (Lee et al, 2015; Meng et al., 2014; Chmielewski, 2005; Lim et al., 2015; Meibodi et al., 2016).

Sa sigurnosne tačke gledišta, radiološke nezgode povezane sa različitom primenom industrijskih postrojenja za ozračivanje, bilo da je u pitanju  $\gamma$  zračenje ili akceleratori, su ograničene i mogu se klasifikovati kao nivo 4 na međunarodnoj skali nuklearnih i radioloških događaja (INES). Ovaj nivo se koristi za opis incidenta sa lokalnim posledicama (Ortiz et al., 2000). Trenutno se strategija upravljanja u objektima za industrijsko ozračivanje upotrebom jonizujućeg zračenja zasniva na kombinaciji fizičke zaštite (štitovi, barijere i blokade) i operativnih postupaka (Ortiz et al., 2000; Janžekovic, 2017). Ova strategija je osigurala da verovatnoća nezgode za ova postrojenja bude reda  $2 \times 10^{-4}$ .

### **2.2.5. Merenje doze jonizujućeg zračenja u industrijskim postrojenjima**

Utvrđivanje tačnosti isporučene doze zračenja u procesima ozračivanja zavisi od merenja apsorbovane doze zračenja (dozimetrije). Merenje apsorbovane doze zračenja mora se izvršiti korišćenjem dozimetrijskog sistema koji ima poznat nivo tačnosti i preciznosti (evropski standard EN552: 1994).

Svaki dozimetrijski sistem sastoji se od tri komponente:

- dozimetar (materijal kome se pod uticajem zračenja menja neko svojstvo pri čemu ta promena može biti identifikovana),
- instrument kojim se ta promena meri,
- procedure i radna uputstva za merenje.

Da bi neki materijal mogao da se koristi kao dozimetar, mora da poseduje sledeće karakteristike:

- svojstvo koje se menja pod uticajem zračenja se može izmeriti,
- promena se treba što manje menjati nakon izvesnog vremena,
- promena mora biti ponovljiva.

Kalibracija svakog dozimetrijskog sistema mora biti slediva do odgovarajućeg nacionalnog standarda. Dozimetrija kao deo sistema upravljanja kvalitetom pruža potvrdu kvaliteta i dokumentovanost da je postupak ozračivanja izveden prema specifikacijama. Dozimetrijski sistemi za merenje apsorbovane doze zračenja u postupcima radijacione tehnologije dele se na sisteme primarnog standarda, referentnog standarda, transfer i rutinske dozimetrijske sisteme.

Dozimetrijski sistemi primarnog standarda su sistemi najvišeg metrološkog kvaliteta, uspostavljeni i održavani od strane nacionalnih ili međunarodnih institucija akreditovanih za kalibraciju dozimetrijskih sistema. Zasniva se na direktnom merenju osnovnih fizičkih veličina (apsorbovana energija zračenja po jedinici površine). Najčešći primarni dozimetrijski sistemi su jonizacione komore i kalorimetri.

Dozimetrijski sistemi referentnog standarda odlikuje visok metrološki kvalitet i ovi sistemi se koriste kao standard koji obezbeđuje sledljivost merenja putem drugih dozimetrijskih sistema do sistema primarnog standarda. Dozimetrijski sistemi referentnog standarda zahtevaju kalibraciju uz pomoć primarnog standarda. Dele se na dozimetrijske sisteme u čvrstoj fazi (alanin) i sisteme u tečnoj fazi (*Fricke* rastvor, rastvor kalijum dihidromata, rastvor cerijum sulfata, rastvor etilen hlorbenzena. Transfer dozimetrijski sistemi koriste se za prenos podataka o apsorbovanoj dozi zračenja iz akreditovane ili standardne laboratorije u radijaciono postrojenje, radi uspostavljanja sledljivosti sa primarnim standardom. Ovi sistemi zahtevaju kalibraciju, i moraju posedovati veliku stabilnost svojih karakteristika nakon ozračivanja. Najčešće korišćeni dozimetrijski sistemi kao transfer sistemi su alanin, etilen hlorbenzen i kalijum dihidromat. Rutinski dozimetrijski sistemi se koriste u radijacionim postrojenjima za mapiranje apsorbovane doze zračenja i praćenje procesa ozračivanja. Ovi sistemi moraju posedovati sposobnost da daju ponovljive signale merenja, kako bi se apsorbovana doza zračenja mogla proveriti i nakon određenog vremenskog perioda. Obavezna je kalibracija rutinskih dozimetrijskih sistema. Najčešći su Perspex (red-, amber-, Gammachrome), radiohromatski filmovi (FWT-60, B3, Gafchromic), ECB, procesni kalorimetri (voda, grafit, polistiren). U tabeli 2.15. prikazani su najčešće korišćeni dozimetrijski sistemi u postrojenjima za ozračivanje jonizujućim zračenjem, metode analize kojima se utvrđuje apsorbovana doza zračenja, opseg doze zračenja koja se pomoću navedenih sistema može odrediti, preciznost merenja i pripadajući međunarodni standard.

**Tabela 2.15.** Dozimetrijski sistemi koji se koriste u postrojenjima za ozračivanje jonizujućim zračenjem

Dozimetrijski sistem	Analitička metoda	Korisna doza, Gy	Nominalni limit preciznosti	Referenca
Frikov rastvor	UV spektrofotometrija	$2 \times 10^{-4} - 4 \times 10^2$	1%	ASTM E 1026-04
Cerijum-sulfat	UV spektrofotometrija/ potencimetrija	$10^3 - 10^6$	3%	ISO/AST M 51205
Kalijum-dihromat	UV-VIS spektrofotometrija	$5 \times 10^3 - 4 \times 10^4$	1%	ISO/AST M 51401
Etanol-monohlorbenzen	Titracija ili HF oscilometrija	$4 \times 10^2 - 3 \times 10^5$	3%	ISO/AST M 51538
L-alanin	ERP	$1 - 10^5$	0,5%	ISO/AST M 51607
Perspex sistemi	VIS spektrofotometrija	$10^3 - 5 \times 10^4$	4%	ISO/AST M 51276
FWT-60 film	VIS spektrofotometrija	$10^3 - 10^5$	3%	ISO/AST M 51275
B3 film	VIS spektrofotometrija	$10^3 - 10^5$	3%	ISO/AST M 51275
Celuloza triacetat	UV spektrofotometrija	$10^4 - 10^6$	3%	ISO/AST M 51650
Kalorimetrija	Otpor/temperature	$1,5 \times 10^3 - 5 \times 10^4$	2%	ISO/AST M 51631

U okviru ove doktorske disertacije, za merenje apsorbirane doze zračenja korišćen je ECB dozimetrijski sistem. Ovaj dozimetrijski sistem se sastoji od rastvora etanol hlorbenzena i oscilotitratora, mernog instrumenta, koji služi za merenje električne provodljivosti u rastvoru pre i nakon izlaganja rastvora gama jonizujućem zračenju. Ovaj dozimetrijski sistem daje odličnu preciznost merenja, rukovanje njim je

jednostavno, i doza zračenja pomoću njega se može očitati i nakon dosta vremena jer je izuzetno stabilan.

### 3. EKSPERIMENTALNI DEO

#### 3.1. Uzorkovanje

U cilju ispitivanja uticaja jonizujućeg zračenja na svojstva otpadnog mulja iz postrojenja za preradu pijaće vode, mulj je sakupljan sa dna taložnika nakon procesa koagulacije, flokulacije i taloženja kao suspenzija sirovog otpadnog mulja. Takođe, prikupljen je i osušen mulj nakon standardnog tretmana (obrada krečnom vodom, zgušnjavanje i odvođenje vode). Slika 3.1. prikazuje sirovi otpadni mulj neposredno nakon taloženja (slika 3.1.a) i otpadni mulj tretiran krečnom vodom i osušen (slika 3.1.b).



Slika 3.1. Izgled uzoraka otpadnog mulja

#### 3.2. Ozračivanje gama zračenjem

Gama zračenje svih uzoraka izvršeno je u Radijacionoj jedinici Instituta za nuklearne nauke Vinča. Uzorci su ozračeni različitim dozama gama zračenja: 1 kGy, 3 kGy, 5 kGy, 10 kGy, 25 kGy. Prosečna brzina doze je bila 10 kGy / h. Dozimetrijski sistem u rutinskoj upotrebi u Radijacionoj jedinici Instituta Vinča je etanol-monohlorobenzen (ECB)-oscilotitratorski sistem (ISO/ASTN 51538, 2009; Kovács et

al., 1987). Merna oprema je oscilotitracioni instrument OK-302/2 Radelkis (Budimpešta, Mađarska). Pošto je tačnost merenja na oscilotitratoru, u velikoj meri zavisna od temperature merenja, svi dozimetri su bili termostimirani na temperaturu od 20°C, a sva merenja su vršena na konstantnoj temperaturi (Kovacs et al., 1995; Vujčić et al., 2018). Izgled Radijacione jedinice prikazan je na slici 3.2.



**Slika 3.2.** Kabine za ozračivanje (a) i transportni sistem (b) na Radijacionoj jedinici INN Vinča

### 3.3. Ozračivanje snopom elektrona

Ozračivanje elektronskim snopom osušenih uzoraka obrađenih krečnom vodom izvršeno je u Univerzitetskom centru za elektronske akcelerate u Trenčinu u Slovačkoj. Na slici 3.3. prikazan je izgled ovog postrojenja.



**Slika 3.3.** Akceleratorско postrojenje u Univerzitetskom centru za elektronske akcelerate u Trenčinu, Slovačka

Uzorci su ozračeni impulsnim snopom za skeniranje (trajanje impulsa od 3,5  $\mu$ s sa brzinom ponavljanja snopa od 120 Hz) od 5 MeV elektrona vertikalno emitovanih iz linearnog akceleratora UELR 5-1S. Zrak je skeniran frekvencijom od 1 Hz u širini od 40 cm. Prosečna snopna struja elektrona bila je 57  $\mu$ A postižući prosečnu brzinu doze od 135 kGy/h tokom zračenja. Upakovani uzorci mulja stavljeni su na transporter i transportovani ispod izlaznog prozora akceleratora na rastojanju od 56 cm pri različitim brzinama, dobijajući potrebne doze sa jednostranom geometrijom zračenja (tabela 3.1). Doza je izmerena konvencionalnim dozimetrijskim sistemom na bazi B3 radiohromnih filmova procenjenih spektrofotometrom GENESIS20, kalibrisanim RISO polistirenskim kalorimetrima.

**Tabela 3.1.** Različite brzine dobijanja potrebnih doza sa jednostranom geometrijom zračenja

Brzina transportera (mm/s)	18,3	5,1	2,8	1,3	0,6
Tražena doza (kGy)	1	3	5	10	25
Doza izmerena na vrhu uzorka (kGy)	0,73	2,7	4,5	9,3	20
Doza izmerena na dnu uzorka (kGy)	0,97	3,5	5,7	13,3	28,9
Srednja doza (kGy)	0,85	3,1	5,1	11,3	24,5

Iz tabele 3.1 se može videti da doze na vrhu i na dnu uzoraka mogu varirati i do 45%. Debljina uzoraka bila je oko 7 mm. Zbog toga je prilikom razmatranja rezultata uzeta prosečna vrednost apsorbovane doze.

### 3.4. Opis procedura korišćenih za karakterizaciju materijala

#### 3.4.1. Mikrobiološke analize

U akreditovanoj mikrobiološkoj laboratoriji ispitivana je inicijalna kontaminacija i broj mikroorganizama, plesni i bakterija u mulju pre obrade krečom.



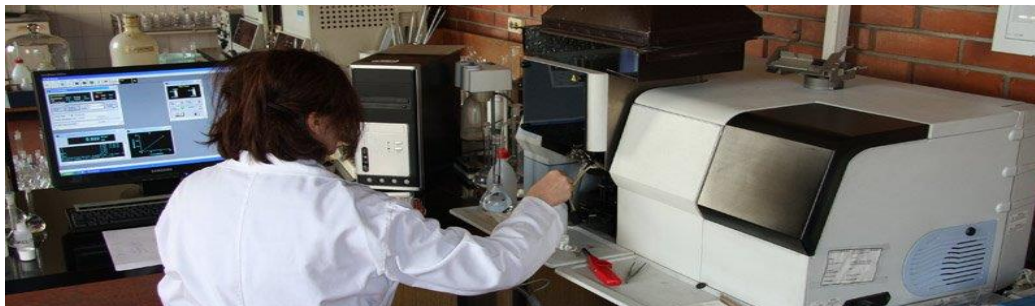
Mikrobiološke analize su izvršene pre zračenja i nakon gama zračenja različitim dozama zračenja.

Takođe je izmeren broj mikroorganizama, plesni i bakterija u osušenom mulju tretiranom krečom pre i posle zračenja gama zracima i e-snopom. Za određivanje ovih parametara korišćena je metoda *Ph. Eur. 7.0* (2.6.12. - Mikrobiološko ispitivanje nesterilnih proizvoda (ukupan održiv aerobni broj) i 2.6.13. - Mikrobiološko ispitivanje nesterilnih proizvoda (ispitivanje specifičnih mikroorganizama) (European Pharmacopoeia 7.0, 2011). Korišćeni razblaživač (puferisana peptonska voda) i hranljivi mediji za razvoj mikroorganizama (*Tryptone soy agar*, *Rose bengal agar*, *Iron sulfide agar*) u skladu su sa međunarodnim standardom ISO 11737-1:2018.

### 3.4.2. Određivanje sadržaja teških metala

Za određivanje sadržaja teških metala (Cd, Co, Pb, Ni, Cr i Cu) u mulju, prethodno pripremljeni uzorak digestiran je metodom digestije HF-HClO<sub>4</sub>-HCl kiseline. Prema navedenoj metodi, izmereno je 2 g uzorka mulja (suva masa) u teflonskim epruvetama, pomešano sa 15 ml HF i 5 ml HClO<sub>4</sub> i zagrevano na 150 °C, do suvog ostatka. Suvi ostatak je rastvoren u 10 ml HCl (1: 1), i ključao da se oslobodi isparenja. Zatim je ohlađen na sobnu temperaturu i sa destilovanom vodom prenet u mernu bocu od 100 ml. Primenjena metoda je izabrana prema ranijim saznanjima koja navode da su ukupne koncentracije metala u mulju ili sedimentu izmerene nakon njene digestije jakim kiselinama koje uključuju HF obradu ili ekstrakciju vodene regije (Tessier et al., 1979; Liu i Sun, 2013; Hu, 2014). Posle rastvaranja, sadržaj ekstrahovanog Cd, Co, Pb, Ni, Cr i Cu određen je u rastvoru koristeći AAS (Perkin Elmer PinAAcle 900T), Slika 3.5. Za određivanje As, Hg i Se, korišćen je postupak rastvaranja mulja koji je prethodno opisao Luo, Luo (2012), sa određenim modifikacijama. U ovoj metodi, 1 g suvog uzorka je odmeren u erlenmajerovu posudu od 250 ml sa refluksnom mlaznicom i rastvoren sa HNO<sub>3</sub> (5 ml) uz lagano zagrevanje. Posle toga, digestat se ohladi na sobnu temperaturu, doda se 0,5 ml HClO<sub>4</sub> i 2 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i rastvaranje se nastavi sve dok se ne pojave bele pare. Rastvor je ponovo ohlađen na sobnu temperaturu i dodato je 10 ml 6M HCl. Posle hlađenja, rastvor je destilovanom vodom kvantitativno prebačen u mernu

tikvicu od 25 ml. Nakon rastvaranja, sadržaj odabranih neorganskih materija određen je pomoću Mercuri Hidride Sistem AAS (Perkin Elmer PinAAcle 900T). Sva rastvaranja rađena su u tri primerka i prikazane su srednje vrednosti rezultata. Sve korišćene hemikalije su visoke čistoće.



**Slika 3.4.** Perkin Elmer PinAAcle 900T

### **3.4.3. Određivanje sadržaja PAM i akrilamida u uzorku**

Sadržaj akrilamid monomera pre i posle zračenja određen je tečnom hromatografijom-masenom spektrometrijom (LC-MS/MS), uz sistem LC Agilent 1100 visokih performansi sa binarnom pumpom, autosamplrom, grejačem kolone (na 25°C) i degaser (Agilent Technologies) povezan sa API 3000 trostrukim kvadrupolnim masenim spektrometrom. Za LC razdvajanje uparene su kolona C18 (150 k 3 mm) i kolona C18 (4 mm k 3 mm). Mobilna faza je bila 99,5: 0,5 H<sub>2</sub>O / CH<sub>3</sub>OH. Za postanalizno ispiranje korišćen je 0,1% formic acid u CH<sub>3</sub>CN-CH<sub>3</sub>OH (50% : 50%). Određivanje MS za eluciju akrilamida izvedeno je u pozitivnom režimu elektrosprej (ESI) uz nadgledanje najobičnije tranzicije jona MS / MS (prekursor-proizvod) (Martovska i Lahotay, 2006). Granica detekcije bila je 0,1 µg/l akrilamida.

### **3.4.4. Određivanje pH vrednosti**

Za određivanje pH vrednosti uzoraka korišćen je pH-metar pHTestr 30 (Slika 3.5) koji koristi USA (pH = 4,01, 7,00 i 10,01) ili NIST (pH = 4,01, 6,86 i 9,18) standarde za kalibraciju. Po potrebi je moguće odabrati bilo koji set kalibracije.



**Slika 3.5** pH-metar pHTestr 30

### 3.4.5. Određivanje električne provodljivosti

Za merenje električne provodljivosti korišćen je uređaj Hanna HI8733 (slika 3.6.). Ovaj parametar je opšti pokazatelj kvaliteta vode ili mulja, i uglavnom je u funkciji rastvorene soli. Merač provodljivosti kalibrisan je rastvorom kalijum hlorida na provodljivosti od 1412  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na 25°C.



**Slika 3.6.** Hanna HI8733 uređaj za merenje električne konduktivnosti

### 3.4.6. Određivanje katjonskog kapaciteta izmene

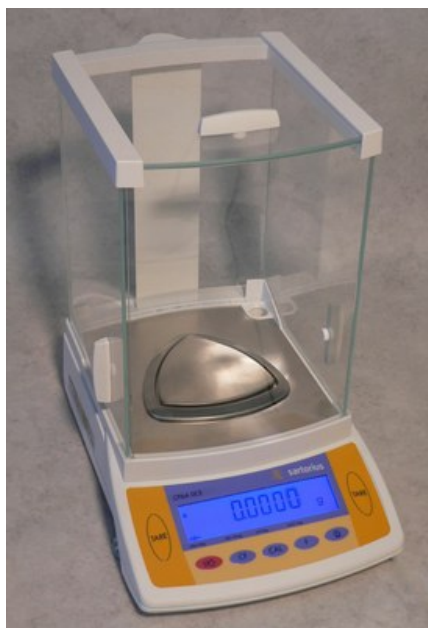
Kapacitet kationske izmene određen je pomoću ekstrakcije natrijuma i amonijum acetata (USEPA metoda 9081). Uzorak mulja je pomešan sa rastvorom natrijum acetata, što je rezultiralo izmenom dodatih natrijumovih katjona u katjonskoj matrici. Nakon toga, uzorak je ispran izopropil alkoholom. Dodati je rastvor amonijum acetata, zamenjujući adsorbovani natrijum amonijum jonom. Koncentracija natrijuma određena je emisionom spektroskopijom (slika 3.7).



Slika 3.7. Fluorolog Horiba Jobin Yvon FL3-221

### 3.4.7. Određivanje ukupnog organskog i mineralnog sadržaja mulja

Ukupan organski i mineralni (neorganski) sadržaj mulja određeni su gravimetrijskom metodom. Uzorci su osušeni na 103°C do 105°C da bi isparila voda iz uzorka. Ostatak je ohlađen, odmeren i žaren na 550°C. Organski i mineralni sadržaj dobijeni su iz odnosa mase uzorka pre i posle žarenja. U tu svrhu korišćena je elektromehanička vaga Sartorius CPA64-OCE tačnosti 0,0001g, sa mehanizmom za interno podešavanje (slika 3.8)



**Slika 3.8.** Elektromehanička vaga Sartorius CPA64-OCE

### **3.5. Sinteza etanol-monohlorobenzena**

Rastvor monohlorobenzena u etanolu, etanol-monohlorbenzen (ECB), je dozimetar koje se često koristi pri merenju i kontroli apsorbovanog gama zračenju. Ovaj rastvor sadrži 24 vol.% monohlorobenzena, 4 vol.% destilovane vode, 0,04 vol.% acetona, 0,04 vol.% benzena i 71,92 vol.% etanola, kako je opisano u literaturi (Kovács i Miller, 1986).

Za pripremu rastvora koriste se hemikalije visoke čistoće i trostruko destilovana voda. Svo posuđe koja se koriste za pripremu ECB dozimetara mora se oprati destilovanom vodom. U staklenu posudu od 2 l sipa se 480 ml hlorobenzena, 80 ml tri puta destilovane vode, 0,8 ml acetona, 0,8 ml benzena i etanola do 2000 ml (ISO/ASTM 51538:2017, 2017). Pripremljeni rastvor se sipa u ampule od 2 ml. Ampule se prethodno biraju merenjem spoljnog prečnika u opsegu od  $\pm 0,02$  mm. Punjene ampule se zatvaraju plamenom dobijenim sagorevanjem smeše butana i kiseonikom.

Dozimetrijski sistem etanol-hlorobenzen za merenje apsorbovane doze zračenja zasnovan je na radiolitičkom stvaranju hlorovodonične kiseline u vodenom etanolnom rastvoru hlorobenzena pod dejstvom jonizujućeg zračenja (Ražem i Dvornik, 1980a). Određivanje sadržaja nastale HCl može se izvršiti na tri načina: titracijom za

određivanje koncentracije hloridnih jona, spektrofotometrijskim očitavanjem na 485 nm i visokofrekventnim merenjem promene dielektrične konstante koje se može ubaviti u zatvorenoj ampuli (Ražem et al., 1981). Poslednja metoda merenja koristi oscilotritrator kao instrument za merenje promene dielektrične konstante. U tom slučaju, dozimetri se sa istom tačnošću mogu očitati i nakon 3 godine (Ražem i Dvornik, 1973b), a prema nekim iskustvima i nakon više od 20 godina. Oscilotritrator se sastoji od čitača i oscilatora, koji je izgrađen zajedno sa držačem ampule. Ampule se stavljaju u držač i vrednost se očitava na skali. Merenja su vršena pomoću oscilotritratora OK-302/1, proizvođača Radeliks Electrochemical Instruments, Budimpešta (slika 3.9.)



**Slika 3.9.** Oscilotritrator Radeliks Electrochemical Instruments

## 4. REZULTATI I DISKUSIJA

### 4.1. Mikrobiološka analiza sirovog otpadnog mulja nakon precipitacije

Mikrobiološke analize pet različitih uzoraka vodenog rastvora mulja, prikupljenih nakon precipitacije i ozračenih u gama postrojenju, različitim radiacionim dozama prikazane su u tabeli 4.1.

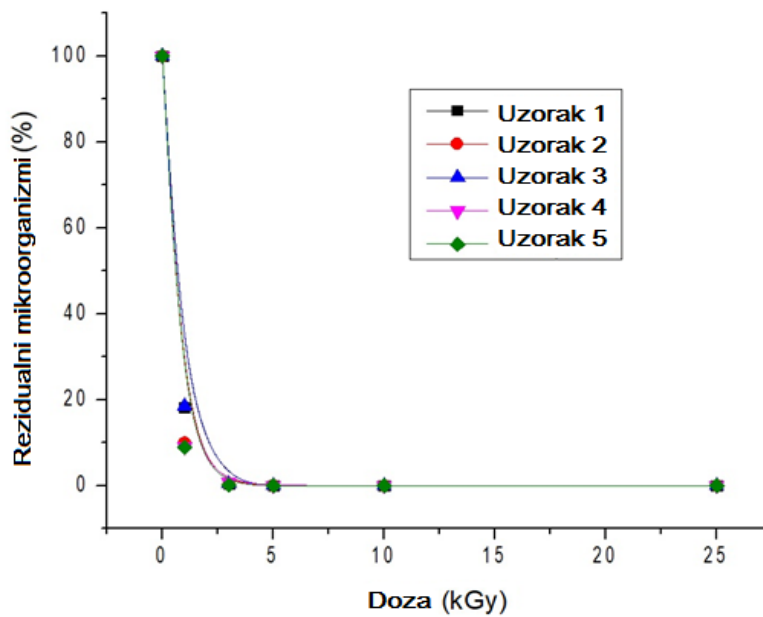
**Tabela 4.1.** Ukupan broj mikroorganizama, plesni i bakterije *Escherichia coli* nakon gama zračenja.

Doza (kGy)	0	1	3	5	10	25	Metoda
	UZORAK 1						
Ukupan broj mikroorganizama (cfu/ml)	3600000	658000	18000	212	15	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
Ukupan broj plesni (cfu/ml)	74	9	3	0	0	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
<i>Escherichia coli</i>	Prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
	UZORAK 2						
Ukupan broj mikroorganizama (cfu/ml)	1200000	120000	3900	280	78	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
Ukupan broj plesni (cfu/ml)	96	20	12	0	0	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
<i>Escherichia coli</i>	Prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
	UZORAK 3						
Ukupan broj mikroorganizama (cfu/ml)	970000	180000	4300	238	30	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)

Ukupan broj plesni (cfu/ml)	180	40	29	9	0	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
<i>Escherichia coli</i>	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
UZORAK 4							
Ukupan broj mikroorganizama (cfu/ml)	1600000	144000	12000	180	0	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
Ukupan broj plesni (cfu/ml)	160	50	20	2	0	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
<i>Escherichia coli</i>	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
UZORAK 5							
Ukupan broj mikroorganizama (cfu/ml)	3800000	340000	3500	160	30	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
Ukupan broj plesni (cfu/ml)	260	120	50	5	0	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
<i>Escherichia coli</i>	Prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)

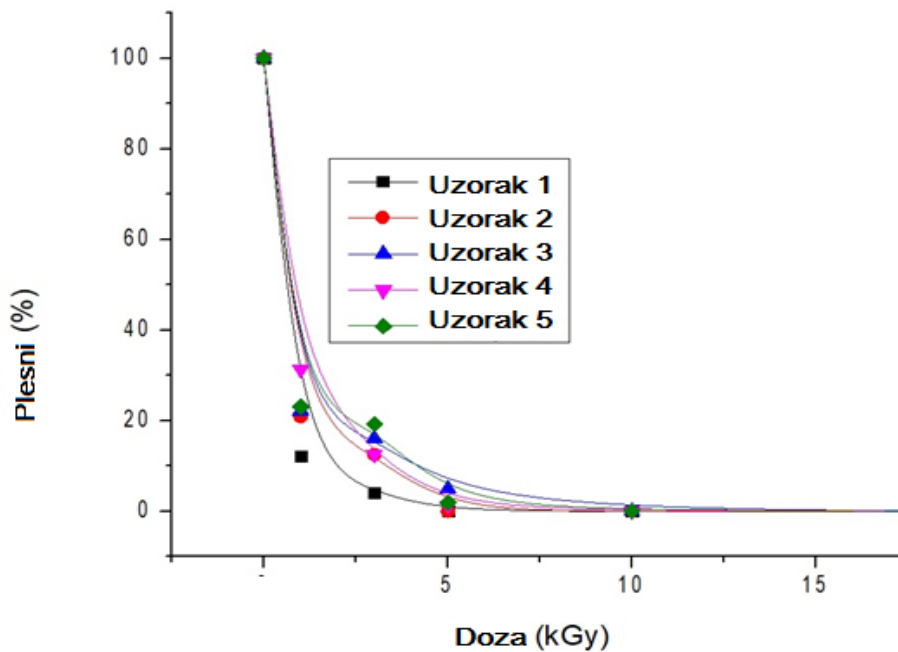
U tabeli 4.1 je prikazano da početna koncentracija mikroorganizama i plesni varira ali da se značajno smanjuje čak i pri malim dozama zračenja. Doza zračenja od 25 kGy inaktivirala je sve mikroorganizme, doza od 10 kGy dovoljna je za inaktivaciju svih plesni. Takođe, u nekim uzorcima otkrivena je *Escherichia coli*, međutim doza od 1 kGy inaktivirala je ovu vrstu bakterije. Na slikama 4.1 i 4.2 prikazan je procenat preostalih ukupnih mikroorganizama i plesni nakon ozračivanja različitim dozama gama zračenja.





**Slika 4.1.** Procenat prostalih ukupnih mikroorganizama nakon ozračivanja različitim dozama gama zračenja

Slika 4.1. prikazuje procenat rezidualnih mikroorganizama za svaku primenjenu dozu zračenja. Jasno se može videti da je nakon doze od 5 kGy procenat preostalih mikroorganizama bio zanemarljiv, dok je doza od 25 kGy inaktivirala sve mikroorganizme.



**Slika 4.2.** Procenat preostalih plesni, nakon ozračivanja različitim dozama gama zračenja

Slika 4.2. prikazuje procenat prisutnih plesni za svaku primenjenu dozu zračenja. Može se videti da se povećanjem doze zračenja koncentracija plesni drastično smanjuje, dok se plesni potpuno inaktiviraju pri dozi od 10 kGy.

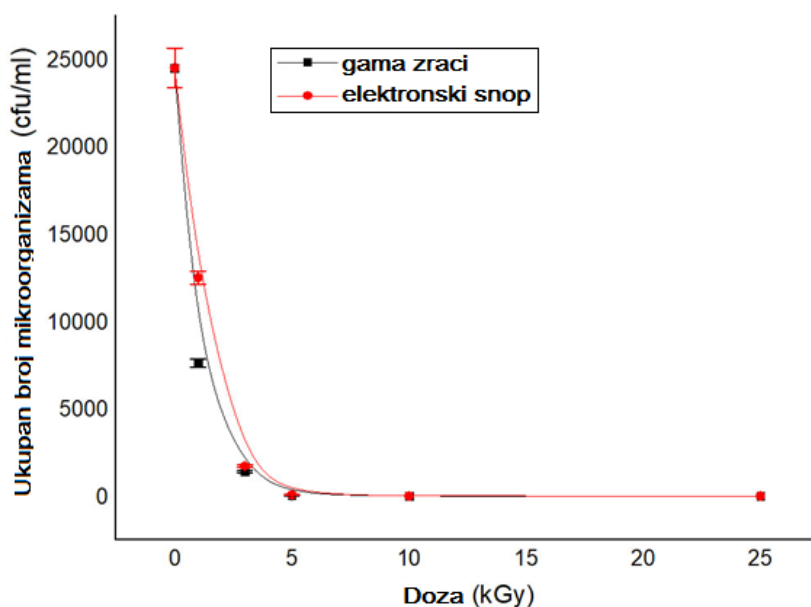
## 4.2. Mikrobiološke analize osušenog tretiranog otpadnog mulja

Osušeni otpadni mulj tretiran krečnom vodom je ozračen gama zracima i elektronskim snopom radi inaktivacije mikroorganizama. Tabela 4.2. prikazuje rezultate mikrobioloških analiza nakon različitih radijacionih tretmana (gama zračenje i elektronski snop) i različitih doza zračenja. Ispitano je 5 različitih uzoraka, a prosečne vrednosti su prikazane u tabeli 4.2.

**Tabela 4.2.** Ukupan broj mikroorganizama, plesni i *Escherichia coli* nakon uticaja različitih doza zračenja i različitih vrsta zračenja (gama zračenje i elektronski snop).

Doza (kGy)	0	1	3	5	10	25	Metoda
GAMA ZRAČENJE							
Ukupan broj mikroorganizama (cfu/ml)	24500±1140	7600±220	1400±60	30±2	0	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
Ukupan broj plesni (cfu/ml)	0	0	0	0	0	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
<i>Escherichia coli</i>	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
ELEKTRONSKI ZRACI							
Ukupan broj mikroorganizama (cfu/ml)	24500±1140	12500±380	1700±70	80±3	0	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
Ukupan broj plesni (cfu/ml)	0	0	0	0	0	0	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)
<i>Escherichia coli</i>	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	Nisu prisutne	<i>Ph. Eur. 7</i> (2.6.12.,2.6.13.)

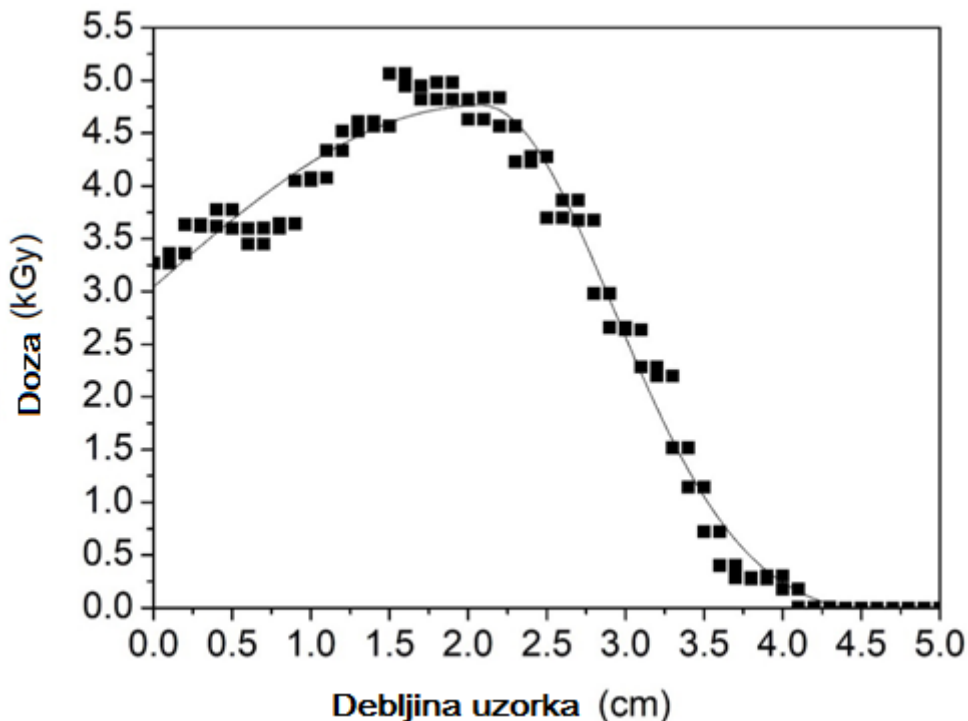
Iz tabele 4.2. se može videti da je početna kontaminacija znatno niža kada se uzorci tretiraju krečnom vodom (skoro 100 puta). Takođe, u ovako tretiranim uzorcima nema plasni ili bakterija. Ipak, koncentracija mikroorganizama je i dalje mnogo veća od dozvoljene vrednosti da bi se takav mulj koristio u poljoprivredi gde je maksimalna dozvoljena vrednost 1000 cfu/ml (Annexess, 2016). Obe vrste jonizujućeg zračenja mogu smanjiti ukupan broj mikroorganizama na dozvoljeni nivo. Efekti gama zračenja i elektronskog snopa na smanjenje mikroorganizama u otpadnom mulju se ne razlikuju puno. Na slici 4.3. prikazana je mala razlika u brzini razgradnje mikroorganizama gama zračenjem i elektronskim snopom.



**Slika 4.3.** Efekat različitih doza zračenja na smanjenje ukupnog broja mikroorganizama u otpadnom mulju

Kao što se vidi sa slike 4.3., gama zranci uzrokuju bržu razgradnju mikroorganizama u poređenju sa elektronskim snopom. Takav trend se može objasniti mnogo većom prodornošću gama zraka od elektrona (Fan et al., 2017). Kod ozračivanja gama zracima debljina sloja mulja gotovo da ne igra ulogu u raspodeli doza zračenja. Suprotno tome, kod elektronskog snopa prodor elektrona značajno zavisi od debljine sloja mulja. Gustina ozračenog mulja bila je 0,66 g/cm<sup>3</sup>, a raspodela dubine doze od 5 MeV u otpadnom mulju simulirana je pomoću modeRTL koda i prikazana na slici 4.4. Kako je debljina uzorka bila oko 7 mm, prema rezultatima simulacije očekuje se da je doza na dnu pakovanja uzorka mulja oko 30% viša od doze na vrhu pakovanja.

Eksperimentalni rezultati (tabela 3.1) se poklapaju sa rezultatima simulacije jer je doza izmerena na donjoj strani uzorka otpadnog mulja bila veća od doze na njegovoj površini.



**Slika 4.4.** ModeRTL simulacija raspodele dubine doze elektrona od 5 mEv u mulju

U oba slučaja doza od 10 kGy je dovoljna da eliminiše sve mikroorganizme u tretiranom otpanom mulju dok je doza od 5 kGy dovoljna da nivo mikroorganizama svede na prihvatljive vrednosti za upotrebu takvog mulja u poljoprivredi kao đubrivo. Slični rezultati su zabeleženi u literaturi (Rathod et al., 2009; Wang i Wang, 2007; Chmielewski et al., 1995).

### 4.3. Određivanje koncentracije teških metala u otpadnom mulju

Direktive evropske unije određuju maksimalnu dozvoljenu količini teških metala u mulju koja je potrebna da bi se on mogao koristiti kao đubrivo (Council Directive 86/278/EEC, Council Directive 91/271/EEC). Tabela 4.3 prikazuje granične vrednosti koncentracije teških metala u mulju za primenu u poljoprivredi (mg/kg suve materije) kao i sadržaj teških metala pre i posle zračenja gama zracima i elektronskim snopom

dozom od 10 kGy, što je dovoljna doza da eliminiše sve mikroorganizme iz tretiranog otpadnog mulja.

**Tabela 4.3.** Sadržaj teških metala pre i posle zračenja dozom od 10 kGy

<b>Teški metali</b>	<b>Granične vrednosti*, mg/kg suve materije</b>	<b>Neozračeno, mg/kg suve materije</b>	<b>Ozračeno dozom od 10 kGy gama zračenja, mg/kg suve materije</b>	<b>Ozračeno dozom od 10 kGy zračenja elektronskim snopom, mg/kg suve materije</b>
Kadmijum	20 do 40	21	19	19
Bakar	1000 do 1750	384	393	388
Nikl	300 do 400	54,2	54,9	54,8
Olovo	750 do 1200	122	120	123
Cink	2500 do 4000	166	165	170
Živa	16 do 25	8,22	8,24	8,20
Hrom	100	39,0	34,9	38,5
Arsen	29	9,66	9,71	9,70
Selen	0,7	0,0711	0,0661	0,0682

\*Države članice utvrđuju maksimalne granične vrednosti za teške metale, poštujući opseg graničnih vrednosti prikazanih u tabeli.

Iz tabele 4.3 se vidi da je sadržaj teških metala u otpadnom mulju dobijenom iz postrojenja za prečišćavanje vode za piće znatno niži od graničnih vrednosti. Samo je sadržaj kadmijuma bio malo iznad minimalne granične vrednosti ali unutar dozvoljenih granica. Iako se pretpostavljalo da jonizujuće zračenje neće imati uticaj na sadržaj teških metala u otpadnom mulju, izmeren je sadržaj teških metala u svim uzorcima nakon ozračivanja kako bi se to i potvrdilo. Iz literature je poznato da jonizujuće zračenje može smanjiti koncentraciju nekih jona teških metala, tj. izvršiti njihovu

oksidaciju ili redukciju, ali ukupan sadržaj teških metala ostaje isti (Wu et al., 2005; Dessouki et al., 2000). Može se zaključiti da je ovaj mulj u pogledu sadržaja teških metala u skladu sa direktivama za upotrebu u poljoprivredi, pa je ozračeni otpadni mulj pogodan za dalju primenu kao đubrivo u poljoprivredi.

#### 4.4. Određivanje koncentracije akrilamida u mulju

Specifični problem kod ozračivanja tretiranog otpadnog mulja može biti taj što mala brzina doze zračenja može prouzrokovati degradaciju lanaca PAM, za razliku od visokih doza koje dovode do umrežavanja (Von Sonntag et al., 1999; Elbarbary et al., 2017). Akrilamid monomer je potencijalno kancerogen i klasifikuje se kao kancerogena grupa 2A (Dotson et al., 2011; Hogervorst, 2018). Koža lako apsorbuje akrilamid koji se raspoređuje po organizmu, najizloženiji delovi ljudskog tela su: krv, koža, bubrezi, jetra, testisi i slezina. Simptomati izloženosti akrilamidu uključuju i dermatitis i perifernu neuropatiju. Iz tog razloga ispitivana je koncentracija akrilamid monomera pre zračenja kao i nakon zračenja različitim dozama gama zračenja i elektronskog snopa. Dobiljeni rezultati prikazani su u tabeli 4.4.

**Tabela 4.4.** Sadržaj akrilamida u mulju nakon izlaganja različitim dozama gama i elektronskog zračenja

	Test metoda	Test parametar	0 kGy	1 kGy	3 kGy	5 kGy	10 kGy	25 kGy
Gama zračenje	DML 2.1:2015	Akrilamid, $\mu\text{g/l}$	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Elektronski snop	DML 2.1:2015	Akrilamid, $\mu\text{g/l}$	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Kao što se može videti, brzina doze u oba slučaja je dovoljno visoka da ne uzrokuje razgradnju PAM lanca na monomere. Koncentracija akrilamida u mulju je ispod granice merenja i ispunjava zahteve uredbe o referentnim nivoima za prisustvo akrilamida - 0,1 mg/l (Carlson, 2007; Commission Regulation 2017/2158).

## 4.5. Uticaj skladištenja na mikrobiološka svojstva tretiranog mulja

Nakon ozračavanja uzoraka različitim vrstama i različitim dozama jonizujućeg zračenja, izvršena je mikrobiološka analiza. Ista serija mulja čuvana je na suvom i tamnom mestu na 15°C radi utvrđivanja uticaja starenja na mikrobiološke karakteristike tretiranog mulja. Trajanje skladištenja je bilo 15 meseci (Ranković et al., 2021).

### 4.5.1. Mikrobiološka analiza otpadnog mulja

Utvrđen je ukupan broj mikroorganizama u neozračenom mulju i mulju ozračenom gama zracima i e-snopom. Analize su izvršene odmah nakon zračenja i nakon 15 meseci kako bi se procenio uticaj starenja. Rezultati su prikazani u tabeli 4.5.

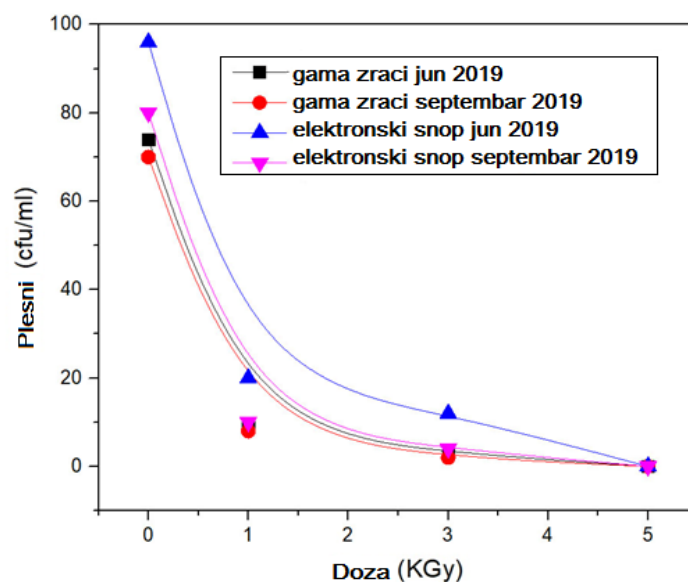
**Tabela 4.5.** Ukupan broj mikroorganizama neposredno nakon zračenja, kao i posle 15 meseci, ozračenih a) gama zračenjem i b) e-snopom

Doza, kGy	0	1	3	5	10	25
Gama zračenje						
Ukupan broj mikroorganizama, cfu/ml jun 2019.	24500	7600	1400	30	0	0
Ukupan broj mikroorganizama, cfu/ml septembar 2020.	5200	1400	300	0	0	0
Elektronski snop						
Ukupan broj mikroorganizama (cfu·ml <sup>-1</sup> ) jun 2019.	24500	12500	1700	80	0	0
Ukupan broj mikroorganizama (cfu·ml <sup>-1</sup> ) septembar 2020.	5200	1000	500	0	0	0

Iz tabele 4.5. se može videti da se ukupan broj mikroorganizama znatno smanjuje čak i sa malim dozama zračenja, bilo da se radi o gama zračenju ili e-snopu. Takvi rezultati se očekuju i nalaze se u literaturi (Getoff, 1996; Rawat et al., 1998; Chimielewski i Sudlitz, 2019). Doza od 5 kGy dovoljna je da se ukupan broj mikroorganizama smanji na nivo dozvoljen da se mulj koristi kao đubrivo u poljoprivredi. Doza od 10 kGy je dovoljna za uništavanje svih mikroorganizama u mulju. Druga kolona prikazuje ukupan broj mikroorganizama istih uzoraka nakon skladištenja tokom 15 meseci u zatvorenim kesama. Ukupan broj mikroorganizama se smanjuje u odnosu na uzorke analizirane neposredno nakon zračenja. Objašnjava se nedostatkom kiseonika u kesama. Kao rezultat, mikroorganizmi ne mogu da se dalje razvijaju (Wang et al., 2019).

#### 4.5.2. Određivanje sadržaja plesni u otpadnom mulju

Ispitan je sadržaj plesni u uzorcima ozračenim različitim dozama gama zračenja, neposredno nakon zračenja i nakon skladištenja uzoraka tokom 15 meseci. Rezultati su prikazani na slici 4.5.



**Slika 4.5.** Sadržaj plesni u uzorcima ozračenim različitim dozama gama zračenja

Kao što se može videti, starenje ne utiče na povećanje sadržaja plesni u svim uzorcima. Doza od 5 kGy je dovoljna da neutrališe sav sadržaj plesni iz uzoraka.



### 4.5.3. Fizičko-hemijske karakteristike otpadnog mulja

Fizičko-hemijske karakteristike otpadnog mulja tretiranog gama zracima i elektronskim snopom, neposredno nakon tretmana i nakon skladištenja tokom 15 meseci, prikazane su u tabeli 4.6.

**Tabela 4.6.** Fizičko-hemijske karakteristike uzoraka mulja prikupljenih iz uređaja za prečišćavanje vode za piće

Parametri	Gama zračenje, izmeremo odmah posle tretmana	Gama zračenje, izmeremo posle 15 meseci	Elektronski snop, mereno odmah posle tretmana	Elektronski snop, mereno posle 15 meseci	Dozvoljene vrednosti za mulj koji bi se koristio za poboljšanje zemljišta*
pH	6,02	5,45	5,98	5,32	4–7
Električna provodljivost, $\mu\text{S}/\text{cm}$	1455	1453	1486	1488	<3000
Kapacitet katjonske izmene, $\text{mmol}/100 \text{ ml}$	106	107	108	107	>25
Organski sadržaj, %	55	32	46	29	-

\* Na osnovu Zakona o sredstvima za ishranu bilja i oplemenjivačima zemljišta („Službeni glasnik RS“, br. 41/09), i Pravilnika o uslovima za razvrstavanje i utvrđivanje kvaliteta sredstava za ishranu bilja, odstupanjima sadržaja hranljivih materija i minimalnim i maksimalnim vrednostima dozvoljenog odstupanja sadržaja hranljivih materija i o sadržini deklaracije i načinu obeležavanja sredstava za ishranu bilja: 30/2017-13, 31/2018-86.

Tabela 4.6 pokazuje blagi pad vrednosti pH vrednosti nakon 15 meseci skladištenja, kako u mulju tretiranom gama zracima, tako i u mulju tretiranom elektronskim snopom. Razlog je nastanak  $\text{CO}_2$  i oksidacija amonijaka tokom vremena (Luklema, 1969). Međutim, dobijene vrednosti su i dalje iznad dozvoljene vrednosti propisane Zakonom o sredstvima za ishranu bilja i oplemenjivačima zemljišta.

Provodljivost i kapacitet izmene katjona tretiranog mulja gotovo se ne menjaju u funkciji vremena skladištenja. Kapacitet katjonske izmene je mera sposobnosti tla da zadrži katjon. Visoke vrednosti kapaciteta izmene katjona bile su poželjne jer takvo zemljište smanjuje ili sprečava esencijalni gubitak hranljivih sastojaka ispiranjem.

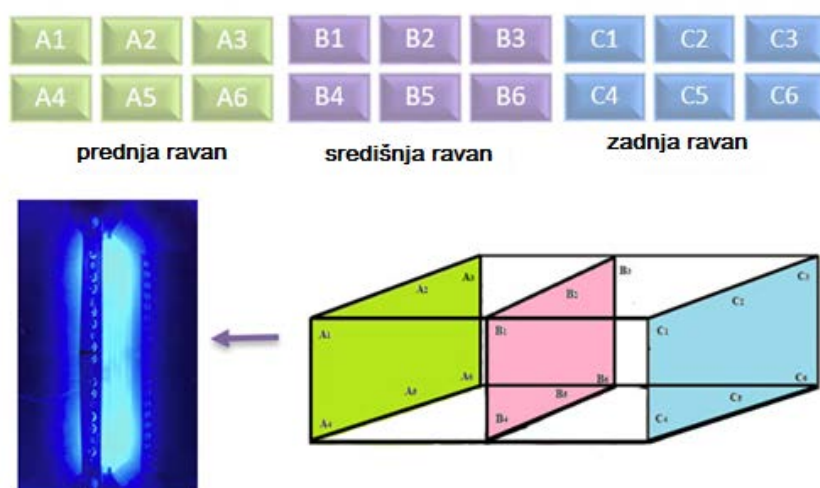
Količina organskih čvrstih supstanci često se koristi za opis otpada. Iako propisi ne propisuju dozvoljene granice organskih čvrstih supstanci, ove vrednosti treba da budu što je moguće niže. Tabela 4.6 pokazuje da se vrednosti vremenom smanjuju usled prirodnog sušenja mulja, tj. isparavanja dela organskih supstanci

#### **4.6. Dozimetrijska kontrola gama zračenja kojim je tretiran otpadni mulj**

Svi uzorci otpadnog mulja tretirani su gama zračenjem na Raijacionoj jedinici Instituta za nuklearne nauke Vinča. Izvor zračenja koji se koristi je radioaktivni izotop kobalta, Co-60. Proces ozračivanja se odvija u specijalno dizajniranoj komori izrađenoj od armiranog betona debljine zidova od 1,8m. Ram sa izvorima se podiže iz bazena tako da u toku procesa proizvodi kruže oko izvora čime se postiže homogeno ozračivanje. Čitav pogon je automatizovan, njime se upravlja iz kontrolne sobe i takođe je uveden najnoviji sistem bežičnog nadgledanja procesa. Iako tako dizajniran sistem omogućava svakoj kutiji sa materijalom koji se ozračuje da primi jednaku dozu zračenja, ova doza nije identična unutar kutije. Iako vrlo prodorni, gama zraci ne zrače materijal podjednako na površini i u unutrašnjosti. Različita homogenost apsorbovane doze u materijalu takođe zavisi od rasporeda izvora zračenja (šipko kobalta) unutar okvira (Ranković et al., 2020).

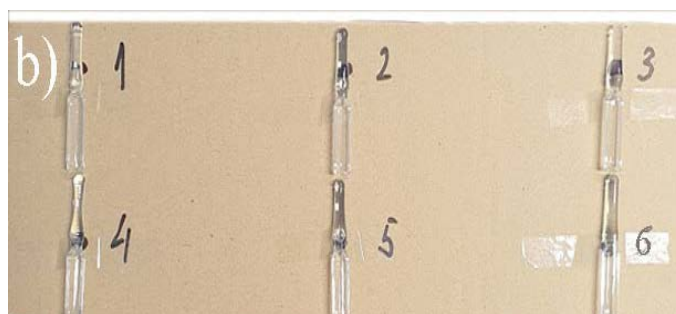
Zbog toga je veoma važno utvrditi razliku između raspodele doze gama zračenja unutar materijala. Mapiranje doze je način da se utvrdi da li sav materijal u procesu zračenja prima potrebnu dozu zračenja. Izvođenjem mapiranja doze može se utvrditi raspodela doze unutar materijala kao i lokacije minimalne i maksimalne apsorbovane doze zračenja. Takođe, mapiranje doza je zahtev standarda ISO 11137-1: 2016 Sterilizacija proizvoda za zdravstvenu zaštitu - Zračenje - Deo 1: Zahtevi za razvoj, validaciju i rutinsku kontrolu procesa sterilizacije medicinskih uređaja.

Mapiranje doze u različitim postrojenjima za zračenje opisano je u literaturi (Majer et al., 2019; Mortuza et al., 2018; Moradi et al., 2017). Međutim, zbog specifične konstrukcije Radijacione jedinice u Institutu Vinča, izuzetno je važno izvršiti mapiranje doza za proizvode različite gustine. Jedan od ciljeve ove disertacije bio je kompletno mapiranje doza u i utvrđivanje položaja minimalne i maksimalne apsorbirane doze zračenja ozračenim proizvodima iste gustine kao što je otpadni mulj. U tu svrhu korišten je treset. Za određivanje apsorbirane doze zračenja korišten je ECB-oscilotitratorski dozimetrijski sistem. ECB dozimetri su postavljeni u kutiju sa tresetom, i to u tri paralelne ravni: prednju ravan, središnju ravan i zadnju ravan. Postavljeno je ukupno 18 dozimetara, po 6 u svakoj ravni (slika 4.6).



**Slika 4.6.** Raspored dozimetara po ravnima i raspored ravni unutar kutije

Na slici 4.6. je prikazana i orijentacija ravni prema izvoru zračenja. Karton sa postavljenim dozimetrima prikazan je na slici 4.7.



**Slika 4.7.** Raspored dozimetara na kartonskom držaču

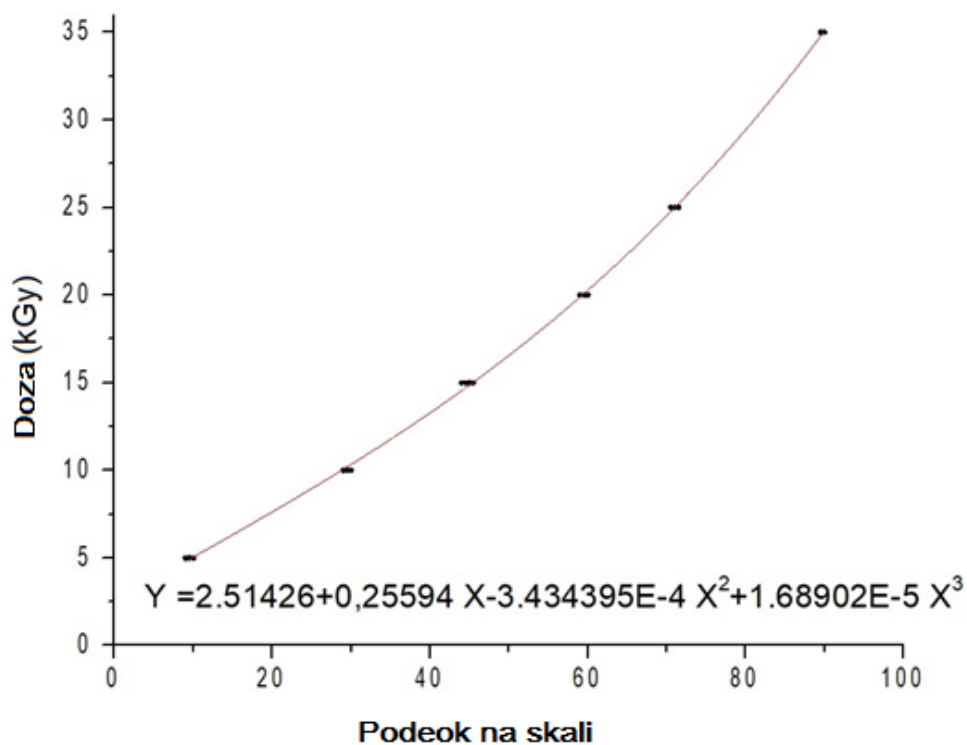
Da bismo se formirala kalibraciona krivu, izmerene su vrednosti na skali oscilotitratora, u zavisnosti od doze zračenja kojoj su kalibracioni dozimetri bili izloženi

u referentnoj laboratoriji. Izvršena su tri različita merenja, Dobijeni su sledeći rezultati predstavljeni u tabeli 4.7.

**Tabela 4.7.** Vrednosti dozimetara ozračenih u referentnoj laboratoriji očitane na oscilotitratu

Doza	Broj ampule	Vrednost podeoka očitana na oscilotitratu		
		Prvo merenje	Drugo merenje	Treće merenje
5	D11	10,0	10,0	9,5
	D12	10,0	9,5	10,0
	D13	9,0	9,5	9,5
10	D21	29,0	29,5	29,0
	D22	30,0	30,0	29,5
	D23	29,0	29,0	29,0
15	D31	45,0	45,0	44,5
	D32	44,0	44,0	44,0
	D33	45,5	45,0	45,5
20	D41	60,0	60,0	60,0
	D42	59,0	59,0	60,0
	D43	59,0	59,5	59,0
25	D51	71,0	71,0	71,5
	D52	71,0	71,0	71,0
	D53	71,0	70,5	71,5
35	D61	90,0	89,5	90,0
	D62	90,0	90,0	89,5
	D63	89,5	90,0	90,0

Na osnovu izmerenih vrednosti, formirana je kalibraciona kriva, sa trećim redom polinomskog fitovanja (slika 4.8)



**Slika 4.8.** Kalibraciona kriva

Na osnovu ove kalibracione krive i dobijene kalibracione jednačine, izračunate su sve vrednosti apsorbovane doze zračenja u ovoj disertaciji. Kutije su ispunjene tresetom koji ima istu gustinu kao i otpadni mulj. Prosečna gustina materijala je 476,2 kg/m<sup>3</sup>. Nakon ozračivanja i merenja vrednosti na oscilotitratu, dobijeni su sledeći rezultati (tabela 4.8.)

**Tabela 4.8.** Rezultati očitavanja dozimetra za kutiju sa tresetom

Ravan	Pozicija	Izračunata doza			Prosečna doza kGy	Standardna devijacija (DS) <sub>z</sub>	Koefficient varijacije (CV)	Napomena
		Kutija 1 kGy	Kutija 2 kGy	Kutija 3 kGy				
PREDNJA RAVAN	A1	27,0	27,2	27,0	27,07	0,12	0,43	
	A2	27,2	27,0	27,2	27,13	0,12	0,43	
	A3	27,4	27,2	27,4	27,33	0,12	0,42	
	A4	26,5	26,5	26,5	26,50	0,00	0,00	
	A5	26,5	26,5	27,0	26,67	0,29	1,08	
	A6	26,5	26,5	26,5	26,50	0,00	0,00	
SREDIŠNJA RAVAN	B1	22,5	22,2	22,5	22,40	0,17	0,77	
	B2	20,8	20,8	21,2	20,93	0,23	1,10	Minimalna doza
	B3	22,9	22,5	22,9	22,77	0,23	1,01	
	B4	22,5	22,5	22,5	22,50	0,00	0,00	
	B5	21,2	21,0	21,2	21,13	0,12	0,55	
	B6	21,8	21,2	21,2	21,40	0,35	1,62	
ZADNJA RAVAN	C1	27,4	27,0	27,4	27,27	0,23	0,85	
	C2	27,0	27,0	27,0	27,00	0,00	0,00	
	C3	27,9	27,4	27,9	27,73	0,29	1,04	
	C4	27,4	27,4	27,4	27,40	0,00	0,00	
	C5	28,4	28,4	27,9	28,23	0,29	1,02	Maksimalna doza
	C6	27,0	27,4	27,4	27,27	0,23	0,85	
		Minimalna doza – 20,9 kGy			Maksimalna doza – 28,2 kGy			

Prosečna doza:  $D_{av}=25,40$  kGy

Ukupna standardna devijacija:

$$Var_{overall} = \frac{\sum_{z=1}^{Z_{ukupno}} (n_z - 1)(DS)_z^2}{N - Z_{ukupno}} = 0.037037 kGy^2$$

$n_z = 3$  (merenje urađeno na 3 kutije)

$N = 54$  (ukupan broj merenja)

$Z_{ukupno} = 18$  (broj zona merenja)

Relativna nesigurnost merenja:

$$\frac{\sqrt{Var_{overall}}}{D_{sr}} = 0.76\%$$

Homogenost unutar kutije:

$$U_{av} = \frac{D_{max}}{D_{min}} = \frac{28.23}{20.93} = 1.348$$

Dakle, maksimalna homogenost u kutiji je oko 35%.

Na osnovu dobijenih rezultata vidi se da prednja i zadnja ravan dobijaju dozu od 26,9, odnosno 27,4 kGy, dok srednja ravan prima dozu od 21,8 kGy. Mesto sa minimalnom dozom je na vrhu srednje ravni, i to je mesto gde su vršena sva naredna merenja apsorbovane doze zračenja.

## 5. ZAKLJUČAK

Pristup higijenski bezbednoj vodi za piće je od suštinskog značaja za ljudsko zdravlje, osnovno ljudsko pravo i značajna komponenta politike zdravstvene zaštite. Postrojenja za pripremu vode za piće od površinske vode, koja kombinuju porcese koagualacije, flokulacije, taloženja, ozonizacije, brze gravitacione peščane filtracije, adsorpcije na granulisanom aktivnom uglju i hlorisanje, inaktiviraju sve patogene prisutne u sirovoj vodi. Nastali otpadni mulj može sadržati mikroorganizme, teške metale i poliakrilamid. On se zatim tretira gravitacionim ugušćivanjem i mehaničkim očeđivanjem, tj. obezvodnjavanjem, ali ovaj tretman ne obezbeđuje potpuno pouzdanu dezinfekciju otpadnog mulja. Tema ove doktorske disertacije je ispitivanje efekata visokoenergetskog gama i elektronskog zračenja na inaktivaciju patogena iz otpadnog mulja generisanog u procesu pripreme vode za piće iz površinskih voda.

Upotreba visokoenergijskog jonizujućeg zračenja pokazala se kao uspešna metoda za inaktiviranje mikroorganizama iz otpadnog mulja. Utvrđene su male razlike u tretmanu mulja primenom gama zračenja i elektronskog snopa, tj. ove dve vrste jonizujućeg zračenja imaju sličan uticaj na smanjenje ukupnog broja mikroorganizama u otpadnom mulju. Gama zraci uzrokuju nešto bržu inaktivaciju mikroorganizama u poređenju sa elektronskim snopom što se može objasniti mnogo većom prodornošću gama zraka od elektronskog snopa.

Uspostavljena je doza zračenja potrebna da bi se inaktivirali svi patogeni u uzorcima otpadnog mulja. Utvrđeno je da je doza od 25 kGy inaktivira sve patogene u uzorcima sirovog otpadnog mulja, a da je doza od 10 kGy dovoljna da inaktivira sve patogene u osušenom mulju tretiranom krečnom vodom.

Ispitan je uticaj različitih tipova jonizujućeg zračenja na mogućnost razgradnje poliakrilamida u otpadnom mulju. Dokazano je da su korišćene brzine doza zračenja dovoljno visoke da ne prouzrokuju degradaciju polimernog lanca kod flokulanta i ne dovede do stvaranja opasnog akrilamid monomera. Utvrđeno je da je koncentracija akrilamida u mulju i pre i nakon zračenja bila ispod granice detekcije metode i daleko ispod granične vrednosti za upotrebu mulja kao đubriva.



U ovoj disertaciji određen je i uticaj starenja na mikrobiološke osobine mulja tretiranog različitim vrstama zračenja (gama zračenje i elektronski snop). Utvrđeno je da se posle 15 meseci u tretiranom mulju ne razvijaju mikroorganizmi ako je skladišten u plastičnim kesama, na tamnom i suvom mestu. Skladištenje pri ovim uslovima ne utiče ni na povećanje sadržaja plesni, na stvaranje akrilamid monomera, kao ni na promenu fizičko-hemijskih karakteristika.

Mapirana je raspodela apsorbirane doze gama zračenja unutar kutije sa otpadnim muljem i uspostavljena je procedura za njegov tretman. Na osnovu dobijenih rezultata, utvrđeno je mesto minimalne doze, i tu su vršena sva merenja apsorbirane doze zračenja tokom eksperimenata.

Iz svih podataka predstavljenih u ovoj disertaciji može se zaključiti da otpadni mulj iz postrojenja za pripremu vode za piće tretiran jonizujućem zračenjem pokazuje realan potencijal za korišćenje kao đubrivo u poljoprivredi.

## LITERATURA

1. Abdel Rahman, R.O., Kozak, M.W., Hung, Y.T. (2014) Radioactive pollution and control. In Handbook of Environment and Waste Management, Hung, Y.T., Wang, L.K., Shamma, N.K., Eds., World Scientific Publishing Co, Singapore, 949–1027.
2. Ali Mussad, R. (2004) Disinfection of Sewage Water and Sludge using Gamma Radiation, Sudan Academy of Sciences (SAS), Atomic Energy Research Coordination Council
3. Allaoui, M., Schmitz, T., Campbell, D., Porte C.A.D.L. (2015) Good Practices, For Regulating Wastewater Treatment, Legislations, Policies and Standards; United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya
4. Annexess to the Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down rules on the making available on the market of CE marked fertilising products and amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 (2016)
5. Baley, D., Humm, J., Todd-Pokropek, A., van Aswegen, A., (2014) Nuclear Medicine Physics, A Handbook for Teachers and Students, IAEA
6. Carlon, C. (2007) Derivation methods of soil screening values in Europe, A review and evaluation of national procedures towards harmonisation, European commission – Joint research centre, 301.
7. Castañeda, L.F., Rodríguez, J.F., Nava, J.L. (2020) Electrocoagulation as an affordable technology for decontamination of drinking water containing fluoride, A critical review. *Chemical Engineering Journal*, 127529. doi:10.1016/j.cej.2020.127529
8. Chen, N., Liu, W., Huang, J., Qiu, X. (2019) Preparation of octopus-like lignin-grafted cationic polyacrylamide flocculant and its application for water flocculation, *International Journal of Biological Macromolecules*. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.12.245
9. Chen, Y., Tian, G., Zhai, B., Zhang, H., Liang, Y., Liang, H. (2019) Cationic starch-grafted-cationic polyacrylamide based graphene oxide ternary composite

- flocculant for the enhanced flocculation of oil sludge suspension, *Composites Part B, Engineering* 177, 107416. doi:10.1016/j.compositesb.2019.107416
10. Chmielewski A. G., Sudlitz, M. (2019) 'Zero energy' electron beam technology for sludge hygienization. *Nukleonika* 64, 55-63.
  11. 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), 1071–1074. doi:10.1016/0969-806x(95)00323-p
  12. Chmielewski, A.G., (2005) Application of ionizing radiation to environment protection, *Nukleonika*, 50, 17–24.
  13. Choo, G., Oh, J.-E. (2020) Seasonal occurrence and removal of organophosphate esters in conventional and advanced drinking water treatment plants, *Water Research* 186, 116359. doi:10.1016/j.watres.2020.116359
  14. Claisse, P. (2016) Civil Engineering Materials, Chapter 11 - Ionising radiation, 101-106. doi: 10.1016/B978-0-08-100275-9.00011-5
  15. Commission regulation 2017/2158, Official Journal of the European Union, L 304/24
  16. Council Directive 86/278/EEC Official Journal OJ L 181, 6.
  17. Council Directive 91/271/EEC. Official Journal L 135, 40-52.
  18. Dalmacija, B., Agbaba, J., Klašnja, M. (2005) Dezinfekcija vode, Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad
  19. Deng, Y., Zhao, R., (2015) Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment, *Curr. Pollut. Rep.* 2015 1, 167–176.
  20. Dessouki, A., Hegazy, E., EL-Korashy, S., EL-Kelesh, N. (2000) Removal of Some Heavy Metals from Wastewater using Radiation- Adsorption Method, Seventh Conference of Nuclear Sciences & Applications, Cairo, Egypt, 481-493.
  21. Ding, W., Jin, W., Cao, S., Zhou, X., Wang, C., Jiang, Q., Wang, Q. (2019) Ozone disinfection of chlorine-resistant bacteria in drinking water, *Water Research* 160, 339–349. doi:10.1016/j.watres.2019.05.014
  22. Dotson, G. S., Chen, C.-P., Gadagbui, B., Maier, A., Ahlers, H. W., Lentz, T. J. (2011) The evolution of skin notations for occupational risk assessment, A new

- NIOSH strategy. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 61(1), 53–62. doi:10.1016/j.yrtph.2011.06.002
23. Douterelo, I., Dutilh, B. E., Calero, C., Rosales, E., Martin, K., Husband, S. (2020) Impact of phosphate dosing on the microbial ecology of drinking water distribution systems, Fieldwork studies in chlorinated networks, *Water Research* 116416. doi:10.1016/j.watres.2020.116416
24. Dwari, R.K., Angadi, S.I., Tripathy, S.K. (2018) Studies on flocculation characteristics of chromite's ore process tailing: Effect of flocculants ionicity and molecular mass, *Colloids and Surfaces, Physicochemical and Engineering Aspects* 537, 467–477. doi:10.1016/j.colsurfa.2017.10.069
25. Elbarbary, A.M., El-Rehim, H.A.A., El-Sawy, N.M., Hegazy, E.S.A., Soliman, E.S.A. (2017) Radiation induced crosslinking of polyacrylamide incorporated low molecular weights natural polymers for possible use in the agricultural applications, *Carbohydrate Polymers* 176, 19–28. doi:10.1016/j.carbpol.2017.08.050
26. El-Motaium, R.A. (2006) Application of nuclear techniques in Environmental studies and pollution Control, Proceedings of the 2nd Environmental Physics Conference, Alexandria, Egypt, 169–182.
27. EPA (1999) Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual, EPA 815-R-99-014, Office of Water
28. European Pharmacopoeia 7.0 (2011) European Directorate for the Quality of Medicines & Health Care
29. Fan, X., Mastovska, K. (2006) Effectiveness of ionizing radiation in reducing furan and acrylamide levels in foods, *J. Agric. Food Chem.* 54, 21, 8266-8270, doi: 10.1021/jf061151+
30. Fan, X., Sokorai, K., Weidauer, A., Gotzmann, G., Rögner, F.-H., Koch, E. (2017) Comparison of gamma and electron beam irradiation in reducing populations of *E. coli* artificially inoculated on mung bean, clover and fenugreek seeds, and affecting germination and growth of seeds, *Radiation Physics and Chemistry* 130, 306–315. doi:10.1016/j.radphyschem.2016.09.015
31. FAO (1992) Wastewater Treatment and Use in Agricultural-FAO Irrigation and Drainage Paper 47; Rome, Italy, Available online: <http://www.fao.org/3/t0551e/t0551e00.htm#Contents> (accessed on 20 Nov. 2019)

32. Fujioka, T., Ueyama, T., Mingliang, F., Leddy, M. (2019) Online assessment of sand filter performance for bacterial removal in full-scale drinking water treatment plant, *Chemosphere* 229, 509-514. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.04.197
33. Gaćeša, S., Klašnja M. (1994) Tehnologija vode i otpadnih voda, Jugoslovensko udruženje pivara, Beograd
34. Getoff, N. (1996) Radiation-induced degradation of water pollutants - state of the art, *Radiation Physics and Chemistry* 47(4), 581–593. doi:10.1016/0969-806x(95)00059-7
35. Guo, L., Wan, K., Zhu, J., Ye, C., Chabi, K., Yu, X. (2020) Detection and Distribution of VBNC/Viable Pathogenic Bacteria in Full-Scale Drinking Water Treatment Plants, *Journal of Hazardous Materials* 124335. doi:10.1016/j.jhazmat.2020.124335
36. Hogervorst, J. (2018) Dietary Acrylamide, Reference Module in Food Science. doi:10.1016/b978-0-08-100596-5.21820-9, 2-3.
37. Hu, D., Zhou, Z., Niu, T., Wei, H., Dou, W., Jiang, L.-M., Lv, Y. (2017) Co-treatment of reject water from sludge dewatering and supernatant from sludge lime stabilization process for nutrient removal, A cost-effective approach., *Separation and Purification Technology* 172, 357–365. doi:10.1016/j.seppur.2016.08.032
38. Hu, Z. (2014) Sample digestion methods, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Treatise on Geochemistry Sec. Ed., 15, 87-109.
39. Hvistendahl, M., (2017) Coal Ash Is More Radioactive Than Nuclear Waste, *Scientific American*
40. IAEA (2008) Radiation Treatment of Polluted Water and Wastewater, Vienna, Austria
41. IAEA (2017) International Status and Prospects for Nuclear Power, Report by the Director General
42. ICRP (2001) Radiation and your patient, A guide for medical practitioners ICRP Supporting Guidance 2
43. ISO 11137-1:2016 - Sterilization of health care products - Radiation - Part 1: Requirements for development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices, European committee for standardization

44. ISO 11737-1:2018 - Sterilization of health care products - Microbiological methods - Part 1: Determination of a population of microorganisms on products
45. ISO/ASTM 51538:2009 - Practice for use of the ethanol-chlorobenzene dosimetry system, International Organization for Standardization
46. ISO/ASTM 51538:2017 - Standard practice for use of the ethanol-chlorobenzene dosimetry system, European committee for standardization
47. Jahić, M. (1990) Priprema vode za piće, Univerzitet u Novom Sadu, Poljorivredni fakultet, Novi Sad
48. Jan, S., Kamili, A.N., Parween, T., Hami, R., Parray, J.A., Siddiqi, T.O., Ahmad, M.P. (2015) Feasibility of radiation technology for wastewater Treatment, Desalin, *Water Treat.* 55, 2053–2068.
49. Janžekovic, H. (2017) Overview of Radiation Accidents at Industrial Accelerator Facilities. In Proceedings of the 26th International Conference on Nuclear Energy for New Europe, NENE, Bled, Slovenia, 7.
50. Kamen, Martin D. (1963) Early History of Carbon-14: Discovery of this supremely important tracer was expected in the physical sense but not in the chemical sense, *Science* 140 (3567), 584–90.
51. Kashyap, S., Datta, D. (2017) Reusing industrial lime sludge waste as a filler in polymeric composites, *Materials Today, Proceedings*, 4(2), 2946–2955. doi:10.1016/j.matpr.2017.02.176
52. Kovács, A., Miller, A. (1986) Electron dose determination by ethanol-monochlorobenzene dosimeter, *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation, Part C, Radiation Physics and Chemistry* 28(5–6), 531–533. doi: 10.1016/1359-0197(86)90183-9
53. 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), 1211–1215. doi:10.1016/0969-806x(95)00357-4
54. 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, 701–709.

55. Kumari, S., Kumar, R. N. (2020) RIVER water treatment using electrocoagulation for removal of acetaminophen and natural organic matter, *Chemosphere*, 128571. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.128571
56. L'Annunziata, M. (2007) *Radioactivity*, Elsevier Inc.
57. L'Annunziata, M. (2012) *Handbook of Radioactivity Analysis*, Elsevier Inc.
58. Lee, K.-C., Choo, K.-H. (2013) Hybridization of TiO<sub>2</sub> photocatalysis with coagulation and flocculation for 1,4-dioxane removal in drinking water treatment, *Chemical Engineering Journal* 231, 227–235. doi:10.1016/j.cej.2013.07.023
59. 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.* 295, 201–208.
60. Li, J., He, J., Li, Y., Liu, Y., Li, W., Wu, N., Niu, Z. (2019) Assessing the threats of organophosphate esters (flame retardants and plasticizers) to drinking water safety based on USEPA oral reference dose (RfD) and oral cancer slope factor (SFO), *Water Research*, doi:10.1016/j.watres.2019.01.035
61. Lim, S., Jeon, W., Lee, J., Lee, K., Kim, N. (2002) Engineering properties of water/wastewater-treatment sludge modified by hydrated lime, fly ash and loess, *Water Research* 36(17), 4177–4184. doi:10.1016/s0043-1354(02)00150-1
62. Lim, S.J.; Kim, T.H. (2015) Combined treatment of swine wastewater by electron beam irradiation and ion-exchange biological reactor system, *Sep. Purif. Technol.* 146, 42–49.
63. Little, J. (2003) *Principal Cellular and Tissue Effects of Radiation*, Holland-Frei Cancer Medicine, 6th edition
64. Liu, C., Qiang, Z., Tian, F., Zhang, T. (2009) Photodegradation of etridiazole by UV radiation during drinking water treatment, *Chemosphere* 76(5), 609–615. doi:10.1016/j.chemosphere.2009.04.052
65. Liu, J.Y., Sun, S.Y. (2013) Total concentrations and different fractions of heavy metals in sewage sludge from Guangzhou, China, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 23, 2397–2407.
66. Liu, T., Ding, E., Xue, F. (2017) Polyacrylamide and poly (N, N - dimethylacrylamide) grafted cellulose nanocrystals as efficient flocculants for

- kaolin suspension, *International Journal of Biological Macromolecules* 103, 1107–1112. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.05.098
67. Long, Y., You, X., Chen, Y., Hong, H., Liao, B.-Q., Lin, H. (2019) Filtration behaviors and fouling mechanisms of ultrafiltration process with polyacrylamide flocculation for water treatment, *Science of The Total Environment*, 135540. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.135540
68. Luklema, L. (1969) Factors affecting pH change in alkaline waste water treatment – I, *Water Research* 3(12), 913–930. doi:10.1016/0043-1354(69)90075-x
69. 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, *Anal. Lett.* 45, 2493-2507.
70. Ma, J., Wang, R., Wang, X., Zhang, H., Zhu, B., Lian, L., Lou, D. (2019) Drinking water treatment by stepwise flocculation using polysilicate aluminum magnesium and cationic polyacrylamide, *Journal of Environmental Chemical Engineering* 103049. doi:10.1016/j.jece.2019.103049
71. Majer, M., Roguljić, M., Knežević, Ž., Starodumov, A., Ferenček, D., Brigljević, V., Mihaljević, B. (2019) Dose mapping of the panoramic <sup>60</sup>Co gamma irradiation facility at the Ruđer Bošković Institute – Geant 4 simulation and measurements, *Applied Radiation and Isotopes* 108824, doi:10.1016/j.apradiso.2019.108824
72. Markel, H. (2010), How 'X-Ray' Got Its 'X', *Science Diction*
73. Mastovska, K., Lahotay, S. (2006) Rapid Sample Preparation Method for LC–MS/MS or GC–MS Analysis of Acrylamide in Various Food Matrices, *J. Agric. Food Chem.* 54, 7001–7008. doi: 10.1021/jf061330r
74. Meibodi, M.E., Parsaeian, M.R., Amraei, R., Banaei, M., Anvari, F., Tahami, S.M.R., Vakhshoor, B., Mehdizadeh, A., FallahNejad, N., Shirmardi, S.P. et al. (2016) An experimental investigation of wastewater treatment using electron beam irradiation, *Radiat. Phys. Chem.* 125, 82–87.
75. Meng, M., Pellizzari, F., Boukari, S.O.B., Leitner, N.K.V., Teychene, B. (2014) Impact of e-beam irradiation of municipal secondary effluent on MF and RO membranes performances, *J. Membr. Sci.* 471, 1–8.
76. 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
77. Moran, S. (2018) An Applied Guide to Water and Effluent Treatment Plant Design, Elsevier Inc. doi: 10.1016/C2016-0-01092-6
  78. 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
  79. Nguyen, L.N., Labeeuw, L., Commault, A.S., Emmerton, B., Ralph, P. J., Johir, M.A.H., Nghiem, L.D. (2019) Validation of a cationic polyacrylamide flocculant for the harvesting fresh and seawater microalgal biomass, *Environmental Technology & Innovation* 16, 100466. doi:10.1016/j.eti.2019.100466
  80. Ortiz, P., Oresgun, M., Weatley, J., (2000) Lessons from Major Radiation Accidents, In Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Congress of the International Radiation Protection Association - IRPA 10, Hiroshima, Japan
  81. Papageorgiou, A., Voutsas, D., Papadakis, N. (2014) Occurrence and fate of ozonation by-products at a full-scale drinking water treatment plant, *Science of The Total Environment* 481, 392–400. doi:10.1016/j.scitotenv.2014.02.069
  82. Patent US3854875A. (1970) Plant for treating water, in particular sewage or sludge
  83. Patent US3846296A. (1971) Waste water purification system
  84. Pierce, J., Weiner, R., Veslind, P. (1998) Environmental Pollution and Control, Elsevier Inc.
  85. Pinholster, G. (2003) Evidence Shows that Cosmic Rays Come from Exploding Stars
  86. Plaček, V., Bartoníček, B., Hnát, V., Otáhal, B. (2003) Dose rate effects in radiation degradation of polymer-based cable materials, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 208, 448–453. doi:10.1016/s0168-583x(03)00626-8
  87. Popova, T., Marinova-Garvanska, S., Dobromirova Kaleva, M., Zaharinov, B., Gencheva, A., Dimitrov Baykov, B. (2014) Decontamination of sewage sludge by treatment with calcium oxide, *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 3(9), 184–192.

88. Povrenović, D., Pavićević, V. (2011) Tretman voda, Vodovodni i kanalizacioni sistemi, Udruženje za tehnologiju vode i sanitarno inženjerstvo, Beograd, 39–66.
89. Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Sl. glasnik RS, br. 28/2019
90. Provči, D. (2010) diplomski rad, Analiza različitih sistema za prečišćavanje bazenskih voda na bazi tehničkih i tehno-ekonomskih kriterijuma, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd
91. 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*, doi:10.1515/ract-2015-2566
92. Quach-Cu, J., Herrera-Lynch, B., Marciniak, C., Adams, S., Simmerman, A., Reinke, R.A. (2018) The Effect of Primary, Secondary, and Tertiary Wastewater Treatment Processes on Antibiotic Resistance Gene (ARG) Concentrations in Solid and Dissolved Wastewater Fractions, *Water* 10, 37. [CrossRef]
93. Ramirez, T., Armas, M., Uzcategui, M. (2008) Effect of accelerated electron beam on pesticides removal of effluents from flower plantations, In Radiation Treatment of Polluted Water and Wastewater; IAEA TECDOC-1598; IAEA: Vienna, Austria, 43–58.
94. Ranković B., Nikolić N., Mašić S., Vujčić I., (2020) Dose mapping of products with different density irradiated in Co-60 irradiation facility of the Vinca institute, Serbia, *Nuclear Technology and Radiation Protection* 35(1), 56-63.
95. Ranković, B., Ristić-Gajić, V., Mašić, S., Pavićević, V., Vujčić, I. (2021) Possibility of using sludge from water treatment plant treated with ionizing radiation as fertilizer in agriculture: Effects of aging of treated waste sludge, *Applied Radiation and Isotopes*, submitted
96. Ranković, B., Sagatova, A., Vujčić, I., Mašić, S., Veljović, Đ., Pavićević, V., Kamberović, Ž. (2020) Utilization of gamma and e-beam irradiation in the treatment of waste sludge from a drinking water treatment plant, *Radiation Physics and Chemistry* 109174. doi:10.1016/j.radphyschem.2020.109174
97. Rathod, P.H., Patel, J.C., Shah, M.R., Jhala, A.J. (2009) Recycling gamma irradiated sewage sludge as fertilizer, A case study using onion (*Alium cepa*), *Applied Soil Ecology* 41(2), 223–233. doi:10.1016/j.apsoil.2008.11.001

98. Rawat, K.P., Sharma, A., Rao, S.M. (1998) Microbiological and physicochemical analysis of radiation disinfected municipal sewage, *Water Research* 32(3), 737–740. doi:10.1016/s0043-1354(97)00220-0
99. Ražem D, Očić, G., Jamičić, J., Dvornik, I. (1981) Application of the ethanol-chlorobenzene dosimeter to electron beam and  $\gamma$ -radiation—IV. Spectrophotometry of coloured secondary complexes, *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes* 32(10), 705–711.
100. Ražem, D., Dvornik, I. (1980) Scavenging of electrons prior to thermalization in ethanol, *J. Phys. Chem* 84, 3577–3581.
101. Ražem, D., Dvornik, I. (1973) Applications of the ethanol-chlorobenzene dosimeter to electron-beam and gamma-radiation dosimetry: II cobalt-60 gamma rays, *Agriculture, Industry, Biology and Medicine*, IAEA, Vienna, 405–419.
102. Rela, P.R., Sampa, M.H.O., Duarte, C.L., Costa, F.E.D., Rela, C.S., Borrely, S.I., Mori, M.N., Somessari, E.S.R., Silveira, C.G. (2008) The status of radiation process to treat industrial effluents in Brazil, *Radiation Treatment of Polluted Water and Wastewater*; IAEA TECDOC-1598; IAEA, Vienna, 27–41.
103. Robert, N. (1997) *Squire's Fundamentals of Radiology*, Harvard University Press. 5th edition
104. Roobottom, C., Mitchell, G., Morgan-Hughes, G. (2010) Radiation-reduction strategies in cardiac computed tomographic angiography. *Clin. Radiol.* 65(11), 859–67.
105. Rutherford, E., Royds T. (1908) Spectrum of the radium emanation, *Philosophical Magazine* 6 (16), 313–317.
106. Seguchi, T., Arakawa, K., Hayakawa, N., Machi, S. (1981) Radiation induced oxidative degradation of polymers – IV, Dose rate effects on chemical and mechanical properties, *Radiation Physics and Chemistry* 18(3–4), 671–678. doi:10.1016/0146-5724(81)90190-4
107. Shamos, M., (1959) *Great Experiments in Physics*, Dover
108. Sharma, S. (2008) *Atomic And Nuclear Physics*. Pearson Education India, 478.
109. Shon, H., Vigneswaran, S., Snyder, S. (2006) Effluent organic matter (EfOM) in wastewater: Constituents, effects, and treatment, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 36, 327–374. [CrossRef]

- 110.Swinwood, J.F., Waite, T.D., Kruger, P., Rao, S.M. (1992) Radiation technologies for waste treatment, A global perspective, Radiation Treatment of Water, Wastewater and Sludge, Task Committee on Radiation Energy Treatment, American Society of Civil Engineers, New York, IAEA BULLETIN, 1/1994
- 111.Talvy, S., Debaste, F., Martinelli, L., Chauveheid, E., & Haut, B. (2011) Development of a tool, using CFD, for the assessment of the disinfection process by ozonation in industrial scale drinking water treatment plants, *Chemical Engineering Science* 66(14), 3185–3194. doi:10.1016/j.ces.2011.02.039
- 112.Tarleton, E.S., Wakeman, R.J. (2007) Solid/Liquid Separation, Equipment Selection and Process Design, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/B978-1-85617-421-3.X5000-7
- 113.Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf and Eddy, Wakefield, UK
- 114.Tessier, A., Campbell, P.G.C., Bisson, M. (1979) Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals, *Anal. Chem.* 51, 844–851.
- 115.Tölgyessy, J., Harangozó, M. (2005) Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition). Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering, 8–15.
- 116.UNESCAP (2015) Policy Guidance Manual on Wastewater Management, with a Special Emphasis on Decentralized Wastewater Treatment Systems, Bangkok, Thailand
- 117.UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) (2000)
- 118.UNSCEAR Report (2019) Sources, effects and risks of ionizing radiation
- 119.Vandermaesen, J., Horemans, B., Degryse, J., Boonen, J., Walravens, E., Springael, D. (2019) The pesticide mineralization capacity in sand filter units of drinking water treatment plants (DWTP), Consistency in time and relationship with intake water and sand filter characteristics, *Chemosphere* 228, 427–436. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.04.033
- 120.Vandermaesen, J., Lievens, B., Springael, D. (2017) Isolation and identification of culturable bacteria, capable of heterotrophic growth, from rapid sand filters of

- drinking water treatment plants, *Research in Microbiology* 168(6), 594–607. doi:10.1016/j.resmic.2017.03.008
121. Von Sonntag, C., Bothe, E., Ulanski, P., Adhikary, A. (1999) Radical transfer reactions in polymers, *Radiation Physics and Chemistry* 55(5-6), 599–603. doi:10.1016/s0969-806x(99)00254-6
122. 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(4), 363–368. doi: 10.2298/NTRP180316004V
123. Wang, J., Chon, K., Ren, X., Kou, Y., Chae, K.-J., Piao, Y. (2019) Effects of beneficial microorganisms on nutrient removal and excess sludge production in an anaerobic - anoxic/oxic (A2O) process for municipal wastewater treatment, *Bioresource Technology*, doi:10.1016/j.biortech.2019.02.047
124. Wang, J., Wang, J. (2007) Application of radiation technology to sewage sludge processing, A review, *Journal of Hazardous Materials*, 143(1–2), 2–7. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.01.027
125. Wei, X., Tao, J., Li, M., Zhu, B., Li, X., Ma, Z., Qi, X. (2017) Polyacrylamide-based inorganic hybrid flocculants with self-degradable property, *Materials, Chemistry and Physics* 192, 72–77. doi:10.1016/j.matchemphys.2017.01.064
126. Wojnarovits, L.; Takacs, E. (2008) Irradiation treatment of azo dye containing wastewater, An overview, *Radiation Physics and Chemistry* 77, 225–244.
127. Wu, X., Takami, T., Somekawa, K., Nishio, S. (2005) Gamma Ray-induced Reduction and Removal of Heavy Metal Ions in Aqueous Solutions, *Radioisotopes* 54, 179–184.
128. Yin, Y., Wang, J. (2015) Biohydrogen production using waste activated sludge disintegrated by gamma irradiation, *Applied Energy* 155, 434–439.
129. Zakon o zabrani izgradnje nuklearnih elektrana u Saveznoj Republici Jugoslaviji, Sl. list SRJ, br. 12/95 i Sl. Glasnik RS, br. 85/2005
130. Zeng, F., Cao, S., Jin, W., Zhou, X., Ding, W., Tu, R., Ding, F. (2020) Inactivation of chlorine-resistant bacterial spores in drinking water using UV irradiation, UV/Hydrogen peroxide and UV/Peroxymonosulfate, Efficiency and mechanism, *Journal of Cleaner Production* 243, 118666. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118666

- 131.Zhang, S., Zheng, H., Tang, X., Zhao, C., Zheng, C., Gao, B. (2019) Sterilization by flocculants in drinking water treatment, *Chemical Engineering Journal* 122961. doi:10.1016/j.cej.2019.122961
- 132.Zyzak, D. V., Sanders, R. A., Stojanovic, M., Tallmadge, D. H., Eberhart, B. L., Ewald, D. K., Villagran, M. D. (2003) Acrylamide Formation Mechanism in Heated Foods, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(16), 4782–4787. doi:10.1021/jf034180i

# **PRILOG**

<b>Tabela 1</b>			
<b>MIKROBIOLOŠKI POKAZATELJI PO VRSTAMA LABORATORIJSKIH PREGLEDA</b>			
Osnovni (A)	Periodični (B)	Novi zahvati vode (V)	Higij. epidem. indikac. (G)
1. Ukupne koliformne bakterije	1. Ukupne koliformne bakterije	1. Ukupne koliformne bakterije	1. Ukupne koliformne bakter.
2. Koli. bak. fekal. porek.	2. Kolif. bakt. fekal. porekla	2. Kolif. bakt. fekal. porekla	2. Kolif. bakt. fekalnog porek.
3. Ukup. broj aerobnih mezofilnih bakterija	3. Ukup. broj aerobnih mezofilnih bakterija	3. Ukup. broj aerobnih mezofilnih bakterija	3. Ukupan. broj aerobnih mezofilnih bakterija
4. Streptokoke fekalnog porekla	4. Streptokoke fekalnog porekla	4. Streptokoke fekalnog porekla	4. Streptokoke fekalnog porekla
5. Sulfitoredujuće klostridije	5. Sulfitoredujuće klostridije	5. Sulfitoredujuće klostridije	5. Sulfitoredujuće klostridije
6. Proteus-vrste	6. Proteus-vrste	6. Proteus-vrste	6. Proteus-vrste
7. Pseudomonas aeruginosa	7. Pseudomonas aeruginosa	7. Pseudomonas aeruginosa	7. Pseudomonas aeruginosa
	8. Enterovirusi <sup>1</sup>	8. Enterovirusi <sup>3</sup>	8. Patogeni mikroorganizmi prema higijensko-epidemiol. indikacijama
	9. Bakteriofagi <sup>1</sup>	9. Feruginoze <sup>2</sup>	9. Enterovirusi <sup>1</sup>
	10. Crevne protozoe i helminti i njihovi razvojni oblici	10. Bakteriofagi <sup>3</sup>	-
		11. Crevne protozoe <sup>3</sup> i helminti i njihovi razvojni oblici	

1) Samo iz površinskih voda, prema higijensko-epidemiološkim indikacijama.  
2) Kvalitativno, ako u vodi ima gvožđa i mangana iznad MDK.  
3) Iz površinskih voda, voda izdani i karstnih vrela.

<b>Tabela 2</b>			
<b>BIOLOŠKI POKAZATELJI PO VRSTAMA LABORATORIJSKIH PREGLEDA</b>			
Osnovni (A)	Periodični (B)	Novi zahvati vode (V)	Higijensko epidemiološke indikacije (G)
-	biološki indikatori	biološki indikatori	biološki indikatori
	- alge, zooplankton i dr. organizmi	- alge, zooplankton i dr. organizmi	- alge, zooplankton i dr. organizmi

\* Samo iz površinskih voda.



**Tabela 3**

**FIZIČKI, FIZIČKO-HEMIJSKI, HEMIJSKI I RADIOLOŠKI POKAZATELJI PO VRSTAMA  
LABORATORIJSKOG PREGLEDA**

Osnovni (A)	Periodični (B)	Novi zahvati vode <sup>4</sup> (V)	Higijensko epidemiološke indikacije (G)
Temperatura	Temperatura	Temperatura	Temperatura
Boja	Boja	Boja	Boja
Miris	Miris	Miris	Miris
Ukus	Ukus	Ukus	
Mutnoća	Mutnoća	Mutnoća	Mutnoća
		Tvrdoća	
pH	pH	pH	pH
Utroš. KMnO <sub>4</sub>	Utroš. KMnO <sub>4</sub>	Utroš. KMnO <sub>4</sub>	Utroš. KMnO <sub>4</sub>
	Ostat. ispar.	Ostat. ispar.	Ostat. ispar.
	Elektr. prov.	Elektr. prov.	Elektr. prov.
Amonijak	Amonijak	Amonijak	Amonijak
Rezidua dez. sredstva	Rezidua dez. sredstva	Rezidua dez. sredstva	Rezidua dez. sredstva
Hloridi	Hloridi	Hloridi	Hloridi
Nitriti	Nitrati	Nitrati	Nitrati
Nitrati	Deterdženti <sup>1</sup> (anjonski i katjonski)	Deterdžent (anjonski i katjonski)	Ostali pokazatelji prema higijensko-epidemiološ. indikacijama
Fluoridi <sup>2</sup>	Nitriti	Nitriti	
Ostat. ispar.	Gvožđe	Gvožđe	
Elektr. prov.	Mangan	Mangan	
Gvožđe <sup>3</sup>	Fenoli <sup>1</sup>	Fenoli	
Mangan <sup>3</sup>	Fluoridi	Fluoridi	
	Sredstva za koagulaciju i flokulaciju	Olovo	
Specifične materije koje se očekuju		Sulfati	
		Aluminijum	
		Bakar	
	Dezinfekciona sredstva i sporedni proizvodi dezinfekcije	Cijanidi	
		Cink	



		Ugljen dioksid	
		Ortofosfati	
	Mineralna ulja % saturacije kiseonikom	Hrom (ukupni)	
		Kadmijum % saturacije kiseonikom	
		Nikl	
	Specifične materije koje se očekuju	Selen	
		Natrijum	
		Kalijum	
		Kalcijum	
		Magnezijum	
		Pesticidi	
		Policiklični aromatični ugljovodonici PCB, PCT	
		Arsen	
		Sporedni proizvodi dezinfekcije	
		Živa	
		Ukupni organski ugljenik	
		Ukupna alfa-aktivnost	
		Aromatični ugljovodonici	
		Mineralna ulja	
		Ulja i masti	
		Alkalitet	
		Tvrdoća (ukupna)	
		Ukupna beta-aktivnost	
		Specifične materije koje se očekuju	

1. Iz površinskih voda, voda izdani i karstnih vrela.
2. U vodovodima u kojima se fluoridiše voda.
3. Gvožđe i mangan određuje se kod vodovoda koji su u prethodnoj godini imali više od 5% uzoraka vode sa vrednostima iznad maksimalno dozvoljene koncentracije.
4. Najmanje jedan pregled na 3 godine ili ukoliko ukazuju higijensko-epidemiološke indikacije.

**GRADSKI ZAVOD ZA JAVNO ZDRAVLJE BEOGRAD**

Centar za higijenu i humanu ekologiju  
Laboratorija za humanu ekologiju i ekotoksikologiju  
Centar za ekotoksikologiju  
Jedinica za upravljanje otpadima  
Beograd, Bulevar despota Stefana 54a  
Fax: 011/20 78 612  
Tel: 011/20 78 600  
E-mail: [zoran.sekulic@zdravlje.org.rs](mailto:zoran.sekulic@zdravlje.org.rs)

Ovlašćenje za ispitivanje otpada  
19-00-00660/2013-05, 25.04.2014.  
Sl. glasnik RS br.43/2014

 ATC 01-036 АКРЕДИТОВАНА ЛАБОРАТОРИЈА ЗА ИСПИТИВАЊЕ SRPS ISO/IEC 17025:2006	<b>IZVEŠTAJ O ISPITIVANJU OTPADA</b>	
<b>TRETMAN OTPADA</b>		Broj: II – 8: 3793/4 Datum: 26.08.2014.

*Podaci o podnosiocu zahteva:*

Naziv podnosioca zahteva:

**Javno komunalno preduzeće „Beogradski vodovod i kanalizacija“**

Adresa:

11000 Beograd  
Kneza Miloša 27

Lice za kontakt:

G-đa Verica Lazarević  
G-din Milan Stamenić

Tel:

011/3-606-606

Faks:

011/30-52-923

e-mail:

[milan.stamenic@bvk.rs](mailto:milan.stamenic@bvk.rs)**A. Opšti podaci:**

1.	Naziv otpada: Potencijalni otpad: sediment iz taložnice – lokacije 1 do 6
2.	Proizvođač otpada: Javno komunalno preduzeće „Beogradski vodovod i kanalizacija“ 11000 Beograd Kneza Miloša 27
3.	Vlasnik otpada: Javno komunalno preduzeće „Beogradski vodovod i kanalizacija“ 11000 Beograd Kneza Miloša 27
4.	Opis postupka nastanka otpada: Taloženjem iz vode od pranja filtera sa pogona MAKIŠ kao i taloženjem iz savske vode koja se pumponom stanicom prebacuje u taložnicu nastaje talog potencijalnog otpada.
5.	Identifikacioni broj uzoraka otpada: 14-11-0404, 14-11-0405, 14-11-0406, 14-11-0407, 14-11-0408 i 14-11-0409
6.	Količina otpada od koje je izvršeno uzorkovanje: 250 000 m <sup>3</sup>

7.	Fizičko svojstvo otpada: 1. prah 2. čvrsta materija 3. viskozna materija 4. pasta 5. mulj X 6. tečna materija 7. gasovita materija 8. ostalo (precizirati)
----	--

<b>B. Klasifikacija otpada</b>	
1.	Kategorija otpada prema Listi kategorija otpada (Q lista): <b>Q9</b>
2.	Indeksni broj otpada prema Katalogu otpada: <b>190812 190899</b>
3.	Karakter otpada: <b>neopasan / neinertan</b>
4.	Y oznaka prema Listi kategorija ili srodnih tipova opasnog otpada prema njihovoj prirodi ili aktivnosti kojom se stvaraju (Y lista):
5.	C oznaka prema Listi komponenti otpada koje ga čine opasnim (C lista):
6.	H oznaka prema Listi karakteristika otpada koje ga čine opasnim (H lista):
7.	<p>Napomena:  <b>Otpad se ne može odlagati na deponiju, bez prethodnog tretmana (dehidracija , termička dehidracija i sl.)</b></p> <p>Otpad nije opasan, ali nije ni inertan prema Council Decision of 19 December 2002., establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC, 2003/33/EC.</p> <p>Obzirom da je otpad neinertan, potrebno je vršiti Prema Uredbi o odlaganju otpada na deponije (Sl. Glasnik RS 92/2010) <u>proveru usaglašenosti 1 put godišnje</u>.  <b>Ključni parametri za proveru usklađenosti su: ukupan organski ugljenik u čvrstom stanju, rastvorni organski ugljenik, gubitak žarenjem i Arsen.</b></p> <p><b>Predmetni otpad se može tretirati i postupkom solidifikacije.</b></p>

<b>Podaci o uzorku 14-11-0404</b>	
Naziv otpada: Potencijalni otpad: sediment iz taložnice – lokacija 1	
Lokacija sa koje je uzet uzorak: Taložnica Savskog jezera GPS koordinate N 44°46'26.4" - EO 20°21'55.5", visina 83m, tačnost 7m	
Identifikacioni broj uzorka: 14-11-0404	
Uzorkovanje izvršio: Darko Janković, viši sanitarni tehničar Vlada Karamata, viši sanitarni tehničar	Datum i vreme: 06.08.2014. 10:45h
Način i metoda uzorkovanja: prema standardu: prema standardu SRPS CEN TR/15310-2:2009 i internom uputstvu za uzorkovanje Gradskog zavoda za javno zdravlje iz Beograda UZ 011	
Datum i vreme prijema uzorka na ispitivanje: 07.08.2014.	
Ostali podaci o uzorku (ako je relevantno):	
<p>Napomena:  Sastavni deo ovog izveštaja je izveštaj Instituta za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorije za hemijsku dinamiku i permanentno obrazovanje (Lab.060), Izveštaj o ispitivanju br.S14/446</p> <p>Sastavni deo ovog izveštaja je fotodokumentacija, vezana za uzorkovanje predmetnog otpada izrađena na CD-u.</p>	

C. Rezultati fizičko – hemijskih, hemijskih i bioloških ispitivanja otpada

**SENZORNA SVOJSTVA**  
 Neporemećen uzorak sedimenta. Mulj koji je zahvaćen Correr uzorkivačem dubine oko 1m. Sive boje specifičnog mirisa.

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Procenat vlage (%)	57,43	-	EN 14346:2006
Procenat čvrste materije (%)	42,57	-	EN 14346:2006
Organska materija (gubitak žarenjem) %	7,34	10(10 <sup>2</sup> )	SRPS EN 15169:2010

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Sadržaj metala u mg/kg*</b>			priprema EPA 3050B
Olovo Pb	55,2	1000 (10000)**	VDM 0250
Kadmijum Cd	1,3	60(5000)**	VDM 0250
Cink Zn	148,0	5000-1 000 000	VDM 0250
Bakar Cu	53,1	70000	VDM 0250
Nikl Ni	101,0	3000	VDM 0250
Hrom ukupni Cr	64,9	2500-1 000 000	VDM 0250
Živa Hg	0,33	7 (20)**	VDM 0250
Arsen As	16,5	50(5000)**	VDM 0250
Barijum Ba	1,02	100000	VDM 0250
Antimon Sb	2,5	700	VDM 0250
Selen Se	<4,0	40	VDM 0250
Molibden Mo	<0,3	9000	VDM 0250
Vanadijum V	30,2	2000	VDM 0250
Mangan Mn	999,0		VDM 0250
Berilijum Be	0,67	30	VDM 0250
Aluminijum Al	18400		VDM 0250
Kobalt Co	20,1		VDM 0250
Kalaj Sn	<0,2		VDM 0250
Gvožđe Fe	28600		VDM 0250
Kalcijum Ca	66800		VDM 0250
Magnezijum Mg	12400		VDM 0250

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Policiklični aromatični ugljovodoniци mg/kg*</b>			<b>EN15527:2007</b>
Naftalen	0,060	10	EN15527:2007
Acenaftilen	<0,010	10	EN15527:2007
Acenaften	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoren	<0,010	10	EN15527:2007
Fenantren	0,036	10	EN15527:2007
Antracen	0,014	10	EN15527:2007
Fluoranten	0,104	10	EN15527:2007
Piren	0,088	10	EN15527:2007
Benzo(a)antracen	0,042	10	EN15527:2007
Krizen	0,056	10	EN15527:2007
Benzo(b)fluoranten	0,054	10	EN15527:2007
Benzo(k)fluoranten	0,028	10	EN15527:2007
Benzo(a)piren	0,040	10	EN15527:2007

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Indeno(c,d)piren	0,032	10	EN15527:2007
Dibenzo(a,h)antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(g,h,i)perilen	0,030	10	EN15527:2007
<b>UKUPNI PAH</b>	<b>0,584</b>	<b>(100)** (100<sup>3</sup>)</b>	<b>EN15527:2007</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
PCB 28 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 52 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 101 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 118 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 138 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 153 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 180 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB sum (mg/kg)*	<0,010	50 (100)**(1 <sup>3</sup> )	SRPS EN 15308:2010
<b>Ukupni ugljovodonici u sadržaju (C10-C40) (GC-FID)* (mg/kg)</b>	<b>80,45</b>	<b>(20 g/kg)** (500mg/kg)<sup>3</sup></b>	<b>EN 14039:2004</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Lako isparljiva organska jedinjenja mg/kg*:</b>			
Benzol	<0,010	(Ukupno BTEX	VDM 0222
Toluen	<0,010	500)**	VDM 0222
m,p Ksilol	<0,010		VDM 0222
o-ksilol	<0,010		VDM 0222
Etilbenzol	<0,010		VDM 0222
<b>UKUPNI BTEX</b>	<b>&lt;0,010</b>		<b>VDM 0222</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Trihalometani mg/kg*</b>			
Hloroform	<0,010		VDM 0222
Dihlorbrom metan	<0,010		
Dibromhlor metan	<0,010		
Bromoform	<0,010		

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Organohlorni pesticidi mg/kg*</b>			
Lindan	<0,010	50	VDM 0107
Aldrin	<0,010	50	VDM 0107
Dieldrin	<0,010	50	VDM 0107
Endrin	<0,010	50	VDM 0107
Heptahlorepoxid	<0,010	50	VDM 0107
Hlordan	<0,010	50	VDM 0107
Heksahlorbenzen	<0,010	50	VDM 0107
Metoksihlor	<0,010	50	VDM 0107
DDT(DDE+DDD)	<0,010	50	VDM 0107

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
-----------	-----------------	---------------------	---------------

Ukupan organski ugljenik u čvrstom stanju (TOC) u %*	1,0% (10,31 mg/g)	5% <sup>1</sup> ,6% <sup>2</sup> ,3% <sup>3</sup>	SRPS EN 13137:2005
Ukupan sumpor TS u %*	<0,19% (<1,9 mg/g)	5% <sup>a)</sup>	VDM 0182
<b>Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*</b>			<b>SRPS EN 12457-4:2008</b>
Olovo Pb	<0,01	100 <sup>**</sup> (10 <sup>1</sup> ) (50 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Kadmijum Cd	<0,002	5 <sup>**</sup> (1 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,04 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Cink Zn	<0,05	1000 <sup>**</sup> (50 <sup>1</sup> ) (200 <sup>2</sup> ) (4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Bakar Cu	0,08	100 <sup>**</sup> (50 <sup>1</sup> ) (100 <sup>2</sup> ) (2 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Niki Ni	<0,01	500 <sup>**</sup> (10 <sup>1</sup> ) (40 <sup>2</sup> ) (0,4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Hrom ukupni Cr	<0,5	300 <sup>**</sup> (10 <sup>1</sup> ) (70 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Živa Hg	<0,005	0,5 <sup>**</sup> (0,2 <sup>1</sup> ) (2 <sup>2</sup> ) (0,01 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5+EPA 245.1
Arsen As	0,041	50 <sup>**</sup> (2 <sup>1</sup> ) (25 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Barijum Ba	0,42	500 <sup>**</sup> (100 <sup>1</sup> ) (300 <sup>2</sup> ) (20 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Antimon Sb	0,121	50 <sup>**</sup> (0,7 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,06 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Selen Se	<0,01	50 <sup>**</sup> (0,5 <sup>1</sup> ) (7 <sup>2</sup> ) (0,1 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Molibden Mo	0,05	-(10 <sup>1</sup> ) (30 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*</b>			<b>SRPS EN 12457-4:2008</b>
pH vrednost	7,79	6-13 <sup>**</sup>	ISO 10523:2008
Ostatak isparenja na 105°C	1650	100000 <sup>**</sup> (60000 <sup>1</sup> ) (100000 <sup>2</sup> ) (4000 <sup>3</sup> )	EN15216:2007
Hloridi (Cl <sup>-</sup> )	30,0	(15000 <sup>1</sup> ) (25000 <sup>2</sup> ) (800 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 9297-1:2007
Sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	176,0	(20000 <sup>1</sup> ) (50000 <sup>2</sup> ) (1000 <sup>3</sup> )	EPA 375.4
Indeks fenola	<0,01	1000 <sup>**</sup> (1 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 6439:1997
Rastvoran organski ugljenik ( DOC )	108,0	(800 <sup>1</sup> ) (1000 <sup>2</sup> ) (500 <sup>3</sup> ) toleriše se do 2500	SRPS ISO 8245:2007
Amonijak (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	37,5	10000 <sup>**</sup>	SRPS EN ISO 14911:2007
Nitrati (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	6,0	-	EPA 300,1
Nitriti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,03	1000 <sup>**</sup>	EPA 300,1
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	3,2	500 <sup>**</sup> (150 <sup>1</sup> ) (500 <sup>2</sup> ) (10 <sup>3</sup> )	EPA 300,1

<b>Podaci o uzorku 14-11-0405</b>	
Naziv otpada: Potencijalni otpad: sediment iz taložnice – lokacija 2	
Lokacija sa koje je uzet uzorak:Taložnica Savskog jezera GPS koordinate N 44°46'36.3" - EO 20°22'18.3", visina 83m, tačnost 4m	
Identifikacioni broj uzorka: 14-11-0405	
Uzorkovanje izvršio: Darko Janković, viši sanitarni tehničar Vlada Karamata, viši sanitarni tehničar	Datum i vreme: 06.08.2014. 11:10h
Način i metoda uzorkovanja: prema standardu: prema standardu SRPS CEN TR/15310-2:2009 internom uputstvu za uzorkovanje Gradskog zavoda za javno zdravlje iz Beograda UZ 011	
Datum i vreme prijema uzorka na ispitivanje: 07.08.2014.	
Ostali podaci o uzorku (ako je relevantno):	

Napomena:

Sastavni deo ovog izveštaja je izveštaj Instituta za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorije za hemijsku dinamiku i permanentno obrazovanje (Lab.060), Izveštaj o ispitivanju br.S14/447

Sastavni deo ovog izveštaja je fotodokumentacija, vezana za uzorkovanje predmetnog otpada izrađena na CD-u.

### C. Rezultati fizičko – hemijskih, hemijskih i bioloških ispitivanja otpada

#### SENZORNA SVOJSTVA

Neporemećen uzorak sedimenta. Mulj koji je zahvaćen Correr uzorkivačem dubine oko 1m. Sive boje, bez specifičnog mirisa.

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Procenat vlage (%)	73,94	-	EN 14346:2006
Procenat čvrste materije (%)	23,06	-	EN 14346:2006
Organska materija (gubitak žarenjem) %	11,53	10(10 <sup>2</sup> )	SRPS EN 15169:2010

Sadržaj metala u mg/kg*	priprema EPA 305JB		
Olovo Pb	56,5	1000 (10000)**	VDM 0250
Kadmijum Cd	2,3	60(5000)**	VDM 0250
Cink Zn	271,0	5000-1 000 000	VDM 0250
Bakar Cu	298,0	70000	VDM 0250
Niki Ni	93,2	3000	VDM 0250
Hrom ukupni Cr	67,2	2500-1 000 000	VDM 0250
Živa Hg	0,3	7 (20)**	VDM 0250
Arsen As	32,2	50(5000)**	VDM 0250
Barijum Ba	123,0	100000	VDM 0250
Antimon Sb	2,0	700	VDM 0250
Selen Se	<4,0	40	VDM 0250
Molibden Mo	0,6	9000	VDM 0250
Vanadijum V	33,8	2000	VDM 0250
Mangan Mn	858,0		
Berilijum Be	0,94	30	VDM 0250
Aluminijum Al	43700		VDM 0250
Kobalt Co	17,1		VDM 0250
Kalaj Sn	<2,0		VDM 0250
Gvožđe Fe	28700		VDM 0250
Kalcijum Ca	61500		VDM 0250
Magnezijum Mg	9980		VDM 0250

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Policiklični aromatični ugljovodonici mg/kg* :</b>			<b>EN15527:2007</b>
Naftalen	<0,010	10	EN15527:2007
Acenaftilen	<0,010	10	EN15527:2007
Acenaften	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoren	<0,010	10	EN15527:2007
Fenantren	<0,010	10	EN15527:2007
Antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoranten	0,030	10	EN15527:2007
Piren	0,022	10	EN15527:2007



Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Benzo(a)antracen	0,022	10	EN15527:2007
Krizen	0,026	10	EN15527:2007
Benzo(b)fluoranten	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(k)fluoranten	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(a)piren	<0,010	10	EN15527:2007
Indeno(c,d)piren	<0,010	10	EN15527:2007
Dibenzo(a,h)antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(g,h,i)perilen	<0,010	10	EN15527:2007
<b>UKUPNI PAH</b>	<b>0,100</b>	<b>(100)** (100<sup>3</sup>)</b>	<b>EN15527:2007</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
PCB 28 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 52 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 101 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 118 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 138 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 153 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 180 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB sum (mg/kg)*	<0,010	50 (100)**(1 <sup>3</sup> )	SRPS EN 15308:2010
Ukupni ugljovodonici u sadržaju (C10-C40) (GC-FID)* (mg/kg)	146,7	(20.g/kg)** (500mg/kg) <sup>3</sup>	EN 14039:2004

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Lako isparljiva organska jedinjenja mg/kg*:</b>			
Benzol	<0,010	(Ukupno BTEX	VDM 0222
Toluen	<0,010	500)**	VDM 0222
m,p Ksilol	<0,010		VDM 0222
o-ksilol	<0,010		VDM 0222
Etilbenzol	<0,010		VDM 0222
<b>UKUPNI BTEX</b>	<b>&lt;0,010</b>		<b>VDM 0222</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Trihalometani mg/kg*</b>			
Hloroform	<0,010		VDM 0222
Dihlorbrom metan	<0,010		
Dibromhlor metan	<0,010		
Bromoform	<0,010		

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Organohlorni pesticidi mg/kg*</b>			
Lindan	<0,010	50	VDM 0107
Aldrin	<0,010	50	VDM 0107
Dieldrin	<0,010	50	VDM 0107
Endrin	<0,010	50	VDM 0107
Heptahlorepoxid	<0,010	50	VDM 0107
Hlordan	<0,010	50	VDM 0107
Heksahlorbenzen	<0,010	50	VDM 0107

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Metoksihlor	<0,010	50	VDM 0107
DDT(DDE+DDD)	<0,010	50	VDM 0107

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Ukupan organski ugljenik u čvrstom stanju (TOC) u %*	4,6% (45,59 mg/g)	5% <sup>1</sup> ,6% <sup>2</sup> ,3% <sup>3</sup>	SRPS EN 13137:2005
Ukupan sumpor TS u %*	<0,19% (<1,9 mg/g)	5% <sup>a</sup>	VDM 0182

Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*			SRPS EN 12457-4:2008
Olovo Pb	<0,01	100 <sup>**</sup> (10 <sup>1</sup> ) (50 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Kadmijum Cd	<0,002	5 <sup>**</sup> (1 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,04 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Cink Zn	<0,05	1000 <sup>**</sup> (50 <sup>1</sup> ) (200 <sup>2</sup> ) (4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Bakar Cu	0,1	100 <sup>**</sup> (50 <sup>1</sup> ) (100 <sup>2</sup> ) (2 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Niki Ni	<0,01	500 <sup>**</sup> (10 <sup>1</sup> ) (40 <sup>2</sup> ) (0,4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Hrom ukupni Cr	<0,05	300 <sup>**</sup> (10 <sup>1</sup> ) (70 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Živa Hg	<0,005	0,5 <sup>**</sup> (0,2 <sup>1</sup> ) (2 <sup>2</sup> ) (0,01 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5+EPA 245.1
Arsen As	0,058	50 <sup>**</sup> (2 <sup>1</sup> ) (25 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Barijum Ba	0,53	500 <sup>**</sup> (100 <sup>1</sup> ) (300 <sup>2</sup> ) (20 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Antimon Sb	0,080	50 <sup>**</sup> (0,7 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,06 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Selen Se	<0,01	50 <sup>**</sup> (0,5 <sup>1</sup> ) (7 <sup>2</sup> ) (0,1 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Molibden Mo	0,12	-(10 <sup>1</sup> ) (30 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*			SRPS EN 12457-4:2008
pH vrednost	7,80	6-13 <sup>**</sup>	ISO 10523:2008
Ostatak isparenja na 105°C	2200	100000 <sup>**</sup> (60000 <sup>1</sup> ) (100000 <sup>2</sup> ) (4000 <sup>3</sup> )	EN15216:2007
Hloridi (Cl <sup>-</sup> )	36,0	(15000 <sup>1</sup> ) (25000 <sup>2</sup> ) (800 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 9297-1:2007
Sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	266,0	(20000 <sup>1</sup> ) (50000 <sup>2</sup> ) (1000 <sup>3</sup> )	EPA 375.4
Indeks fenola	0,07	1000 <sup>**</sup> (1 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 6439:1997
Rastvoran organski ugljenik ( DOC )	140,6	(800 <sup>1</sup> ) (1000 <sup>2</sup> ) (500 <sup>3</sup> ) toleriše se do 2500	SRPS ISO 8245:2007
Amonijak (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	15,0	10000 <sup>**</sup>	SRPS EN ISO 14911:2007
Nitrati (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<5,0	-	EPA 300,1
Nitriti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	2,17	1000 <sup>**</sup>	EPA 300,1
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	2,30	500 <sup>**</sup> (150 <sup>1</sup> ) (500 <sup>2</sup> ) (10 <sup>3</sup> )	EPA 300,1

<b>Podaci o uzorku 14-11-0406</b>	
Naziv otpada: Potencijalni otpad: sediment iz taložnice – lokacija 3	
Lokacija sa koje je uzet uzorak: Taložnica Savskog jezera GPS koordinate N 44°46'31.0" - EO 20°22'16.9", visina 79m, tačnost 6m	
Identifikacioni broj uzorka: 14-11-0406	
Uzorkovanje izvršio: Darko Janković, viši sanitarni tehničar Vlada Karamata, viši sanitarni tehničar	Datum i vreme: 06.08.2014. 11:40h
Način i metoda uzorkovanja: prema standardu: prema standardu SRPS CEN TR/15310-2:2009 i internom uputstvu za uzorkovanje Gradskog zavoda za javno zdravlje iz Beograda UZ 011	
Datum i vreme prijema uzorka na ispitivanje: 07.08.2014.	
Ostali podaci o uzorku (ako je relevantno):	
Napomena: Sastavni deo ovog izveštaja je izveštaj Instituta za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorije za hemijsku dinamiku i permanentno obrazovanje (Lab.060), Izveštaj o ispitivanju br.S14/448  Sastavni deo ovog izveštaja je fotodokumentacija, vezana za uzorkovanje predmetnog otpada izrađena na CD-u.	

### C. Rezultati fizičko – hemijskih, hemijskih i bioloških ispitivanja otpada

<b>SENZORNA SVOJSTVA</b>
Neporemećen uzorak sedimenta. Mulj koji je zahvaćen Correr uzorkivačem dubine oko 1m. Sive boje specifičnog mirisa.

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Procenat vlage (%)	90,72	-	EN 14346:2006
Procenat čvrste materije (%)	9,28	-	EN 14346:2006
Organska materija (gubitak žarenjem) %	16,50	10(10 <sup>2</sup> )	SRPS EN 15169:2010

Sadržaj metala u mg/kg*	priprema EPA 3050B		
Olovo Pb	37,4	1000 (10000)**	VDM 0250
Kadmijum Cd	1,0	60(5000)**	VDM 0250
Cink Zn	151,0	5000-1 000 000	VDM 0250
Nikl Ni	62,7	3000	VDM 0250
Hrom ukupni Cr	46,5	2500-1 000 000	VDM 0250
Živa Hg	0,3	7 (20)**	VDM 0250
Arsen As	54,0	50(5000)**	VDM 0250
Barijum Ba	167,0	100000	VDM 0250
Antimon Sb	2,4	700	VDM 0250
Selen Se	<0,4	40	VDM 0250
Molibden Mo	0,6	9000	VDM 0250
Vanadijum V	24,8	2000	VDM 0250
Mangan Mn	857,0		
Berilijum Be	1,86	30	VDM 0250
Aluminijum Al	111800		VDM 0250
Kobalt Co	10,5		VDM 0250
Kalaj Sn	<2,0		VDM 0250
Gvožđe Fe	18000		VDM 0250
Kalcijum Ca	33200		VDM 0250
Magnezijum Mg	5050		VDM 0250

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Policiklični aromatični ugljovodonici mg/kg* :</b>			<b>EN15527:2007</b>
Naftalen	<0,010	10	EN15527:2007
Acenaftilen	<0,010	10	EN15527:2007
Acenaften	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoren	<0,010	10	EN15527:2007
Fenantren	<0,010	10	EN15527:2007
Antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoranten	<0,010	10	EN15527:2007
Piren	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(a)antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Krizen	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(b)fluoranten	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(k)fluoranten	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(a)piren	<0,010	10	EN15527:2007
Indeno(c,d)piren	<0,010	10	EN15527:2007
Dibenzo(a,h)antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(g,h,i)perilen	<0,010	10	EN15527:2007
<b>UKUPNI PAH</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>(100)** (100<sup>3</sup>)</b>	<b>EN15527:2007</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
PCB 28 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 52 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 101 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 118 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 138 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 153 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 180 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB sum (mg/kg)*	<0,010	50 (100)**(1 <sup>3</sup> )	SRPS EN 15308:2010
<b>Ukupni ugljovodonici u sadržaju (C10-C40) (GC-FID)* (mg/kg)</b>	<b>144,2</b>	<b>(20 g/kg)** (500mg/kg)<sup>3</sup></b>	<b>EN 14039:2004</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Lako isparljiva organska jedinjenja mg/kg*:</b>			
Benzol	<0,010	(Ukupno BTEX	VDM 0222
Toluen	<0,010	500)**	VDM 0222
m,p Ksilol	<0,010		VDM 0222
o-ksilol	<0,010		VDM 0222
Etilbenzol	<0,010		VDM 0222
<b>UKUPNI BTEX</b>	<b>&lt;0,010</b>		<b>VDM 0222</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Trihalometani mg/kg*</b>			
Hloroform	<0,010		VDM 0222
Dihlorbrom metan	<0,010		
Dibromhlor metan	<0,010		
Bromoform	<0,010		

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Organohlorni pesticidi mg/kg*</b>			
Lindan	<0,010	50	VDM 0107
Aldrin	<0,010	50	VDM 0107
Dieldrin	<0,010	50	VDM 0107
Endrin	<0,010	50	VDM 0107
Heptahlorepoksid	<0,010	50	VDM 0107
Hlordan	<0,010	50	VDM 0107
Heksahlorbenzen	<0,010	50	VDM 0107
Metoksihlor	<0,010	50	VDM 0107
DDT(DDE+DDD)	<0,010	50	VDM 0107

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Ukupan organski ugljenik u čvrstom stanju (TOC) u %*	3.2% (32.42 mg/g)	5% <sup>1</sup> ,6% <sup>2</sup> ,3% <sup>3</sup>	SRPS EN 13137:2005
Ukupan sumpor TS u %*	<0,19% (<1.9 mg/g)	5% <sup>a</sup>	VDM 0182
<b>Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*</b>			SRPS EN 12457-4:2008
Olovo Pb	<0,01	100**(10 <sup>1</sup> ) (50 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Kadmijum Cd	<0,002	5**(1 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,04 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Cink Zn	<0,05	1000**(50 <sup>1</sup> ) (200 <sup>2</sup> ) (4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Bakar Cu	0,35	100**(50 <sup>1</sup> ) (100 <sup>2</sup> ) (2 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Niki Ni	0,022	500**(10 <sup>1</sup> ) (40 <sup>2</sup> ) (0,4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Hrom ukupni Cr	<0,05	300**(10 <sup>1</sup> ) (70 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Živa Hg	<0,005	0,5**(0,2 <sup>1</sup> ) (2 <sup>2</sup> ) (0,01 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5+EPA 245.1
Arsen As	0,047	50**(2 <sup>1</sup> ) (25 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Barijum Ba	0,39	500**(100 <sup>1</sup> ) (300 <sup>2</sup> ) (20 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Antimon Sb	0,016	50**(0,7 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,06 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Selen Se	<0,01	50**(0,5 <sup>1</sup> ) (7 <sup>2</sup> ) (0,1 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Molibden Mo	<0,05	-(10 <sup>1</sup> ) (30 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*</b>			SRPS EN 12457-4:2008
pH vrednost	8,12	6-13**	ISO 10523:2008
Ostatak isparenja na 105°C	1800	100000**(60000 <sup>1</sup> ) (100000 <sup>2</sup> ) (4000 <sup>3</sup> )	EN15216:2007
Hloridi (Cl <sup>-</sup> )	212,0	(15000 <sup>1</sup> ) (25000 <sup>2</sup> ) (800 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 9297-1:2007
Sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	122,0	(20000 <sup>1</sup> ) (50000 <sup>2</sup> ) (1000 <sup>3</sup> )	EPA 375.4
Indeks fenola	0,09	1000**(1 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 6439:1997
Rastvoran organski ugljenik ( DOC )	2310,0	(800 <sup>1</sup> ) (1000 <sup>2</sup> ) (500 <sup>3</sup> ) toleriše se do 2500	SRPS ISO 8245:2007
Amonijak (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	15,0	10000**	SRPS EN ISO 14911:2007
Nitrati (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	21,0	-	EPA 300,1
Nitriti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	10,2	1000**	EPA 300,1
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	2,1	500**(150 <sup>1</sup> ) (500 <sup>2</sup> ) (10 <sup>3</sup> )	EPA 300,1

<b>Podaci o uzorku 14-11-0407</b>	
Naziv otpada: Potencijalni otpad: sediment iz taložnice – lokacija 4	
Lokacija sa koje je uzet uzorak: Taložnica Savskog jezera GPS koordinate N 44°46'31.5" - EO 20°22'11.9", visina 81m, tačnost 5m	
Identifikacioni broj uzorka: 14-11-0407	
Uzorkovanje izvršio: Darko Janković, viši sanitarni tehničar Vlada Karamata, viši sanitarni tehničar	Datum i vreme: 06.08.2014. 12:00h
Način i metoda uzorkovanja: prema standardu: prema standardu SRPS CEN TR/15310-2:2009 i internom uputstvu za uzorkovanje Gradskog zavoda za javno zdravlje iz Beograda UZ 011	
Datum i vreme prijema uzorka na ispitivanje: 07.08.2014.	
Ostali podaci o uzorku (ako je relevantno):	
Napomena: Sastavni deo ovog izveštaja je izveštaj Instituta za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorije za hemijsku dinamiku i permanentno obrazovanje (Lab.060), Izveštaj o ispitivanju br.S14/449  Sastavni deo ovog izveštaja je fotodokumentacija, vezana za uzorkovanje predmetnog otpada izrađena na CD-u.	

### C. Rezultati fizičko – hemijskih, hemijskih i bioloških ispitivanja otpada

**SENZORNA SVOJSTVA**  
Neporemećen uzorak sedimenta. Mulj koji je zahvaćen Correr uzorkivačem dubine oko 1m. Sive boje specifičnog mirisa.

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Procenat vlage (%)	87,75	-	EN 14346:2006
Procenat čvrste materije (%)	12,25	-	EN 14346:2006
Organska materija (gubitak žarenjem) %	8,96	10(10 <sup>2</sup> )	SRPS EN 15169:2011

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Sadržaj metala u mg/kg*</b>			priprema EPA 3050B
Olovo Pb	37,6	1000 (10000)**	VDM 0250
Kadmijum Cd	1,20	60(5000)**	VDM 0250
Cink Zn	165,0	5000-1 000 000	VDM 0250
Bakar Cu	1053,0	70000	VDM 0250
Nikl Ni	67,1	3000	VDM 0250
Hrom ukupni Cr	48,5	2500-1 000 000	VDM 0250
Živa Hg	0,2	7 (20)**	VDM 0250
Arsen As	46,3	50(5000)**	VDM 0250
Barijum Ba	158,0	100000	VDM 0250
Antimon Sb	<0,2	700	VDM 0250
Selen Se	<4,0	40	VDM 0250
Molibden Mo	0,6	9000	VDM 0250
Vanadijum V	25,3	2000	VDM 0250
Mangan Mn	893,0		
Berilijum Be	1,81	30	VDM 0250
Aluminijum Al	103200		VDM 0250
Kobalt Co	11,3		VDM 0250
Kalaj Sn	<2,0		VDM 0250
Gvožđe Fe	18700		VDM 0250

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Kalcijum Ca	44900		VDM 0250
Magnezijum Mg	5680		VDM 0250

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Policiklični aromatični ugljovodonici mg/kg* :</b>			<b>EN15527:2007</b>
Naftalen	0,028	10	EN15527:2007
Acenaftilen	<0,010	10	EN15527:2007
Acenaften	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoren	<0,010	10	EN15527:2007
Fenantren	0,034	10	EN15527:2007
Antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoranten	0,054	10	EN15527:2007
Piren	0,040	10	EN15527:2007
Benzo(a)antracen	0,024	10	EN15527:2007
Krizen	0,046	10	EN15527:2007
Benzo(b)fluoranten	0,034	10	EN15527:2007
Benzo(k)fluoranten	0,026	10	EN15527:2007
Benzo(a)piren	0,036	10	EN15527:2007
Indeno(c,d)piren	<0,010	10	EN15527:2007
Dibenzo(a,h)antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(g,h,i)perilen	<0,010	10	EN15527:2007
<b>UKUPNI PAH</b>	<b>0,322</b>	<b>(100)** (100<sup>3</sup>)</b>	<b>EN15527:2007</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
PCB 28 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 52 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 101 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 118 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 138 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 153 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 180 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB sum (mg/kg)*	<0,010	50 (100)**(1 <sup>3</sup> )	SRPS EN 15308:2010
<b>Ukupni ugljovodonici u sadržaju (C10-C40) (GC-FID)* (mg/kg)</b>	<b>186,9</b>	<b>(20 g/kg)** (500mg/kg)<sup>3</sup></b>	<b>EN 14039:2004</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Lako isparljiva organska jedinjenja mg/kg*:</b>			
Benzol	<0,010	(Ukupno BTEX	VDM 0222
Toluen	<0,010	500)**	VDM 0222
m,p Ksilol	<0,010		VDM 0222
o-ksilol	<0,010		VDM 0222
Etilbenzol	<0,010		VDM 0222
<b>UKUPNI BTEX</b>	<b>&lt;0,010</b>		<b>VDM 0222</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Trihalometani mg/kg*</b>			
Hloroform	<0,010		VDM 0222

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Dihlorbrom metan	<0,010		
Dibromhlor metan	<0,010		
Bromoform	<0,010		

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Organohlorni pesticidi mg/kg*</b>			
Lindan	<0,010	50	VDM 0107
Aldrin	<0,010	50	VDM 0107
Dieldrin	<0,010	50	VDM 0107
Endrin	<0,010	50	VDM 0107
Heptahlorepoksid	<0,010	50	VDM 0107
Hlordan	<0,010	50	VDM 0107
Heksahlorbenzen	<0,010	50	VDM 0107
Metoksihlor	<0,010	50	VDM 0107
DDT(DDE+DDD)	<0,010	50	VDM 0107

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Ukupan organski ugljenik u čvrstom stanju (TOC) u %*	3.2% (32.33 mg/g)	5% <sup>1</sup> , 6% <sup>2</sup> , 3% <sup>3</sup>	SRPS EN 13137:2005
Ukupan sumpor TS u %*	<0,19% (<1.9 mg/g)	5% <sup>a)</sup>	VDM 0182

<b>Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*</b>			
SRPS EN 12457-4:2008			
Olovo Pb	<0,01	100**(10 <sup>1</sup> ) (50 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Kadmijum Cd	<0,002	5**(1 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,04 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Cink Zn	<0,05	1000**(50 <sup>1</sup> ) (200 <sup>2</sup> ) (4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Bakar Cu	1,19	100**(50 <sup>1</sup> ) (100 <sup>2</sup> ) (2 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Niki Ni	0,042	500**(10 <sup>1</sup> ) (40 <sup>2</sup> ) (0,4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Hrom ukupni Cr	<0,05	300**(10 <sup>1</sup> ) (70 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Živa Hg	<0,005	0,5**(0,2 <sup>1</sup> ) (2 <sup>2</sup> ) (0,01 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5+EF 245.1
Arsen As	0,068	50**(2 <sup>1</sup> ) (25 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Barijum Ba	0,46	500**(100 <sup>1</sup> ) (300 <sup>2</sup> ) (20 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Antimon Sb	0,020	50**(0,7 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,06 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Selen Se	<0,01	50**(0,5 <sup>1</sup> ) (7 <sup>2</sup> ) (0,1 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Molibden Mo	<0,05	-(10 <sup>1</sup> ) (30 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*</b>			
SRPS EN 12457-4:2008			
pH vrednost	8,16	6-13**	ISO 10523:2008
Ostatak isparenja na 105°C	1300	100000**(60000 <sup>1</sup> ) (100000 <sup>2</sup> ) (4000 <sup>3</sup> )	EN15216:2007
Hloridi (Cl <sup>-</sup> )	83,0	(15000 <sup>1</sup> ) (25000 <sup>2</sup> ) (800 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 9297-1:2007
Sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	118,0	(20000 <sup>1</sup> ) (50000 <sup>2</sup> ) (1000 <sup>3</sup> )	EPA 375.4
Indeks fenola	0,04	1000**(1 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 6439:1997



Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Rastvoran organski ugljenik ( DOC )	283,2	(800 <sup>1</sup> ) (1000 <sup>2</sup> ) (500 <sup>3</sup> ) toleriše se do 2500	SRPS ISO 8245:2007
Amonijak (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	18,0	10000**	SRPS EN ISO 14911:2007
Nitrati (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<5,0	-	EPA 300,1
Nitriti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	8,8	1000**	EPA 300,1
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	2,7	500**(150 <sup>1</sup> ) (500 <sup>2</sup> ) (10 <sup>3</sup> )	EPA 300,1

<b>Podaci o uzorku 14-11-0408</b>	
Naziv otpada: Potencijalni otpad: sediment iz taložnice – lokacije 5	
Lokacija sa koje je uzet uzorak: Taložnica Savskog jezera	
GPS koordinate N 44°46'26.0" - EO 20°22'03.5", visina 80m, tačnost 5m	
Identifikacioni broj uzorka: 14-11-0408	
Uzorkovanje izvršio: Darko Janković, viši sanitarni tehničar Vlada Karamata, viši sanitarni tehničar	Datum i vreme: 06.08.2014. 12:30h
Način i metoda uzorkovanja: prema standardu: prema standardu SRPS CEN TR/15310-2:2009 i internom uputstvu za uzorkovanje Gradskog zavoda za javno zdravlje iz Beograda UZ 011	
Datum i vreme prijema uzorka na ispitivanje: 07.08.2014.	
Ostali podaci o uzorku (ako je relevantno):	
Napomena: Sastavni deo ovog izveštaja je izveštaj Instituta za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorije za hemijsku dinamiku i permanentno obrazovanje (Lab.060), Izveštaj o ispitivanju br.S14/450	
Sastavni deo ovog izveštaja je fotodokumentacija, vezana za uzorkovanje predmetnog otpada izrađena na CD-u.	

### C. Rezultati fizičko – hemijskih, hemijskih i bioloških ispitivanja otpada

#### SENZORNA SVOJSTVA

Neporemećen uzorak sedimenta. Mulj koji je zahvaćen Correr uzorkivačem dubine oko 1m. Sive boje specifičnog mirisa.

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Procenat vlage (%)	90,69	-	EN 14346:2006
Procenat čvrste materije (%)	9,31	-	EN 14346:2006
Organska materija (gubitak žarenjem) %	17,80	10(10 <sup>2</sup> )	SRPS EN 15169:2010

Sadržaj metala u mg/kg*	priprema EPA 3050B		
Olovo Pb	33,7	1000 (10000)**	VDM 0250
Kadmijum Cd	1,0	60(5000)**	VDM 0250
Cink Zn	156,0	5000-1 000 000	VDM 0250
Nikl Ni	60,6	3000	VDM 0250
Hrom ukupni Cr	41,0	2500-1 000 000	VDM 0250
Živa Hg	<0,2	7 (20)**	VDM 0250
Arsen As	62,7	50(5000)**	VDM 0250
Barijum Ba	158,0	100000	VDM 0250
Antimon Sb	<2,0	700	VDM 0250
Selen Se	<4,0	40	VDM 0250
Molibden Mo	0,5	9000	VDM 0250

Vanadijum V	20,7	2000	VDM 0250
Mangan Mn	969,0		
Berilijum Be	1,68	30	VDM 0250
Aluminijum Al	107000		VDM 0250
Kobalt Co	9,9		VDM 0250
Kalaj Sn	<2,0		VDM 0250
Gvožđe Fe	16100		VDM 0250
Kalcijum Ca	30400		VDM 0250
Magnezijum Mg	4570		VDM 0250

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Policiklični aromatični ugljovodonici mg/kg* :</b>			<b>EN15527:2007</b>
Naftalen	<0,010	10	EN15527:2007
Acenaftilen	<0,010	10	EN15527:2007
Acenaften	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoren	<0,010	10	EN15527:2007
Fenantren	<0,010	10	EN15527:2007
Antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoranten	<0,010	10	EN15527:2007
Piren	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(a)antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Krizen	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(b)fluoranten	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(k)fluoranten	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(a)piren	<0,010	10	EN15527:2007
Indeno(c,d)piren	<0,010	10	EN15527:2007
Dibenzo(a,h)antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(g,h,i)perilen	<0,010	10	EN15527:2007
<b>UKUPNI PAH</b>	<b>&lt;0,010</b>	<b>(100)** (100<sup>3</sup>)</b>	<b>EN15527:2007</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
PCB 28 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 52 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 101 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 118 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 138 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 153 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 180 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB sum (mg/kg)*	<0,010	50 (100)**(1 <sup>3</sup> )	SRPS EN 15308:2010
<b>Ukupni ugljovodonici u sadržaju (C10-C40):(GC-FID)* (mg/kg)</b>	<b>135,6</b>	<b>(20 g/kg)** (500mg/kg)<sup>3</sup></b>	<b>EN 14039:2004</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Lako isparljiva organska jedinjenja mg/kg*:</b>			
Benzol	<0,010	(Ukupno BTEX	VDM 0222
Toluen	<0,010	500)**	VDM 0222
m,p Ksilol	<0,010		VDM 0222
o-ksilol	<0,010		VDM 0222
Etilbenzol	<0,010		VDM 0222
<b>UKUPNI BTEX</b>	<b>&lt;0,010</b>		<b>VDM 0222</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Trihalometani mg/kg*</b>			
Hloroform	<0,010		VDM 0222
Dihlorbrom metan	<0,010		
Dibromhlor metan	<0,010		
Bromoform	<0,010		

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Organohlorni pesticidi mg/kg*</b>			
Lindan	<0,010	50	VDM 0107
Aldrin	<0,010	50	VDM 0107
Dieldrin	<0,010	50	VDM 0107
Endrin	<0,010	50	VDM 0107
Heptahlorepoksid	<0,010	50	VDM 0107
Hlordan	<0,010	50	VDM 0107
Heksahlorbenzen	<0,010	50	VDM 0107
Metoksihlor	<0,010	50	VDM 0107
DDT(DDE+DDD)	<0,010	50	VDM 0107

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Ukupan organski ugljenik u čvrstom stanju (TOC) u %*	4,7% (46,90 mg/g)	5% <sup>1</sup> , 6% <sup>2</sup> , 3% <sup>3</sup>	SRPS EN 13137:2005
Ukupan sumpor TS u %*	<0,19% (1,9 mg/g)	5% <sup>a</sup>	VDM 0182

Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*			SRPS EN 12457-4:2008
Olovo Pb	<0,01	100**(10 <sup>1</sup> ) (50 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Kadmijum Cd	<0,002	5**(1 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,04 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Cink Zn	0,12	1000**(50 <sup>1</sup> ) (200 <sup>2</sup> ) (4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Bakar Cu	0,61	100**(50 <sup>1</sup> ) (100 <sup>2</sup> ) (2 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Nikl Ni	0,043	500**(10 <sup>1</sup> ) (40 <sup>2</sup> ) (0,4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Hrom ukupni Cr	<0,05	300**(10 <sup>1</sup> ) (70 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Živa Hg	<0,005	0,5**(0,2 <sup>1</sup> ) (2 <sup>2</sup> ) (0,01 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5+EPA. 245.1
Arsen As	0,059	50**(2 <sup>1</sup> ) (25 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Barijum Ba	0,36	500**(100 <sup>1</sup> ) (300 <sup>2</sup> ) (20 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Antimon Sb	0,017	50**(0,7 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,06 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Selen Se	<0,01	50**(0,5 <sup>1</sup> ) (7 <sup>2</sup> ) (0,1 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Molibden Mo	<0,05	-(10 <sup>1</sup> ) (30 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*			SRPS EN 12457-4:2008
pH vrednost	8,23	6-13**	ISO 10523:2008
Ostatak isparenja na 105°C	1000	100000**(60000 <sup>1</sup> ) (100000 <sup>2</sup> ) (4000 <sup>3</sup> )	EN15216:2007
Hloridi (Cl <sup>-</sup> )	115,0	(15000 <sup>1</sup> ) (25000 <sup>2</sup> ) (800 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 9297-1:2007
Sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	81,0	(20000 <sup>1</sup> ) (50000 <sup>2</sup> ) (1000 <sup>3</sup> )	EPA 375.4
Indeks fenola	0,04	1000**(1 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 6439:1997

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Rastvoran organski ugljenik ( DOC )	202,1	(800 <sup>1</sup> ) (1000 <sup>2</sup> ) (500 <sup>3</sup> ) toleriše se do 2500	SRPS ISO 8245:2007
Amonijak (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	18,0	10000**	SRPS EN ISO 14911:2007
Nitrati (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	5,0	-	EPA 300,1
Nitriti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	10,0	1000**	EPA 300,1
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	2,5	500**(150 <sup>1</sup> ) (500 <sup>2</sup> ) (10 <sup>3</sup> )	EPA 300,1

<b>Podaci o uzorku 14-11-0409</b>	
Naziv otpada: Potencijalni otpad: sediment iz taložnice – lokacije 6	
Lokacija sa koje je uzet uzorak: Taložnica Savskog jezera	
GPS koordinate N 44°46'29.2" - EO 20°22'01.3", visina 83m, tačnost 5m	
Identifikacioni broj uzorka: 14-11-0409	
Uzorkovanje izvršio: Darko Janković, viši sanitarni tehničar Vlada Karamata, viši sanitarni tehničar	Datum i vreme: 06.08.2014. 13:00h
Način i metoda uzorkovanja: prema standardu: prema standardu SRPS CEN TR/15310-2:2009 i internom uputstvu za uzorkovanje Gradskog zavoda za javno zdravlje iz Beograda UZ 011	
Datum i vreme prijema uzorka na ispitivanje: 07.08.2014.	
Ostali podaci o uzorku (ako je relevantno):	
Napomena: Sastavni deo ovog izveštaja je izveštaj Instituta za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorije za hemijsku dinamiku i permanentno obrazovanje (Lab.060), Izveštaj o ispitivanju br.S14/451	
Sastavni deo ovog izveštaja je fotodokumentacija, vezana za uzorkovanje predmetnog otpada izrađena na CD-u.	

### C. Rezultati fizičko – hemijskih, hemijskih i bioloških ispitivanja otpada

#### SENZORNA SVOJSTVA

Neporemećen uzorak sedimenta. Mulj koji je zahvaćen Correr uzorkivačem dubine oko 1m. Sive boje specifičnog mirisa.

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Procenat vlage (%)	79,81	-	EN 14346:2006
Procenat čvrste materije (%)	20,19	-	EN 14346:2006
Organska materija (gubitak žarenjem) %	11,64	10(10 <sup>2</sup> )	SRPS EN 15169:2010

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Sadržaj metala u mg/kg*</b>			priprema EPA 3050B
Olovo Pb	46,5	1000 (10000)**	VDM 0250
Kadmijum Cd	1,8	60(5000)**	VDM 0250
Cink Zn	234,0	5000-1 000 000	VDM 0250
Bakar Cu	326,0	70000	VDM 0250
Niki Ni	93,3	3000	VDM 0250
Hrom ukupni Cr	61,3	2500-1 000 000	VDM 0250
Živa Hg	<0,2	7 (20)**	VDM 0250
Arsen As	24,4	50(5000)**	VDM 0250
Barijum Ba	129,0	100000	VDM 0250
Antimon Sb	<2,0	700	VDM 0250

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Selen Se	<4,0	40	VDM 0250
Molibden Mo	0,3	9000	VDM 0250
Vanadijum V	28,4	2000	VDM 0250
Mangan Mn	898,0		
Berilijum Be	0,93	30	VDM 0250
Aluminijum Al	37500		VDM 0250
Kobalt Co	16,0		VDM 0250
Kalaj Sn	<2,0		VDM 0250
Gvožđe Fe	26700		VDM 0250
Kalcijum Ca	79900		VDM 0250
Magnezijum Mg	7480		VDM 0250

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Polciklični aromatični ugljovodonici mg/kg* :</b>			<b>EN15527:2007</b>
Naftalen	0,022	10	EN15527:2007
Acenaftilen	<0,010	10	EN15527:2007
Acenaften	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoren	<0,010	10	EN15527:2007
Fenantren	0,040	10	EN15527:2007
Antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Fluoranten	0,052	10	EN15527:2007
Piren	0,040	10	EN15527:2007
Benzo(a)antracen	0,022	10	EN15527:2007
Krizen	0,034	10	EN15527:2007
Benzo(b)fluoranten	0,034	10	EN15527:2007
Benzo(k)fluoranten	0,020	10	EN15527:2007
Benzo(a)piren	0,028	10	EN15527:2007
Indeno(c,d)piren	<0,010	10	EN15527:2007
Dibenzo(a,h)antracen	<0,010	10	EN15527:2007
Benzo(g,h,i)perilen	<0,010	10	EN15527:2007
<b>UKUPNI PAH</b>	<b>0,292</b>	<b>(100)** (100<sup>3</sup>)</b>	<b>EN15527:2007</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
PCB 28 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 52 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 101 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 118 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 138 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 153 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB 180 (mg/kg)	<0,010		SRPS EN 15308:2010
PCB sum (mg/kg)*	<0,010	50 (100)**(1 <sup>3</sup> )	SRPS EN 15308:2010
<b>Ukupni ugljovodonici u sadržaju (C10-C40) (GC-FID)* (mg/kg)</b>	<b>125,3</b>	<b>(20 g/kg)** (500mg/kg)<sup>3</sup></b>	<b>EN 14039:2004</b>

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Lako isparljiva organska jedinjenja mg/kg*:</b>			
Benzol	<0,010	(Ukupno BTEX	VDM 0222
Toluen	<0,010	500)**	VDM 0222
m,p Ksilol	<0,010		VDM 0222

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
o-ksilol	<0,010		VDM 0222
Etilbenzol	<0,010		VDM 0222
UKUPNI BTEX	<0,010		VDM 0222

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Trihalometani mg/kg*</b>			
Hloroform	<0,010		VDM 0222
Dihlorbrom metan	<0,010		
Dibromhlor metan	<0,010		
Bromoform	<0,010		

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Organohlorni pesticidi mg/kg*</b>			
Lindan	<0,010	50	VDM 0107
Aldrin	<0,010	50	VDM 0107
Dieldrin	<0,010	50	VDM 0107
Endrin	<0,010	50	VDM 0107
Heptahlorepoksid	<0,010	50	VDM 0107
Hlordan	<0,010	50	VDM 0107
Heksahlorbenzen	<0,010	50	VDM 0107
Metoksihlor	<0,010	50	VDM 0107
DDT(DDE+DDD)	<0,010	50	VDM 0107

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
Ukupan organski ugljenik u čvrstom stanju (TOC) u %*	4.6% (45.59 mg/g)	5% <sup>1</sup> , 6% <sup>2</sup> , 3% <sup>3</sup>	SRPS EN 13137:2005
Ukupan sumpor TS u %*	0,13% (1.3 mg/g)	5% <sup>a)</sup>	VDM 0182

Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*			SRPS EN 12457-4:2008
Olovo Pb	<0,01	100**(10 <sup>1</sup> ) (50 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Kadmijum Cd	<0,002	5**(1 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,04 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Cink Zn	<0,05	1000**(50 <sup>1</sup> ) (200 <sup>2</sup> ) (4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Bakar Cu	0,22	100**(50 <sup>1</sup> ) (100 <sup>2</sup> ) (2 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
NiKL Ni	0,032	500**(10 <sup>1</sup> ) (40 <sup>2</sup> ) (0,4 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Hrom ukupni Cr	<0,05	300**(10 <sup>1</sup> ) (70 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Živa Hg	<0,005	0,5**(0,2 <sup>1</sup> ) (2 <sup>2</sup> ) (0,01 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5+EPA 245.1
Arsen As	0,080	50**(2 <sup>1</sup> ) (25 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Barijum Ba	0,49	500**(100 <sup>1</sup> ) (300 <sup>2</sup> ) (20 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Antimon Sb	0,069	50**(0,7 <sup>1</sup> ) (5 <sup>2</sup> ) (0,06 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Selen Se	<0,01	50**(0,5 <sup>1</sup> ) (7 <sup>2</sup> ) (0,1 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5
Molibden Mo	1,0	-(10 <sup>1</sup> ) (30 <sup>2</sup> ) (0,5 <sup>3</sup> )	EPA 200,7 Rev 5

Parametar	Nađena vrednost	Referentna vrednost	Oznaka metode
<b>Sadržaj u EP ekstraktu (neutralni test, L/S =10/1) mg/kg*</b>		<b>SRPS EN 12457-4:2008</b>	
pH vrednost	8,21	6-13**	ISO 10523:2008
Ostatak isparenja na 105°C	1700	100000**(60000 <sup>1</sup> ) (100000 <sup>2</sup> ) (4000 <sup>3</sup> )	EN15216:2007
Hloridi (Cl <sup>-</sup> )	51,0	(15000 <sup>1</sup> ) (25000 <sup>2</sup> ) (800 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 9297-1:2007
Sulfati (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	167,0	(20000 <sup>1</sup> ) (50000 <sup>2</sup> ) (1000 <sup>3</sup> )	EPA 375.4
Indeks fenola	0,07	1000**(1 <sup>3</sup> )	SRPS ISO 6439:1997
Rastvoran organski ugljenik ( DOC )	202,7	(800 <sup>1</sup> ) (1000 <sup>2</sup> ) (500 <sup>3</sup> ) toleriše se do 2500	SRPS ISO 8245:2007
Amonijak (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	3,0	10000**	SRPS EN ISO 14911:2007
Nitrati (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<5,0	-	EPA 300,1
Nitriti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	2,4	1000**	EPA 300,1
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	3,2	500**(150 <sup>1</sup> ) (500 <sup>2</sup> ) (10 <sup>3</sup> )	EPA 300,1

Napomena:

EN – Evropske norme (Evropski standard)

EPA – Environmental Protection Agency (US) - method – Američka Agencija za zaštitu životne sredine- metoda

VDM – Validirana dokumentovana metoda

VDM 0107-EPA publication SW –846, Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods:

Metod 3540C, Revision 3, December 1996, Soxhlet extraction

Metod 3610C, Revision 2, December 1996, Alumina clean up

Metod 3630C, Revision 3, December 1996, Silica gel, clean up

Metod 8081, Revision 1, December 1996, Organochlorine pesticides by gas chromatography

VDM 0222-Modifikovana metoda ISO 22155:2011 Soil quality –Gas chromatographic determination of volatile aromatic and halogenated hydrocarbons and selected ethers-Static headspace method

VDM 0250-SRPS EN 13657:2008, SRPS ISO 11466:2004, EPA 3050B

SRPS ISO - Srpski tehnički standard usklađen sa ISO standardom

SMEWW – Standard methods for Examination of Water and Wastewater

ASTM – American Society for Testing and Materials

ISO –Internacionalna organizacija za standardizaciju

\*suva masa

\*\* vrednosti koncentracija se odnose na H13(H15) opasnu karakteristiku

<sup>1</sup> vrednosti koncentracija se odnose na odlaganje neopasnog otpada i opasnog otpada na deponije neopasnog otpada

<sup>2</sup> vrednosti koncentracija se odnose na odlaganje otpada na deponije opasnog otpada

<sup>3</sup> vrednost koncentracija se odnose na odlaganje otpada na deponije inertnog otpada

Referentne vrednosti i klasifikacija otpada su date prema:

- Commission Decision of 16.January 2001. amending Decision 2000/532/EC as regards the list of wastes;
- Risk-Based Waste Classification in California, National Academies Press, Washington, D.C., 1999.
- Interim guidelines on hazard characteristic H13 of Annex III to the Basel Convention, UNEP/CHW.7/11/Add.3, 22.07.2004.
- Council Directive 67/548/EEC of 27 June 1967 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labelling of dangerous

- substances i njene dopune zaključno sa DIRECTIVE 2006/121/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 18 December 2006 amending Council Directive 67/548/EEC on the approximation of laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labelling of dangerous substances in order to adapt it to Regulation (EC) No 1907/2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) and establishing a European Chemicals Agency;
- The European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road (ADR) 2007.;
  - Council Regulation (EC) No 1195/2006 of 18 July 2006 amending Annex IV to regulation (EC) No 850/2004 of the European Parliament and of the Council on persistent organic pollutants.
  - Environment Agency HWR08 How to find out if waste oil and wastes that contain oil are hazardous, Version 3.1 – June 2007, Environment Agency, Rio House, Waterside Drive, Aztec West;
  - Zakon o potvrđivanju Bazelske Konvencije o kontroli prekograničnog kretanja opasnih otpada i njihovom odlaganju (Sl.list SRJ-Međunarodni ugovori, br. 2/99);
  - Pravilnik o načinu postupanja sa otpacima koji imaju svojstvo opasnih materija, Sl. Glasnik RS broj. 12/95;
  - COUNCIL DECISION of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC (2003/33/EC);
  - Guidance for waste destined for disposal in landfills, Version 2, June 2006, Interpretation of the Waste Acceptance Requirements of the Landfill, (England and Wales) Regulations 2002 (as amended)
  - Pravilniku o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada (Sl. glasnik RS 56/2010).
  - Uredbi o odlaganju otpada na deponije (Sl. glasnik RS 92/2010).
  - referentna vrednost za sumpor prema concentration limits given in this list are based on BAGA (the Netherlands Environment Protection Agency) List of Hazardous Substances, 1997.<sup>a)</sup>

Mesto i datum završetka ispitivanja:  
Beograd, 26.08.2014.

NAČELNIK LABORATORIJE :



*Prim. Dr Marina Mandić-Miladinović, spec.higijene*

Mesto i datum izrade Izveštaja:  
Beograd, 26.08.2014.

Izveštaj uradio:

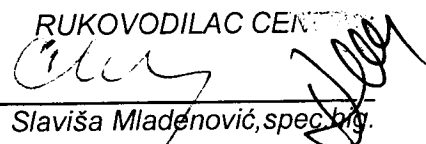


*Zoran Sekulić, dipl.inž.tehn.*

Overio merenja :



UKOVODILAC CENTRA

*Dr Slaviša Mladenović, spec.hig.*



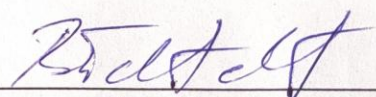
## ОЦЕНА ИЗВЕШТАЈА О ПРОВЕРИ ОРИГИНАЛНОСТИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма „iThenticate“ којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Третман отпадних муљева из постројења за припрему воде за пиће применом јонизујућег зрачења“, аутора Бојана Ранковића, констатујемо да утврђено подударане текста износи 10 %. Овај степен подударности последица је цитата, табела у теоријском делу чији су извори наведени, општих места и података, као и претходно публикованих резултата докторандових истраживања, који су проистекли из његове дисертације, што је у складу са чланом 9. Правилника.

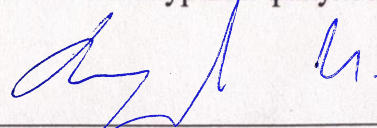
На основу свега изнетог, а у складу са чланом 8. став 2. Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду, изјављујемо да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

01. 7. 2021.

Ментори



др Владимир Павићевић, доцент  
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултета



др Ивица Вујчић, научни сарадник  
Универзитет у Београду, Институт за нуклеарне науке „Винча”,  
Институт од националног значаја за Републику Србију

## **Biografski podaci**

Bojan Ranković rođen je 13.05.1980. godine u Beogradu. Osnovnu školu “Milan Ilić-Čiča” i Gimnaziju prirodno-matematičkog smera “Miloš Savković” završio je u Arandelovcu. Osnovne akademske studije upisao je školske 1999/2000. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu. Na istom fakultetu diplomirao je u februaru 2009. godine, odbranom diplomskog rada na temu “Uticaj vrste i orijentacije ojačavajućeg tkanja na čvrstoću materijala pri zatezanju” pod mentorstvom prof. dr Slaviše Putića. Školske 2012/2013. godine upisao je doktorske akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu, studijski program Inženjerstvo zaštite životne sredine. Bio je angažovan 2014. godine na projektu “Razvoj novih lepкова koji se koriste u industriji prerade papira” pod rukovodstvom dr Pavla Spasojevića, a čiji je realizator bio društvo sa ograničenom odgovornošću za proizvodnju, trgovinu i usluge Tetragon Čačak. Od aprila 2016. godine deo je stručnog tima kompanije Miteko Kneževac gde radi kao Rukovodilac sektora za reciklažu i upravljanje otpadom. U periodu od 2016. godine do 2019. godine bio je angažovan na projektu IPA 2008 “Podrška zaštiti životne sredine u energetsom sektoru-Rešavanje problema električnih uređaja punjenih polihlorovanim bifenilnim uljima u Elektroprivredi Srbije čiji je realizator bio Miteko Kneževac , Tekon Tehnokonsalting Beograd, Elektrotehnički Institut Nikola Tesla Beograd, Institut Mol i Tehnološko-metalurški fakultet Beograd. Od 2020. godine angažovan je na projektu Polihlorovani bifenili u Operatoru distributivnog sistema Elektroprivrede Srbije “Pružanje usluge uzorkovanja i ispitivanja ulja na prisustvo polihlorovanih bifenila u elektroenergetskim postrojenjima i dekontaminacija polihlorovanih bifenilnih kontaminiranih transformatora 20/x i 10/x kV i usluga ispitivanja zemljišta na kontaminaciju ulja, rizičnim lokacijama i lokacijam ranijih ( istorijskih ) zagađenja zemljišta i usluga sanacije kontaminiranog zemljišta čiji je realizator Miteko Kneževac, Tekon Tehnokonsalting Beograd, Elektrotehnički Institut Nikola Tesla Beograd, Institut Mol Beograd, Eco Sist doo, Elgra Vision doo i Ful Elektro doo. Takodje, angažovan je na projektu UNIDO-Objedinjena organizacija za industrijski razvoj “Pružanje usluga za

dekontaminaciju i, prema potrebi, konačno zbrinjavanje najmanje 347 tona opreme kontaminirane Polihlorovanim bifenilima.

## Naučni radovi

1. **Ranković, B.**, Ristić-Gajić, V., Mašić, S., Pavićević, V., Vujčić, I., Possibility of using sludge from water treatment plant treated with ionizing radiation as fertilizer in agriculture: Effects of aging of treated waste sludge, *Applied Radiation and Isotopes*, 2021. Submit
2. **Bojan Ranković**, Andrea Sagatova, Ivica Vujčić, Slobodan Mašić, Đorđe Veljović, Vladimir Pavićević, Željko Kamberović, Utilization of gamma and e-beam irradiation in the treatment of waste sludge from a drinking water treatment plant, *Radiation Physics and Chemistry* (IF2019=2.226), 109174. doi:10.1016/j.radphyschem.2020.109174
3. **Ranković Bojan M.**, Nikolić Nikolina R., Mašić Slobodan B., Vujčić Ivica T., Dose mapping of products with different density irradiated in  $^{60}\text{Co}$  irradiation facility of the Vinca institute, Serbia, *Nuclear Technology and Radiation Protection* (2020).35 (1), 56-63, (IF2019=1.057), DOI: 10.2298/NTRP2001056R.
4. *Ivica Vujcic*, **Bojan Rankovic**, Slobodan Masic,  $\text{Pr}^{3+}$  doped  $\text{YPO}_4$  as a possible dosimeter for high irradiation doses, accepted for RAP 2020, postponed for RAP 2021 (International Conference on Radiation Applications, 31 May to 4 June 2021, Aristotle University's Research Dissemination Center (KEDEA), Thessaloniki, Greece).
5. *Ivica Vujcic*, Slobodan Masic, **Bojan Rankovic**, Industrial treatment of sludge from drinking water plants: comparison of the use of accelerators and gamma rays for acrylamide reduction and fertilizer production, AccApp'20, IAEA Headquarters in the Vienna International Centre, Vienna, Austria, 5-9 April 2020.
6. *Ivica Vujcic*, Slobodan Masic, Bojan Rankovic, Dose Mapping of Products with Different Density Irradiated with Co-60 Irradiator, NUTECH-2020 conference, Warsaw, Poland, October 4-7 2020
7. Nemanja Barać, **Bojan Ranković**, Sandra Škrivanj, Zoran Bukumirić, Dragana, Čičkarić-Živojinović, Rada Petrović, Aleksandar Ćorac. Investigation of heavy metals partitioning in the agricultural soils of the long term polluted Pb/Zn industrial region of southern Serbia: uptake and bioaccumulation by the cereal crop *Zea mays* L. 7<sup>th</sup> Symposium „Chemistry and Environmental Protection –

EnviroChem 2015“, 9 – 12 June 2015, Book of Abstracts pp. 270 – 271, Palić, Serbia, ISBN 978-86-7132-058-0 URL: [http://www.envirochem.rs/res/EC2015\\_Book\\_of\\_Abstracts.pdf](http://www.envirochem.rs/res/EC2015_Book_of_Abstracts.pdf)

8. S. Drmanić, J. Nikolić, G. Šekularac, **B. Ranković**, B. Jovanović "The Solvent and Structure Effects on the Electronic Absorption Spectra of the Isomeric Pyridine Carboxylic Acids", *J. Appl. Spect.*, 80 (2013) 839-843 doi: 535.34:547.826/.827 ISSN: 0021-9037
9. J. Nikolić, A. Šukalo, **B. Ranković**, G. Šekularac and S. Drmanić The substituent influence on the FTIR and UV spectral data of 2-substituted nicotinic acids, ICOSEC 8 Belgrade, Serbia 2013. Book of abstracts PO13.

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани: **Бојан Ранковић**

број уписа: **4003/2012**

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

**„Третман отпадних муљева из постројења за припрему воде за пиће применом јонизујућег зрачења“**

резултат сопственог истраживачког рада,

- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

**Потпис докторанда**

У Београду, 25.06.2021.



Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске верзије  
докторског рада**

Име и презиме аутора: **Бојан Ранковић**

Број уписа: **4003/2012**

Студијски програм: Инжењерство заштите животне средине

Наслов рада: „Третман отпадних муљева из постројења за припрему воде за пиће  
применом јонизујућег зрачења“

Ментори: др Владимир Павићевић, доцент  
др Ивица Вујчић, научни сарадник


Потписани: **Бојан Ранковић**

изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда



У Београду, 25.06.2021.

Прилог 3.

### Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

**„Третман отпадних муљева из постројења за припрему воде за пиће применом јонизујућег зрачења“**

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

Потпис докторанда

У Београду, 25.06.2021.

