

UNIVERZITET U BEOGRADU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKI FAKULTET

Ana S. Dajić

**Razvoj procesa završnog tretmana čvrstih
i tečnih zagađujućih materija primenom
principa čistije proizvodnje**

Doktorska disertacija



UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF TECHNOLOGY AND METALLURGY

Ana S. Dajić

**Development of final treatment processes
for solid and liquid pollutants by cleaner
production principles application**

Doctoral Dissertation



Podaci o mentoru i članovima komisije

Mentor: Dr Mića Jovanović, redovni profesor u penziji,
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Član komisije: Dr Slobodan Petrović, profesor emeritus,
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Član komisije: Dr Sandra Glišić, docent,
Univerziteta u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Član komisije: Dr Marina Mihajlović, naučni saradnik,
Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu

Član komisije: Dr Miroljub Adžić, profesor emeritus,
Univerziteta u Beogradu, Mašinski fakultet

Datum odbrane: _____

ZAHVALNICA

Na početku hvala dr Jovanu Jovanoviću što me uveo u svet mikroreaktorskih tehnologija kao i na korisnim savetima tokom izvođenja eksperimenata.

Zahvaljujem se prof. dr Mići Jovanoviću, mentoru, na iskrenoj podršci i doprinosu razradi i realizaciji ideja uobličениh u ovoj disertaciji.

Hvala dr Marini Mihajlović, naučnom saradniku, za posebnu posvećenost i pomoć u svim segmentima izrade ove disertacije, za bezrezervnu podršku, strpljenje, stalni podsticaj, veru i ohrabrivanje.

Zahvaljujem se dr Sandri Glišić, docentu, za posvećenost i pomoć tokom izrade ove disertacije.

Veliku zahvalnost dugujem i prof. dr Slobodanu Petroviću i prof. dr Miroljubu Adžiću na stručnoj pomoći i korisnim savetima.

Hvala dr Stefanu Mandić-Rajčeviću, naučnom saradniku, na podršci i zalaganju tokom mog naučno-istraživačkog rada.

Veliko hvala prof. dr Dušanu Mijinu na korisnim savetima.

Hvala kolegama Milici, Dimitriju, Julijani i Milici za prijateljsku i profesionalnu pomoć, podršku i razumevanje.

Zahvaljujem se porodici Dajić na ukazanom poverenju i podršci tokom izrade ove doktorske disertacije. Veliko hvala mojim prijateljima na strpljenju, ohrabrivanjima i razumevanju.

Najveću zahvalnost dugujem Ani koja mi je podrška tokom svih studentskih dana i koja mi je pomogla da stignem dokle sam stigla.

Na kraju hvala Nikoli i Đorđu koji su moja inspiracija i moj izvor snage.

Ovu doktorsku disertaciju posvećujem svojim roditeljima, Duji i Srbi, koji su verovali u mene i davali mi vetar u leđa.

Podaci o doktorskoj disertaciji

Naslov doktorske disertacije:

Razvoj procesa završnog tretmana čvrstih i tečnih zagađujućih materija primenom principa čistije proizvodnje

Sažetak:

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije sprovedena su sa ciljem razvoja procesa završnog tretmana čvrstih i tečnih zagađujućih materija primenom principa čistije proizvodnje.

Pri projektovanju tehnoloških rešenja, procesa i postrojenja, u funkciji zaštite životne sredine, moguće je i neophodno koristiti principe i metod čistije proizvodnje. Istraživanja iz oblasti unapređenja tehnologije završnog tretmana čvrstih zagađujućih supstanci izvedena su na primeru odlaganja otpada dok su istraživanja iz oblasti unapređenja tehnologije završnog tretmana tečnih zagađujućih supstanci izvedena na primeru prečišćavanja simulirane otpadne vode iz tekstilne industrije.

Odlaganje otpada, najmanje poželjna opcija u hijerarhiji mogućih tretmana otpada, za sobom neizbežno doprinosi zagađenju okoline. Sprečavanje zagađenja zemljišta postiže se poštovanjem propisa i zahteva u skladu sa BAT-om propisanim u EU Direktivi o deponijama. Imajući na umu da odlaganje otpada može višestruko zagađivati životnu sredinu, izvedenim istraživanjem ispitana je potreba za unapređenjem najboljih dostupnih tehnika u oblasti odlaganja otpada. Na osnovu sprovedene uporedne analize regulativa zemalja članica EU i zemalja kandidata, izveden je zaključak da je Direktivu neophodno unaprediti. Unapređenje Direktive neophodno je zbog postavljanja strožijih zahteva u procesu projektovanja deponija. Zemlje u razvoju EU uglavnom ili imaju kratku razradu zahteva Direktive u svojim nacionalnim regulativama ili je uopšte nemaju. Valjanom razradom i poštovanjem preporuka Direktive o deponijama, odnosno projektovanjem deponija u skladu sa najboljim dostupnim tehnikama, negativan uticaj deponija na životnu sredinu mogao bi da bude sprečen. Predloženim izmenama teksta Direktive bili bi postavljeni čvrsti temelji za jasno definisanje najboljih dostupnih tehnika. Zaključak istraživanja je naučna osnova za proširenje teksta u cilju

projektovanja deponije na način koji bi pružio bolju zaštitu životne sredine. Cilj poboljšanja teksta je razumevanje i preciziranje zahteva Direktive i njihova transpozicija u nacionalne zahteve. Akcenat je bio na kvalitetu materijala koji bi trebalo da bude postavljen na dno deponija kako bi se zaustavilo prodiranje otpadne procedure vode u zemljište. U okviru istraživanja definisan je tehnološki postupak proizvodnje veštačke mineralne barijere i razvijen prototip mineralne prirodne barijere na bazi domaćih sirovina koji bi bio pogodan za primenu u te svrhe. Takođe, za svrhe razvoja mineralne barijere od domaćih sirovina izvedena je kritička evaluacija podataka dostupnosti i kvaliteta sirovina za njenu izradu. Istraživanjima su razmotrene i mogućnosti iskorišćenja potencijala deponijskog gasa nakon zatvaranja deponija.

U oblasti unapređenja najboljih dostupnih tehnika završnog tretmana tečnih zagađujućih supstanci istraživanja su izvedena kroz studije slučaja. Ispitivanja su rezultirala tehničkim rešenjima u oblasti tretmana uklanjanja ulja. Predložena decentralizovana struktura sistema, sastavljena od više jedinica, omogućava odvojeno prečišćavanje različitih tipova otpadnih voda u zavisnosti od njihovog stepena opterećenosti zagađujućim materijama. Predloženo je i korišćenje prerađene otpadne vode u daljim tretmanima što je u skladu sa najboljim dostupnim tehnikama i principima čistije proizvodnje.

Unapređenje procesa završnog tretmana tečnih zagađujućih supstanci primenjeno je i na prečišćavanje simulirane otpadne vode tekstilne industrije. Eksperimentalno je ispitivana mogućnost obrade ove vrste otpadne vode opterećene velikim količinama organske boje, primenom mikroreaktorskih tehnologija. Tretman u mikroreaktorskim sistemima je inovativni pristup koji rezultira smanjenjem upotrebe hemijskih agenasa i čiju bi primenu trebalo razmotriti kao jednu od najboljih dostupnih tehnika u ovoj oblasti. Cilj istraživanja bio je pronalaženje optimalnih uslova za uklanjanje boje uz korišćenje minimalnih količina hemijskih agenasa i sa što nižim utroškom energije i vremena. Na osnovu rezultata dobijenih u eksperimentima u šaržnom i mikroreaktorskom sistemu izveden je zaključak da su značajno bolji rezultati obezbojavanja postignuti u mikroreaktorskim sistemima u odnosu na šaržne. Bilo koja kombinacija prečnika i dužine reaktora, vremena zadržavanja i brzine protoka reakcione smeše pokazala se daleko uspešnije u odnosu na procese u šaržnim sistemima. Izveden je zaključak i o optimalnim uslovima za izvođenje reakcije koja bi kao rezultat dala

vodu zadovoljavajućeg kvaliteta sa smanjenim sadržajem organske boje ali i zadovoljavajućim ostalim karakteristikama.

Ključne reči: tehnološko projektovanje deponija, koeficijent vodopropusnosti, evropska Direktiva o deponijama, mikroreaktorski sistemi, otpadna voda, azo boje, obezbojavanje

Naučna oblast: Tehnološko inženjerstvo

Uža naučna oblast: Tehnološko inženjerstvo

UDK broj:

Information about Doctoral Dissertation

Title:

Development of final treatment processes for solid and liquid pollutants by cleaner production principles application

Abstract:

The main goal of the research conducted within this doctoral dissertation was final treatment processes development for solid and liquid pollutants applying cleaner production principles.

Aiming to prevent pollution and protect environment applying of cleaner production in processes design have main role. Research in field of technological design development for treatment of solid waste materials was done on example of waste landfilling. In case of liquid waste materials treatment, research was done for simulated wastewater from textile industry.

Waste disposal is the last but inevitable step in the waste management. Waste disposal on landfill could have significant effect on the environment. Prevention of soil and water contamination could be reached by applying BAT proscribed in EU Landfill Directive. Results of conducted research can contribute pollution prevention. The performed comparative national regulatory analysis raised the question of the need for more uniform elaboration of the directive requirements over the whole European Union area (including EU candidates). Proposals amending Landfill Directive are necessary in aim to prevent impropriety waste disposal which will contaminate environment. Proposed text amendment would set good foundation for clearly defined BAT. Another important segment of conducted research was quality of material which should be placed on landfill. The research resulted with artificial barrier synthesis process design of with developing prototype of barrier made of domestic raw material. Critical evaluation of availability and quality of raw materials was done. Also, research reviewed the possibilities of utilization of landfill gas potential.

Development of final treatment best available techniques for research liquid pollutants was done through wastewater identification study. Result of research was development

of technical solutions for the oiled and other waste waters. Future treatment of processed wastewater was proposed what is in line with the best available techniques and cleaner production principles.

The goal of final processes treatment of liquid pollutants was to investigate possibility of using microreactor treatment for decolorization of simulated wastewater from textile industry. This research was based on analyze wastewater treatment using new, sustainable approach with reduced consumption of chemicals. The final aim was to find the most efficient way for dye removal with minimum use of chemicals and lower cost of materials, energy and time, producing as little as possible polluting agent at the end of the process. Significantly results were achieved in microreactor system than batch considering any combination of microreactor length, molar ratio, diameter, flow rate and residence time. A medium length of microreactor with low concentration of chemicals, low flow rate, small diameter and medium residence time was able to achieve satisfactory decolorization results with lower consumption of chemicals and energy, equipment thus better environmental impact. The result demonstrate successfully way to treat coloured water, thus this treatment should be considered to become BAT for coloured water treatment.

Key words: landfill technological design, water permeability coefficient, Council Directive 1999/31/EC on the landfill, microreactor systems, wastewater, azo dyes, decolorisation

Scientific Field: Technological Engineering

Major Scientific Field: Chemical Engineering

UDC:

SPISAK OZNAKA I SKRAĆENICA

- BAT - Najbolje dostupne tehnike; engl. Best Available Technique
- BREF - BAT referentni dokument; engl. Best Available Techniques Reference Document
- EIA Directive - Direktiva o proceni uticaja na životnu sredinu, engl. Environmental Impact Assesment Directive
- EOP - Završni tretman, engl. End-of-Pipe Pollution Controle technologies
- EU - Evropska unija; engl. European Union
- NSUO - Nacionalna strategija upravljanja otpadom
- IPPC - Integralna prevencija i kontrola zagađenja, engl. Integrated Pollution Prevention and Control
- HPD folija - engl. High-desity polyethylene
- LFG - Deponijski gas, engl. Landfil gas
- CDM - Mehanizam čistog razvoja, engl. Clean Development Mechanism
- PUŽS – Procena uticaja na životnu sredinu
- GCL - Geo-sintetički glineni materijali, engl. Geosynthetic clay liners

SPISAK SLIKA

Slika 1. Klasifikacija deponija prema vrsti otpada koja se deponuje (Council directive 2008/98/EC 2008)	10
Slika 2. Aparatura za ispitivanje K prema metodi SRPS U.B1.034:1969 (SRPS_U.B1.034:1969 n.d.)	14
Slika 3. Aparatura za ispitivanje K prema metodi DIN 18130 (DIN18130-1 1998).....	15
Slika 4. Aparatura za ispitivanje k prema metodi CUR 33	16
Slika 5. Mapa deponija u Srbiji (izvor Agencija za zaštitu životne sredine)	28
Slika 6. Vremenski sled donošenja propisa u oblasti deponovanja otpada u EU i Srbiji.....	29
Slika 7. Tipovi mikroreaktorskih sistema.....	37
Slika 8. Hemijske strukture a) RO16, b) BY28 i c) AB111	45
Slika 9. Mikroreaktorski sklop predistražnih ispitivanja.....	47
Slika 10. Izlaz reaktanata iz špriceva u preistražnim ispitivanjima.....	47
Slika 11. Skica postavke eksperimenta: dve pumpe preko kojih se reakciona smeša snabdeva reaktantima su preko T spoja povezane sa kapilarnim mikroreaktorom	49
Slika 12. Postavka eksperimenta, T mikser povezan sa PEEK kapilarama	49
Slika 13. Uspešnost uklanjanja boje u šaržnom i mikroreaktorskom sistemu pri različitim odnosima boje i rastvora hipohlorita	73
Slika 14. Procenat uklanjanjaboje u mikroreaktorskom i šaržnom sistemu pri različitim zapreminskim odnosim boje i rastvora boje i NaClO, $c(\text{RO16})=1,33 \text{ mmol/dm}^3$ i $c(\text{NaOCl})=1,33 \text{ mmol/dm}^3$ i $2,63 \text{ mmol/dm}^3$	74

Slika 15. Procenat uklanjanja boje u mikroreaktorskom sistemu korišćenjem rastvora NaOCl koncentracije $1,33 \text{ mmol/dm}^3$ pri različitim ukupnim protocima reaktanata i različitim molskim odnosima	75
Slika 16. Procenat uklanjanja boje u zavisnosti od faktora F.....	76
Slika 17. Uspešnost obezbojavanja rastvora boje u mikroreaktorskom sistemu.....	78
Slika 18. Uspešnost obezbojavanja u mikroreaktorskom sistemu u zavisnosti od molskog odnosa $n(\text{RO16}) : n(\text{NaOCl})$ i vremena zadržavanja pri odnosu protoka $F(\text{RO16}) : F(\text{NaOCl})$ 2:1 molskih smeša 3, 4 i 5	79
Slika 19. Uspešnost obezbojavanja u mikroreaktorskom sistemu u zavisnosti od sklopa pri korišćenju reakcionih smeša 2,4 i 6.....	80
Slika 20. Simulirana otpadna voda pre i nakon tretmana u mikroreaktorskom sistemu (1-bez tretmana, 2-67% uklonjene boje, 3- 75% uklonjene boje, 4-89% uklonjene boje, 5-93% uklonjene boje i 6-100% uklonjene boje).....	81
Slika 21. Uticaj dužine mikroreaktora i molskog odnosa na obezbojavanje za različite molske odnose pri protoku rastvora (NaOCl/RO16) $0,1/0,2 \text{ cm}^3/\text{min}$ za smeše molskog odnosa 3,3; 3,9 i 5,0.....	82
Slika 22. Uticaj prečnika mikroreaktorskog sistema i brzine kretanja reakcione smeše na proces obezbojavanja u mikroreaktoru dužine 5,8 m pri molskom odnosu 5	84
Slika 23. Izmerene vrednosti HPK u zavisnosti od procenta stepena uklanjanj boje.....	85
Slika 24. Procenat zaostale boje nakon tretmana rastvorom NaOCl-a u mikroreaktorskom sistemu dužine 9,8 m prečnika 0,5 mm	87
Slika 25. Efikasnost procesa obezbojavanja otpadne vode opterećene bojama pri molskom odnosu 3,3 na sobnoj temperaturi.....	88

SPISAK TABELA

Tabela 1. Metode čistije proizvodnje za smanjenje zagađenja na izvoru.....	8
Tabela 2. Tehnologije za tretman otpadnog deponijskog gasa.....	22
Tabela 3. Pregled postojećih savremenih regionalnih deponija u Srbiji	32
Tabela 4. Pregled razrade zahteva Direktive na nacionalnom nivou	52
Tabela 5. Uklanjanje boje u zavisnosti od molskog odnosa reakcione smeše u šaržnim uslovima	71
Tabela 6. Zapreminski i molski odnosi reakcionih smeša.....	72
Tabela 7. Karakteristike reakcionih smeša.....	77
Tabela 8. Efikasnost obezbojavanja u zavisnosti od vremena zadržavanja u mikroreaktorskom sistemu dužine 9,8 m u reakcionoj smeši sa molskim odnosom 3,3.....	83
Tabela 9. Rezultati merenja pH vrednosti simulirane otpadne vode nakon tretmana	86

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DEO.....	6
2.1. Koncept čistije proizvodnje	6
2.2. Najbolje dostupne tehnike	8
2.3. Smanjenje uticaja čvrstih zagađujućih materija na životnu sredinu razvojem procesa završnog tretmana	9
2.3.1. Zahtevi Direktive koje je neophodno ispuniti	10
2.3.2. Metode merenja vrednosti koeficijenta vodopropusnosti.....	13
2.3.3. Razvoj inertnog materijala koji zadovoljava zahteve o vodonepropusnosti	26
2.3.4. Odlaganje otpada u Srbiji	27
2.4. Smanjenje uticaja tečnih zagađujućih materija na životnu sredinu razvojem procesa završnog tretmana	34
3. METODOLOGIJA.....	38
3.1. Polazne hipoteze i cilj istraživanja	38
3.2. Metodologija razvoja procesa završnog tretmana sa ciljem smanjenja uticaja čvrstih zagađujućih materija na životnu sredinu	39
3.2.1. Zaštita zemljišta	40
3.2.2. Zaštita voda	40
3.2.3. Zaštita vazduha	41
3.3. Metodologija razvoja procesa završnog tretmana sa ciljem smanjenja uticaja tečnih zagađujućih materija na životnu sredinu	44
3.3.1. Materijali	44
3.3.2. Predistražna ispitivanja.....	46

3.3.3. Istraživanja na primeru simulirane otpadne vode tekstilne industrije	48
4. REZULTATI I DISKUSIJA.....	51
4.1. Rezultati istraživanja mogućnosti smanjenja uticaja čvrstih zagađujućih materija razvojem procesa završnog tretmana na primeru odlaganja otpada.....	51
4.1.1. Predlozi za unapređenje BAT.....	63
4.1.1.1. Značenje pojma veštački uspostavljena barijera	63
4.1.1.2. Debljina sloja	64
4.1.1.3. Uslovi za određivanje koeficijenta vodopropusnosti	65
4.1.1.4. Životni vek mineralne barijere	66
4.1.1.5. Zaptivni sloj	66
4.1.1.6. Vodopropusnost spojeva	67
4.1.1.7. Standardizacija metoda za ispitivanje koeficijenta vodopropusnosti	67
4.1.2. Stanje u Srbiji	68
4.1.3. Diskusija.....	70
4.2. Rezultati istraživanja mogućnosti prečišćavanja otpadnih voda iz tekstilne industrije razvojem završnog tretmana	70
4.2.1. Istraživanja procesa obezbojavanja simulirane otpadne vode u šaržnim sistemima	70
4.2.2. Rezultati preliminarnih istraživanja procesa obezbojavanja simulirane otpadne vode u mikroreaktorskim sistemima	71
4.2.2.1. Rezultati istraživanja procesa obezbojavanja simulirane otpadne vode zagađene bojom RO16	80
4.2.2.2. Rezultati istraživanja procesa obezbojavanja simulirane otpadne vode zagađene bojama BY28 i AB111	87
4.2.3. Diskusija.....	88
5. ZAKLJUČAK.....	92
5.1. Razvoj procesa završnog tretmana čvrstih zagađujućih materija primenom principa čistije proizvodnje	92

5.2. Razvoj procesa završnog tretmana tečnih zagađujućih materija primenom principa čistije proizvodnje	94
6. LITERATURA	96
BIOGRAFIJA	105
SUMARY REPORT	116
ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ДОКТОРСКОГ РАДА.....	118

1. UVOD

Pod pojmom projektovanje podrazumeva se razvijanje, osmišljavanje plana budućih procesa, postrojenja i sistema. Poreklo pojma je u latinskoj reči *projico*, *are-* mada je uobičajeno korišćenje anglosaksonske reči *design*. U procesu inženjerskog projektovanja u razvoju novih procesa i modifikaciji postojećih značajnu ulogu igraju istraživanja. Naučna razrada osnovnih principa uz istraživanja doprinose rešavanju postojećih industrijskih problema i potreba uobličavanjem novih sistema i rešenja korišćenjem naučnih metoda i tehnika (Jovanović 2004). Razvoj hemijskih tehnoloških procesa trebalo bi da je usko povezan sa zaštitom životne sredine.

Hemijska industrija za posledicu ima generisanje značajnih količina otpadnih čvrstih, tečnih i/ili gasovitih materija koji nastaju kao nus-proizvod datog procesa. Otpadom se smatraju materijali kojima je moguće smanjiti količinu i zapreminu nastajanja ali ih je nemoguće izbeći tokom odvijanja procesa (Hamner 1993). Problematika zaštite životne sredine je aktuelna tema kojoj se posvećuje puno pažnje i ulažu se veliki naponi kako bi se emisije zagađujućih materija u životnu sredinu smanjile. U ovom procesu primenjuju se brojne tehnike, a jedan od načina za uspešno smanjenje emisija je valjano projekovanje uz poštovanje principa čistije proizvodnje. Problemu kontrole industrijskih emisija i smanjenja količine otpada uglavnom se pristupa primenom jednog od tri koncepta:

- Koncept završnog tretmana, odnosno tehnologije tretmana zagađenja na kraju proizvodnog procesa (engl. *EOP End-of-Pipe Pollution Controle technologies*);
- Koncept čistije proizvodnje (engl. *Cleaner Production Concept*);
- Koncept nulte emisije (engl. *Zero emissions concept*).

Koncept kontrole zagađenja primenom tehničkih rešenja na kraju proizvodnog procesa podrazumeva rešavanje problematike zagađenja i otpada tek nakon njegovog nastanka. U slučaju kompleksnih zastarelih tehnologija primena ovog koncepta za smanjenje zagađenja je nezamenljiva. Koje će tehnološko rešenje biti primenjeno na tretman otpada zavisi od više faktora. Ključni faktori su agregatno stanje, količina, fizičke i hemijske osobine otpada itd. Tehnologije završnog tretmana bave se procesima, postrojenjima, metodama, instalacijama itd. a sve u cilju ispunjavanja zahteva postavljenih zakonima i propisima iz oblasti zaštite životne sredine. Cilj je projektovanje što efikasnijeg tretmana kojima se ispunjavaju tehničko-tehnološki zahtevi uz najmanja ulaganja i troškove. Uopšteno gledajući, procesi završnog tretmana povećavaju potrošnju materijala i sirovina a time i ukupne troškove procesa. Pored svega navedenog, važno je istaći da je primena EOP tretmana tehnologija prošlosti kada problemi zaštite životne sredine nisu bili dominantni.

Projektovanje procesa za cilj ima smanjenje potrošnje sirovina i energije, minimizaciju nastajanja otpada i emisije zagađujućih materija odnosno unapređenje stanja životne sredine (Jovanović 2004; Sl.gl.RS17/2009 n.d.). Svaki proizvodni proces trebalo bi da bude projektovan primenom tehničkih rešenja zasnovanih na prevenciji i kontroli zagađenja. Primena koncepta čistije proizvodnje na polju završnog tretmana je tema kojoj je neophodno posvetiti posebnu pažnju.

Čistija proizvodnja je tehnika čiji cilj je preventivno i proaktivno delovanje kako bi se sprečio negativni uticaj proizvodnog procesa, proizvoda i usluga na životnu sredinu. Proaktivno delovanje je nasuprot tehnikama završnog tretmana na kraju proizvodnog procesa, odnosno to je pristup sa ciljem eliminacije potrebe postojanja završnog tretmana (Olson 1971). Princip prevencije promoviše sprečavanje zagađenja životne sredine dok se princip predostrožnosti ostvaruje procenom uticaja na životnu sredinu i korišćenjem najboljih dostupnih tehnika. Ovaj princip, između ostalog, promoviše smanjenje potrošnje sirovina i energije.

Razvoj, uvođenje i primena čistijih tehnologija u proizvodne procese zahtevaju određena ulaganja a često su ograničena i drugim slabim tačkama procesa. Propisi kojima se ograničavaju nivoi ispuštanja često postavljaju zahteve koji mogu biti ispunjeni isključivo

tehnologijama završnog tretmana. Da bi se sprečavanje zagađenja postiglo, na procese se primenjuju Najbolje dostupne tehnike (engl. *best available techniques, BAT*) čijom primenom se, u posmatranom trenutku, sprečava zagađenje životne sredine.

Koncept nulte emisije je ideja unošenja promena u način života i korišćenja sirovina u cilju potpune eliminacije nastajanja otpada. Ovaj koncept podrazumeva promenu načina razmišljanja i maksimalno smanjenje količine otpada kroz omogućavanje njegove ponovne upotrebe i razvoj zelene ekonomije.

Primena čistije proizvodnje na proces upravljanja otpadom potencijalno obezbeđuje smanjenje količina otpada ali ne isključuje potrebu završnog tretmana. Sva ona zagađenja do kojih dođe, čije sprečavanje nije postignuto primenom principa čistije proizvodnje, moraju se eliminisati završnim tretmanima. U konkretnom slučaju, pod završnim tretmanom podrazumevaju se procesi uklanjanja zagađujućih materija neposredno pre odlaganja otpada na deponije ili ispuštanja otpadne vode u vodoprijemnike odnosno eliminaciju zagađenja zemljišta, površinskih i podzemnih voda.

Imajući u vidu da odlaganje otpada na deponije za posledicu može imati višestruko zagađenje i značajan uticaj na životnu sredinu (Caliman et al. 2011; Hellweg et al. 2005) potrebno je tehnike čistije proizvodnje primeniti na ovu vrstu tretmana. Evropska unija je usvojila Direktivu o deponijama 1999/31/EC (u daljem tekstu Direktiva) (Council directive 1999/31/EC 1999) u cilju sprečavanja zagađenja životne sredine. Najvažniji tehnički zahtevi u procesu projektovanja deponija tiču se zaštitnog materijala kojim bi trebalo zaštititi dno i stranice deponije. Zahtevi koje bi trebalo ispuniti tiču se vodopropusnosti materijala i debljine sloja u kojoj se on postavlja (Baille et al. 2010; Olson 1971; Bieda 2014). Izvedena istraživanja imala su za cilj proveru da li je važeće tehničke zahteve Direktive i nacionalnih legislativa potrebno izmeniti i/ili dopuniti dodatnim zahtevima i dopuniti novim najboljim dostupnim tehnikama u skladu sa principima čistije proizvodnje a sve u cilju smanjenja emisija u zemljište i vode. Izvedena istraživanja pored analize i tumačenja zahteva predmetne Direktive bavila su se i razvojem novog mineralnog materijala vrhunskih osobina na bazi domaćih sirovina. Definisani su i tehnološki postupak proizvodnje mineralne barijere, mešavine polimera, peska i bentonita, pogodne za

korišćenje kao vodonepropusnog materijala na deponijama. Izvedena je i kritička evaluacija dostupnosti sirovina za izradu pomenutog materijala.

Pored ove tematike, izvedena istraživanja obuhvatila su i tretman zagađujućih materija na izlazu tehnoloških procesa primenom i razvojem najboljih dostupnih tehnika na primeru otpadne vode. U okviru istraživanja urađene su studije identifikacije otpadnih voda termoenergetskih postrojenja a zatim i studija ispitivanja mogućnosti tehnološkog povezivanja delova postrojenja. Posebna pažnja u okviru ove doktorske disertacije posvećena je istraživanjima razvoja procesa prečišćavanja otpadne vode iz tekstilne industrije primenom principa čistije proizvodnje. Posledica primene sintetskih boja u tekstilnoj industriji je nastanak velikih količina otpadnih voda opterećenih bojama. Prečišćavanje otpadnih voda iz tekstilne industrije nije jednostavno zbog složene strukture organskih boja koje se u njoj koriste (Ward et al. 2006, Mijin et al. 2008). Istraživanjima izvedenim za potrebe disertacije ispitana je mogućnost uklanjanja boje iz sintetične otpadne vode inovativnim tretmanom u mikroreaktorskim sistemima. Uklanjanje boja za tekstil iz vode mikroreaktorskom tehnologijom uspešno je i korišćenjem manjih količina sirovina u odnosu na standardne tehnologije a što je u skladu sa načelima čistije proizvodnje. Uklanjanje boje iz otpadne vode u mikroreaktorskim sistemima kao rezultat moglo bi da ima prečišćenu vodu čiji kvalitet zadovoljava propisane granične vrednosti emisija zagađujućih materija.

Primenom mikroreaktorskih sistema postiže se značajan stepen poboljšanja efektivnosti i efikasnosti procesa u odnosu na šaržne sisteme (Muthuraman & Teng 2009, Jovanovic 2011, Matsushita et al. 2007). Zbog brojnih prednosti koje karakterišu ovu tehnologiju, trebalo bi razmotriti njenu primenu kao najbolje dostupne tehnike u ovoj oblasti. Pregledom literature, ustanovljeno je da do sada nije korišćen ovakav tip mikroreaktora za uklanjanje boja iz otpadnih voda.

Predmet istraživanja disertacije je razvoj metodologije za primenu principa čistije proizvodnje u tehnološkim procesima završnog tretmana otpadnih materijala u cilju smanjenja emisija na primeru odlaganja otpada i primeru prečišćavanja otpadnih voda.

Ciljevi doktorske disertacije se mogu grupisati na sledeći način:

- Doprinos razvoju odgovarajućih BAT uključujući i elemente odgovarajućih nacionalnih regulativa kako bi procesi projektovanja završnog tretmana rezultirali smanjenjem emisija.
- Formulisanje predloga za unapređenje teksta Direktive (kao referentnog dokumenta EU za BAT završnog tretmana čvrstog otpada) u oblastima:
 - 1) svojstva mineralnog prirodnog i/ili veštačkog materijala koji obezbeđuje nepropusnost,
 - 2) debljina sloja koju bi trebalo postaviti na deponije prema vrsti otpada koji će biti odložen,
 - 3) metode za ispitivanje koeficijenta vodopropusnosti,
 - 4) životni vek mineralne barijere,
 - 5) vodopropusnost spojeva materijala i
 - 6) uloga zaptivnog sloja.
- Razvoj elemenata BAT u procesima završnog tretmana tečnog otpada/otpadnih voda, primenom novih tehnologija, na primeru procesa uklanjanja boje iz otpadne vode tekstilne industrije. Očekuje se unapređenje parametara uspešnosti dekompozicije, smanjenje potrošnje sirovina, skraćivanje vremena trajanja procesa završnog tretmana itd. Na osnovu rezultata analize procesa u šaržnom i mikroreaktorskom sistemu očekuje se predlog rešavanja problematike poboljšanja BAT završnog tretmana primenom principa čistije proizvodnje.

2. TEORIJSKI DEO

U teorijskom delu disertacije biće reči o konceptu čistije proizvodnje, najboljim dostupnim tehnikama uopšte i mogućnostrima za smanjenje uticaja na životnu sredinu čvrstih i tečnih zagađujućih materija primenom principa čistije proizvodnje na procese završnog tretmana.

2.1. Koncept čistije proizvodnje

Program UN za životnu sredinu (UNEP) definiše pojam čistije proizvodnje kao (Sl. gl. RS br. 55/05, 71/05-ispravka, 71/05 2002):

„Čistija proizvodnja predstavlja primenu sveobuhvatne preventivne strategije zaštite životne sredine na proizvodne procese, proizvode i usluge, sa ciljem povećanja ukupne efikasnosti i smanjenja rizika po zdravlje ljudi i životnu sredinu. Čistija proizvodnja može se primeniti na bilo koje procese u industriji, na same proizvode i na različite usluge koje se pružaju u društvu.

Kod proizvodnih procesa čistija proizvodnja se odnosi na očuvanje sirovina, vode i energije, smanjenje primene toksičnih i opasnih sirovina i smanjanje količina i toksičnosti svih emisija i otpada na izvoru proizvodnog procesa.

Kod proizvoda, čistija proizvodnja teži da smanji uticaje, tokom celog životnog ciklusa proizvoda na životnu sredinu, zdravlje i bezbednost, od eksploatacije sirovina preko prerade i korišćenja do konačnog odlaganja.

Kod usluga, čistija proizvodnja podrazumeva uključivanje brige za zaštitu životne sredine pri projektovanju i pružanju usluga”.

Razvijene zemlje su već uvele promene u svoje sredine transformišući pristup zasnovan na kontroli zagađenja i čistijoj proizvodnji. Zemlje u razvoju imaju nižu svest o stepenu zagađenja i daleko manje pridaju značaja toj temi pa pred sobom imaju teži zadatak da uvedu promene koje bi ih približile čistijoj proizvodnji. Čistija proizvodnja podrazumeva promene u ponašanju, odgovorno upravljanje zaštitom životne sredine, osmišljavanje i sprovođenje odgovarajuće politike i stalnu procenu odgovarajućih tehnoloških opcija. Glavna karakteristika čistije proizvodnje je što je njen fokus na uzrocima problema a ne na njihovim posledicama. Njen zadatak je da obezbedi očuvanje resursa, eliminaciju opasnih sirovina i smanjenje otpada. Pet osnovnih tehnika primene čistije proizvodnje su domaćinsko poslovanje, optimizacija procesa, zamena sirovina, nova tehnologija i razvoj novog proizvoda (Sl. gl. RS br. 55/05, 71/05-ispravka, 71/05 2002).

Metode čistije proizvodnje za smanjenje zagađenja na izvoru date su u tabeli 1.

Tabela 1. Metode čistije proizvodnje za smanjenje zagađenja na izvoru (Sl. gl. RS br. 55/05, 71/05-ispravka, 71/05 2002)

Tehnika smanjenja zagađenja na izvoru	Opis
Unapređenje efikasnosti procesa	Projektovanjem novih ili izmenom postojećih sistema postiže se veća efikasnost i štede sirovine i resursi
Zamena materijala	Zameniti opasne hemikalije manje opasnim uz zadržavanje željenih svojstava
Kontrola zaliha	Smanjiti gubitke proizvoda od isparavanja, prosipanja i slično
Preventivno održavanje	Uključuje sve aktivnosti koje imaju za cilj prevenciju lošeg rada opreme i ispuštanja zagađujućih materija
Poboljšanje domaćinskog poslovanja	Održavanje radnih prostora u urednom stanju čuva materijal i resurse, onemogućuje pojavu gubitaka materijala i predupređuje prosipanja i curenja
Interna reciklaža	Ponovno korišćenje izlaznih materijala, koji potencijalno predstavljaju otpad, u procesu proizvodnje. Rezultat je da se otpad ne stvara i smanjenje zagađenja se ostvaruje na izvoru

2.2. Najbolje dostupne tehnike

U postupcima projektovanja u funkciji zaštite životne sredine, u Evropskoj uniji (EU), primenjuju se najbolje dostupne tehnike. Za potrebe primene Direktive EU o Integralnoj prevenciji i kontroli zagađenja (engl. *Directive Concerning Integrated Pollution Prevention*

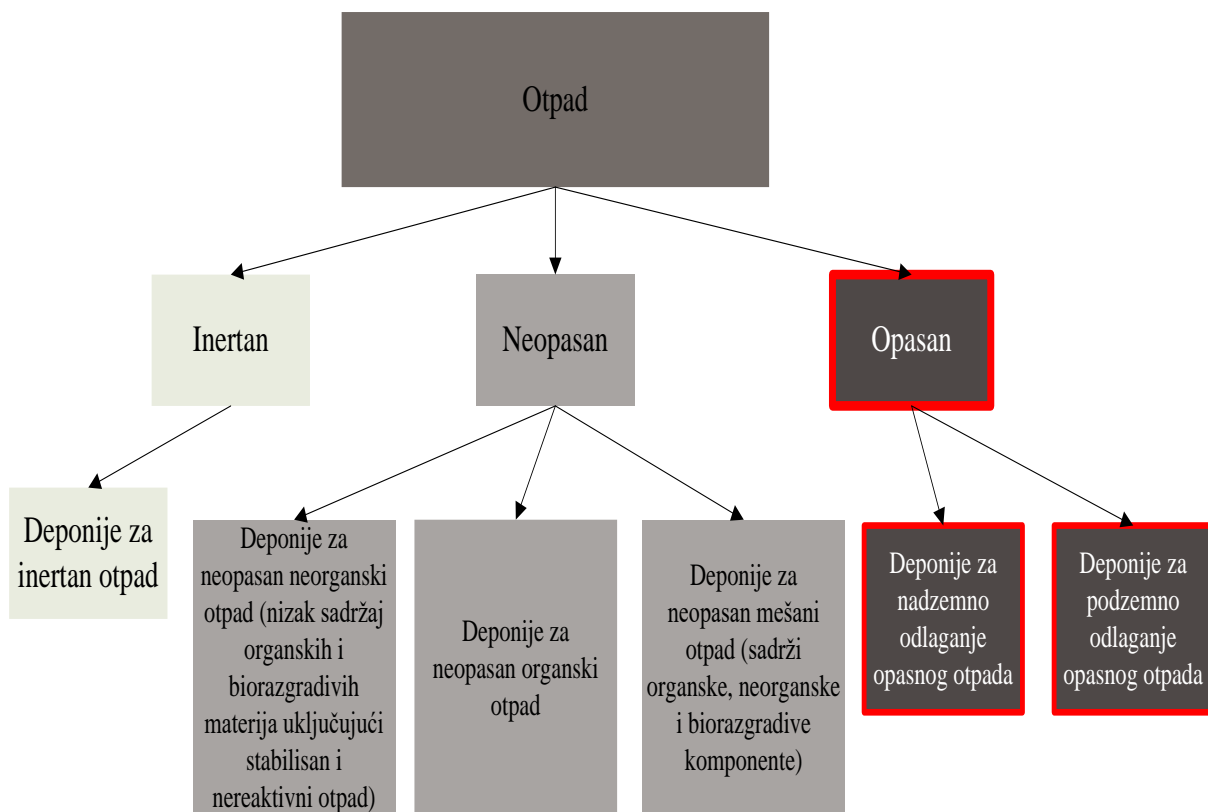
and Control, IPPC) (Council directive 2010/75/EU 2010), a u vezi sa Direktivom o industrijskim emisijama (engl. *Directive on industrial emissions*) (Council directive 2014/52/EU 2014), BAT su opisane u odgovarajućim referentnim dokumentima (engl. *Best Available Techniques Reference Document, BREF*). Pri tehnološkom projektovanju postoji obaveza primene BAT koja su često višeznačna ili ukazuju na mogućnost korišćenja različitih alternativa pri koncipiranju tehnoloških procesa. Tekst BREF dokumenata se u redovnim vremenskim intervalima inovira. Uopšteno se može reći da BAT predstavljaju tehnike i aktivnosti kojima se najefikasnije postiže visok nivo zaštite životne sredine, pod ekonomski održivim uslovima (Jovanović 2004).

2.3. Smanjenje uticaja čvrstih zagađujućih materija na životnu sredinu razvojem procesa završnog tretmana

Tehnološki procesi, bez obzira koji koncept kontrole zagađenja je primenjen, za posledicu imaju određene količine otpadnih materija. Nakon brojnih tretmana otpada, tretiran proizvod se mora odložiti na deponije. Odlaganje otpada na deponije mogao bi da rezultira višestrukim zagađenjem i može ostaviti značajne posledice na životnu sredinu (Caliman et al. 2011; Hellweg et al. 2005).

Prema klasi otpada koja se na deponije odlaže delimo ih na deponije za inertan, neopasan i opasan otpad. Projektovanje deponija izvodi se u skladu sa propisima u odnosu na nivo zaštite koji je potrebno obezbediti, odnosno sa vrstom otpada koja će biti odložena.

Slika 1 prikazuje klasifikaciju deponija prema vrsti otpada koji se na njih odlaže.



Slika 1. Klasifikacija deponija prema vrsti otpada koja se deponuje (Council directive 2008/98/EC 2008)

2.3.1. Zahtevi Direktive koje je neophodno ispuniti

Direktive su zakonodavni akti EU kojima se osigurava usklađenost nacionalnih zakona država članica. Nacionalnim vlastima je ostavljena određena sloboda da koriste oblike i metode u procesu usklađivanja uz poštovanje osnovnih principa EU. Sporazumi utvrđeni zakonodavnim aktima EU imaju primat nad bilo kojim zakonom države članice (Borchardt 2010). Od država članica se zahteva da donesu zakone, propise i administrativne odredbe neophodne za poštovanje direktiva najkasnije 2 godine od njenog stupanja na snagu.

EU je usvojila Direktivu o deponijama (Council directive 1999/31/EC 1999) u cilju sprečavanja zagađenja životne sredine. Prema Direktivi, pre odlaganja otpada zemljište bi trebalo zaštititi postavljanjem slojeva materijala koji obezbeđuju vodonepropusnost dna i stranica deponije tokom faze eksploatacije a zatim i prekrivnog sloja nakon zatvaranja deponije, bilo u slučaju odlaganja inertnog, opasnog ili neopasnog otpada. Oblaganje dna i stranica deponije bi trebalo izvesti materijalom koji poseduje svojstva zahtevana važećim propisima. Najvažniji tehnički zahtevi koji se odnose na karakteristike sloja materijala su nepropusnost i debljina barijere.

Prema Direktivi utvrđeni su kriterijumi i procedure za prihvatanje otpada na deponije a takođe, postepeno se uvode promene u načinu odlaganja otpada. Poštovanjem preporuka Direktive postiže se minimizacija otpada i povećanje nivoa mogućnosti ponovne upotrebe, reciklaže i iskorišćenja energije. Drugi važan segment Direktive bavi se tehničkim detaljima projektovanja deponije. Scharff (Scharff 2014) je u svojim istraživanjima pokazao da je propise (uključujući i Direktivu) neophodno revidirati kako bi se obezbedila dalja briga o deponijama nakon odlaganja i zatvaranja. Sorvari (Sorvari 2008) je u svojim radovima opisao i analizirao studiju slučaja u pripremi finskih zakona o odlaganju otpada. Direktiva ne obezbeđuje detaljne informacije o projektu deponije nego propisuje željene krajnje rezultate. Razrada detalja trebalo bi da bude definisana na nacionalnom nivou propisivanjem nacionalnih zakona i odredbi. Nacionalnim vlastima je ostavljena sloboda da koriste oblike i metode u procesu usklađivanja svojih propisa sa Direktivom. Najznačajniji tehnički zahtevi u projektovanju deponije vezani su za zaštitu zemljišta i vode. U zavisnosti od vrste deponije, Direktiva propisuje zahteve za kvalitet i debljinu barijere i prekrivnog sloja. Neispunjavanjem zahteva u vezi sa koeficijentom vodopropusnosti, k , i debljinom sloja, zagađujuće materije se direktno ispuštaju u zemljište. Zaštita vode i zemljišta bi mogla da bude postignuta postavljanjem barijere napravljene od vodonepropusnog materijala. Određena vrsta materijala, od koje će geološka barijera biti izrađena, prvenstveno zavisi od vrste otpada koji će biti odložen na deponiju. Za izradu obloge/barijere koriste se prirodni i/ili veštački materijali. U prošlosti je vladalo mišljenje da prirodna glina može valjano obezbediti vodonepropusnost. Vremenom je pokazano da postoje znatno bolja rešenja, te se za tu svrhu danas koristi više različitih veštačkih materijala oplemenjenih prirodnim sirovinama. Aneks I Direktive sadrži sve zahteve koji bi

trebalo da budu ispunjeni za sve klase deponija. Geološka barijera je određena geološkim i hidrogeološkim uslovima i trebalo bi da bude takvih svojstava da zaštiti zemljište i podzemne vode od potencijalnih rizika. Vodonepropusnost dna i stranica deponije obezbeđuje zaštitu tokom operativne faze rada deponije a prekrivnog sloja nakon završenog perioda eksploatacije odnosno nakon zatvaranja deponije. Prekrivni sloj deponije trebalo bi da se sastoji od mineralnog sloja koji ispunjava zahteve u pogledu vodopropusnosti i debljine sloja čijim ispunjavanjem se postiže odgovarajuća zaštita zemljišta, površinskih i podzemnih voda.

Trebalo bi ispuniti zahteve koji su najmanje ekvivalentni:

– Za deponije opasnog otpada:

$k \leq 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s i debljina sloja > 5 m;

– Za deponije neopasnog otpada:

$k \leq 1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s i debljina sloja ≥ 1 m;

– Za deponije inertnog otpada:

$k \leq 1,0 \cdot 10^{-7}$ m/s i debljina sloja ≥ 1 m.

Aneks I Direktive propisuje da „*tamo gde geološka barijera prirodno ne može da zadovolji propisane uslove, može biti veštački završena i ojačana drugim sredstvima dajući ekvivalentnu zaštitu. Veštački uspostavljena geološka barijera ne sme biti tanja od 0,5 m*“.

Najznačajnija osobina materijala kojim će biti zaštićeno telo deponije je osobina vodonepropusnosti. Vodopropusnost je svojstvo materijala koje pokazuje sposobnost fluida da se kreće kroz materijal. Visok koeficijent vodopropusnosti znači da je materijal takav da dozvoljava fluidu da se kroz njega kreće velikom brzinom. Ako materijal poseduje visok koeficijent vodopropusnosti k , to znači da će otpadna voda brzo proći kroz zaštitnu barijeru i zagaditi zemljište ispod. Suprotno, materijal sa niskim koeficijentom vodopropusnosti pruža dobru zaštitu zemljišta. U inženjerstvu zaštite zemljišta, koeficijent vodopropusnosti se još naziva i hidraulička konduktivnost. U Direktivi su postavljene vrednosti koeficijenta k koje bi trebalo da ima prirodna mineralna barijera. U slučaju veštački uspostavljene

mineralne barijere trebalo bi da bude postignuta ekvivalentna zaštita propisana za prirodnu mineralnu barijeru. To se postiže kombinacijom vrednosti koeficijenta k i odgovarajuće debljine barijere. Direktiva ne propisuje na koji način se određuje ekvivalentna zaštita.

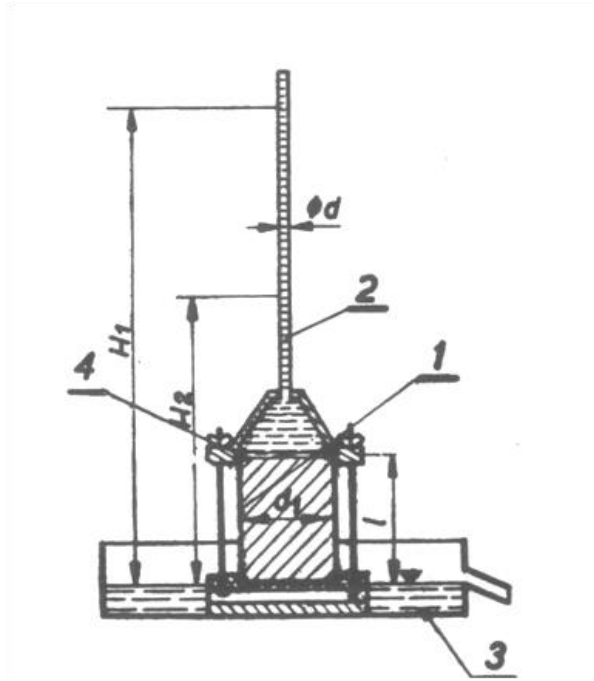
Direktiva ne daje ni osnovne principe i uslove pod kojima se određuje vrednost vodopropusnosti materijala. Male razlike u načinu merenja vodopropusnosti rezultiraju različitim vrednostima koeficijenta k što može dovesti do značajnih razlika u debljini sloja potrebnoj za ispunjavanje preporuka iz Direktive.

2.3.2. Metode merenja vrednosti koeficijenta vodopropusnosti

Određivanje koeficijenta k nije jednostavno jer se tokom određivanja nailazi na nekoliko tehničkih problema. Postoji puno metoda kojima se određuje koeficijent vodopropusnosti. Neki od njih su SAD standard ASTM D5084-10 (ASTM International 2016), nemački standard DIN 18130-1 (DIN18130-1 1998), evropski standard CEN ISO/TS 17892-11:2004 (ISO 2004), holandski CUR 33 (Civieltechnisch Centrum Uitvoering n.d.), engleski BS 1377-6:1990 (BS1377-6:1990 n.d.) i drugi. Određivanje koeficijenta vodopropusnosti može se izvoditi u laboratoriji ili na terenu.

Princip laboratorijskih merenja koeficijenta vodopropusnosti je sličan kod svih standarda. Laboratorijska merenja mogu biti izvedena sa konstantnim pritiskom ili opadajućim pritiskom vodenog stuba. Voda u sabijenom uzorku koja pod pritiskom, bilo konstantnim ili opadajućim, teče na niže i protok se meri u funkciji od vremena.

Vodopropusnost se u domaćim laboratorijama ispituje po metodi SRPS U.B1.034:1969 „Određivanje koeficijenta vodopropusnosti“ (SRPS_U.B1.034:1969 n.d.). Aparatura za izvođenje ispitivanja prema standardu SRPS U.B1.034:1969 metodi prikazana je na slici 2.



Slika 2. Aparatura za ispitivanje K prema metodi SRPS U.B1.034:1969

(SRPS_U.B1.034:1969 n.d.)

U aparaturi na slici 2, uzorak čiji se koeficijent vodopropusnosti određuje, izlaže se pritisku vodenog stuba koji izaziva proticanje vode kroz uzorak. Meri se količina vode koja protekne u određenom vremenskom intervalu. Na ovaj način dobija se prosečna brzina kretanja vode kroz uzorak. U okviru standarda SRPS U.B1.034:1969 opisano je ispitivanje vodopropusnosti sa konstantnim pritiskom i sa opadajućim pritiskom vode.

Aparatura se sastoji od:

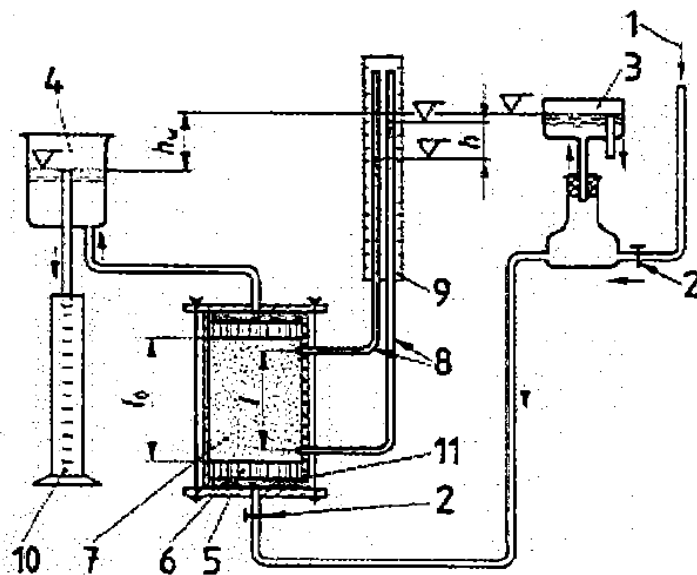
- metalnog cilindra sa poklopcem koji ima ugrađena dva sita sa odgovarajućom veličinom otvora i otvorom za cev za dovod vode u cilindar (oznaka 1 na slici 2);
- graduisane cevi odgovarajućeg prečnika od poroznog materijala (oznaka 2); i
- plitke posude sa prelivom ispunjene vodom u koju se stavlja cilindar (oznaka 3).

Pored toga, od pribora se koristi i:

- sekundomer;
- levak sa zapušačem;
- graduisane menzure;
- pribor za deaeraciju vode; i
- nož za obradu uzorka.

Važno je pomenuti da je neophodno izvršiti korekcije rezultata ukoliko se ispitivanje ne izvodi na propisanoj temperaturi.

Slika 3 prikazuje aparaturu u kojoj se izvode ispitivanja prema standardu DIN 18130 (DIN18130-1 1998).



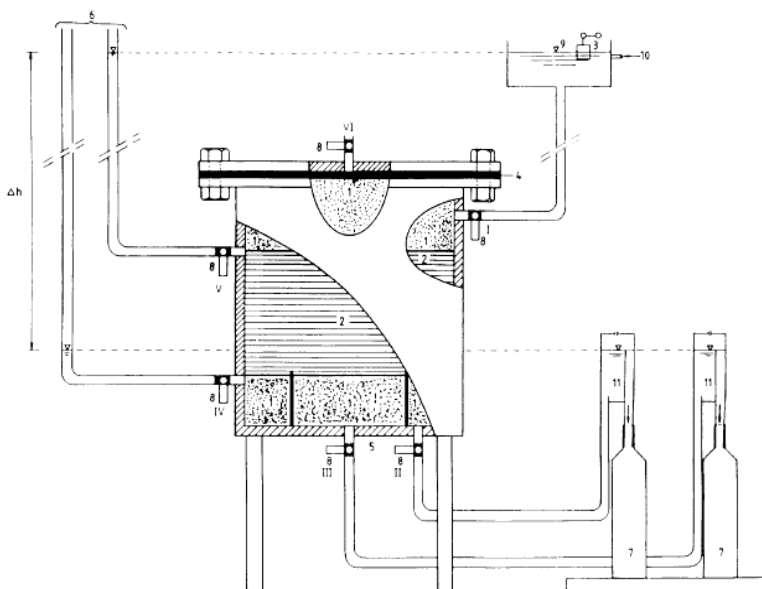
Slika 3. Aparatura za ispitivanje K prema metodi DIN 18130 (DIN18130-1 1998)

Aparatura se sastoji, slično aparaturi za izvođenje ispitivanja prema standardu SRPS U.B1.034:1969, od:

- metalnog cilindra sa otvorima propisanih dimenzija (oznaka 7 slika 3);

- menzure za prikupljanje vode (oznaka 10);
- aparature za obezbeđivanje dodatnog pritiska na vode na ulazu (oznaka 4);
- sekundomera; i
- pribora za deaeraciju vode.

Slika 4 prikazuje aparaturu za izvođenje ispitivanja vodopropusnosti po metodi CUR 33 (Civieltechnisch Centrum Uitvoering n.d.).



Slika 4. Aparatura za ispitivanje k prema metodi CUR 33 (Civieltechnisch Centrum Uitvoering n.d.)

Po ovoj metodi, merenje se vrši na uzorku koji je uzet sa terena bez ometanja strukture, ili na uzorku napravljenom u laboratoriji. Uzorak je, pre početka ispitivanja potrebno pripremiti.

Testom se određuje propustljivost uzorka. Voda pod stalnim hidrauličnim pritiskom teče preko zasićenog uzorka. Dodatni pritisak se obezbeđuje pomoću pumpi. Cilj je izmeriti količinu vode koja prođe kroz uzorak, u funkciji od vremena. Vreme trajanja ispitivanja može biti, u zavisnosti od svojstava materijala, čak i do 48 dana.

Aparatura se sastoji od:

- ćelije za ispitivanje uzorka;
- unutrašnjeg prstena za zaptivanje;
- cisterne za snabdevanje vodom i prelivanje.

Slobodno kretanje tečnosti može da bude laminarno ili turbulentno. Zbog malih brzina tečenja podzemnih voda, karakteristično je kretanje toka odeljenim (paralelnim) strujnicama bez presecanja toka. Laminarno kretanje podzemnih voda u poroznoj sredini, potčinjava se linearnom zakonu Darcy-ja. Pomoću Darcy zakona, koji važi za strujanje u zasićenoj poroznoj sredini, moguće je proračunati količinu vode koja protokne kroz uzorak sa površinom poprečnog preseka A , odnosno protok Q . Protok Q je proporcionalan hidrauličkom gradijentu, i moguće ga je izračunati pomoću jednačine 1.

$$Q = kiA = k \frac{h_1 - h_2}{L} A \quad (1)$$

k je konstanta proporcionalnosti koja ima dimenziju brzine. Ova konstanta se naziva koeficijentom vodopropusnosti ili koeficijentom filtracije, a određuje se eksperimentom za posmatrani materijal.

Veličina Q se izražava zapreminom u jedinici vremena.

Razlika $h_1 - h_2$ je razlika pijezometarskih nivoa, dok je njihovo međusobno rastojanje L .

Vrednost koja se dobija ovom jednačinom je zapremina vode koja u jedinici vremena protokne kroz uzorak sa jediničnim poprečnim presekom.

Darcy zakon je moguće izraziti i preko brzine:

$$v = \frac{Q}{A} = ki = k \frac{dh}{dL} \quad (2)$$

Gde je v brzina kojom se tečnost kreće kroz uzorak, i je hidraulički gradijent. Hidraulički gradijent je bezdimenziona veličina i računa se kao razlika nivoa podzemnih voda na putu proticanja.

Pomoću ovih jednačina, i zakonom zadatih uslova koje bi trebalo ispuniti, moguće je preračunati količinu vode koja je dozvoljena da u jedinici vremena protekne kroz uzorak.

Na osnovu tih proračuna i podataka o vodopropusnosti ispitivanog materijala, dalje je moguće izračunati količinu vode koja bi u jedinici vremena protekla kroz geološku barijeru i uporediti je sa preračunatom količinom vode koja je dozvoljena u skladu sa zakonskim regulativama.

Prema Darsijevom zakonu, zapremina tečnosti koja prođe kroz uzorak zavisi od koeficijenta vodopropusnosti i hidrauličkog gradijenta. Koeficijent vodopropusnosti ne bi trebalo da zavisi od primenjenog hidrauličkog gradijenta. Istraživanja su pokazala da nekoliko parametara, uključujući i hidraulički gradijent utiču na koeficijent vodopropusnosti. Baile i saradnici (Baille et al. 2010) su istraživali uticaj uslova sabijanja uzorka na koeficijent vodopropusnosti bentonita. U svojim istraživanjima, došli su do zaključka da je moguće smanjiti vrednost koeficijenta vodopropusnosti za red veličine ukoliko se uzorak pripremi tako da se šupljine u uzorku smanje, tj. ako se uzorak sabije. Dunn (Dunn 1985) je u svojim istraživanjima zaključio da sabijenost i zasićenost uzorka, hidraulički gradijent i konsolidacija uzorka mogu imati veliki uticaj na rezultate. Olson kao i Stępniewski sa saradnicima (Olson 1971; Stępniewski et al. 2011) takođe su ispitivali uticaj raznih faktora na vrednost koeficijenta permeabilnosti. Zaključak je da distribucija šupljina, vijugavost kanala kao i tip tečnosti imaju najveći uticaj. Thiel, Daniel i Erickson i

saradnici (Thiel R, Daniel D, Erickson R 2001) su prikazali zavisnost hidrauličke provodljivosti bentonita od opterećenja. Urađena istraživanja pokazuju da hidraulički gradijent zavisi od primenjenog pritiska vodenog stuba tokom ispitivanja. Svi prethodno pomenuti faktori, osim vrste tečnosti, imaju veliki uticaj na hidraulički gradijent. Prečnik šupljina, veličinu i oblik kanala moguće je menjati promenom primenjenog hidrauličkog gradijenta.

Iskustvo je pokazalo da ponekad vrednosti hidrauličnih provodljivosti, izmerenih na malim uzorcima, nisu iste kao vrednosti dobijene merenjem na uzorcima većih razmera. Prema tome, rezultate treba pažljivo tumačiti. Holandski standard CUR33, takođe, naglašava problem da vrednosti izmerene hidrauličke provodljivosti mogu poticati od razlike u korišćenju laboratorijskoj opremi i načinu korišćenja. Problem različitih rezultata posledica je različitih hidrauličkih pritisaka primenjenih tokom ispitivanja. U Aneksu I Direktive, tački 3.5 istaknuto je da bi ovo pitanje trebalo razraditi, ali do sada to pitanje nije rešeno. Direktiva bi trebalo da propiše hidraulički gradijent i njegovu tačnu vrednost kao fizički parametar u procesu određivanja hidrauličke vodopropusnosti.

Prirodna glina je bila prvi materijal koji je bio korišćen u izradi vodonepropusnog mineralnog sloja koji je kasnije zamenjen upotrebom tzv. sabijenog glinenog sloja (engl. *Compact Clay Layer*). Istraživanja (sa uključenim laboratorijskim merenjima) su pokazala da vrednost koeficijenta vodopropusnosti gline može dostići čak $1,0 \cdot 10^{-9}$ m/s (Martin-Utrillas et al. 2014) Dokazano je i da vrednost koeficijenta k može naglo da poraste kao rezultat dehidracije i pucanja (Met & Akgün 2015; Heerten & Koerner 2008; Safari et al. 2014). Stvaranje pukotina omogućava prodor tečnosti i materijal gubi svojstvo vodonepropusnosti. Albrecht i Benson (Albrecht & Benson 2002) su pokazali da formiranje pukotina može povećati hidrauličku provodljivost za čak tri reda veličine.

Osamdesetih godina prošlog veka razvijeni su novi geo-sintetički glineni materijali (engl. *Geosynthetic clay liners, GCL*). GCL kompozitni materijali su pokazivali mnogo bolja svojstva od prirodnih gлина. Karakteriše ih niska vrednost koeficijenta vodopropusnosti kao i brza i laka ugradnja. Iskustva u korišćenju GCL materijala, takođe, pokazuju mogućnost pojave pukotina. Kao rezultat, posle samo nekoliko godina, glina može izgubiti svoje karakteristike vodonepropusnosti a samim tim i zaštitnu ulogu. Dodatno, tečnosti sa niskom

dielektričnom konstantom uzrokuju flokulaciju gline što rezultira skupljanjem i pucanjem glinenog sloja. Ranih 1990-tih inovativni materijal, mešavina peska, bentonita i polimera, je razvijen (engl. *Polymer Enhanced Bentonite - Sand Mixture*, u daljem tekstu PEBSM). PEBSM odlikuje vrlo nizak koeficijent vodopropusnosti i visoka mehanička, termo i hemijska stabilnost (Karanac et al. n.d.; Naismith et al. n.d.). PEBSM može da obezbedi deponije duži vremenski period zbog dugačkog životnog veka. Kvalitetno projektovane deponije obično imaju životni vek od bar 30 godina (Bieda 2013).

Posledica odlaganja čvrstog otpada na deponijama, svakako je pojava procednih voda. Procedne vode rastvaraju suspendovane materije nastale tokom procesa hemijske i biološke konverzije u telu deponije. Ovako nastale vode u sebi imaju visok sadržaj zagađujućih materija te se deponije smatraju mogućim izvorom zagađenja površinskih i podzemnih voda. Poznavanje parametara kvaliteta otpadne vode sa deponija je veoma važno zbog projektovanja odgovarajućeg postrojenja za tretman otpadnih voda na deponiji.

Pored procednih voda, još jedna posledica odlaganja otpada na deponije je pojava deponijskog gasa. Deponijski gas (engl. *Landfil gas, LFG*) nastaje usled mikrobiološke razgradnje otpada u aerobnim ili anaerobnim uslovima. Sastav otpada, proces stabilizacije i razgradnje, način deponovanja (punjenje i stepen sabijanja otpada) i hidrološke karakteristike terena značajno utiču na kvalitet i kvantitet otpadnih voda (Lee et al. 2013; Kulikowska & Klimiuk 2008). Proizvod aerobne faze razgradnje je ugljen dioksid dok je proizvod anaerobne faze metan. Ova dva gasa veoma štetni jer su to gasovi sa efektom staklene bašte i utiču na klimatske promene. Od ova dva gasa, štetniji je metan jer ima 21 put veći potencijal globalnog zagrevanja od CO₂

Gas nastao na deponijama klasifikovan je kao obnovljivi izvor energije (Council directive 1999/31/EC 1999; Sl. gl. RS br. 92/2010 2010). Evropskom Direktivom o deponijama, ali i domaćom Uredbom o odlaganju otpada na deponije zahteva se sakupljanje i iskorišćenje deponijskog gasa. Ukoliko iskorišćenje deponijskog gasa nije ekonomično onda je obavezno njegovo spaljivanje na licu mesta. Odgovornost za sakupljanje i tretman deponijskog gasa u toku operativne faze ali i nakon zatvaranja deponije, ostvaruje se po principu zagađivač plaća. U Americi agencija za zaštitu životne sredine (engl. *Environment*

Protection Agency, EPA) razvila je dokument o emisiji štetnih gasova sa zatvorenih deponija (Robertson & Dunbar 2005).

Tabela 2 prikazuje tehnologije za tretman otpadnog gasa.

Tabela 2. Tehnologije za tretman otpadnog deponijskog gasa

Tehnologije	Prednosti	Nedostaci
Kotao, sušnica i grejač	Koristi maksimalnu količinu povraćenog gasa, zahteva ograničeno uklanjanje kondenzata i filtraciju, takođe, može se mešati sa ostalim gorivima	Neophodna adaptacija opreme ili poboljšanje kvaliteta gasa
Infracrveni grajač	Relativno jeftin, jednostavna ugradnja, funkcionisanje i kontrola. Zahteva ograničeno uklanjanje kondenzata i filtraciju, ne zahteva veliku količinu gasa, može se kombinovati sa drugim energetske projektima, prihvatljiv povraćaj/otplata, izgrađuje se u kratkom roku	Sezonsko korišćenje može ograničiti iskorišćenje LFG
Isparavanje procednih voda	Pogodna za slučaj kada je skup tretman procednih voda, dokazana tehnologija koja ispunjava propisane uslove za kvalitet vazduha	Visoka kapitalna ulaganja, skuplja od tradicionalnih tehnologija za tretman procednih voda, uglavnom se primenjuje od velikih deponija. Neophodno je 0,53 m ³ /h gasa kako bi se tretirao 1 l procednih voda

<p>Motori sa unutrašnjim sagorevanjem</p>	<p>Visoka efikasnost u poređenju sa turbinama i mikroturbinama, relativno povoljne cene po kW instalisanog kapaciteta, povećava se efikasnost kada se oslobođena toplota obnovi, može se dodavati ili uklanjati motor u zavisnosti od potreba za obnavljanjem gasa</p>	<p>Relativno visoki troškovi održavanja, relativno visoke emisije u vazduhu</p>
<p>Gasna turbina</p>	<p>Ekonomična, efikasnost se povećava sa povraćajem toplote, otporna na koroziju, niske emisije azotovih oksida, relativno kompaktni, visoko fleksibilne operacije sa kratkim vremenom pokretanja, toplota i visoke temperature mogu da proizvedu kvalitetnu struju, nije neophodno spoljašnje hlađenje, malog gabarita u odnosu na kapacitet</p>	<p>Stepen iskorišćenja značajno se umanju kada uređaj radi pod smanjenim opterećenjem, zahteva visoku kompresiju gasa, visoko opterećenje parazitima, kapacitet i efikasnost zavise od ambijentalnih uslova najviše od temperature, relativno niska električna efikasnost, gas se pod relativno visokom pritiskom uvodi u jedinicu za sagorevanje, zahtevaju zaštitu od buke,</p>

Mikroturbina	<p>Neophodnan niži protok gasa, niska emisija azotovih oksida, jednostavno povezivanje, mogućnost dodavanja ili uklanjanje jedinice u zavisnosti od promene kvaliteta gasa, veoma niske emisije u vazduh, sagorevanje je čistije nego kod motora, može da proizvodi toplotu i i toplu vodu (preko 93 °C), može da sagori LFG sa niskim sadržajem metana, malo pokretnih delova, kompaktne konstrukcije, zahteva minimalno održavanje i rukovanje, može se premestiti na drugu lokaciju kada se promeni kvalitet LFG</p>	<p>Zahteva predtretman LFG, niska efikasnost kada naizmenična turbi-na ili drugi tip turbine proizvede više goriva po kWh, zahteva uklanjanje vlage, siloksana i drugih zagađujućih materija, ograničeno iskustvo tako da nema informacija o troškovima održavanja i rada mikroturbina</p>
Stirlingov motor	<p>Unutar posude je radni gas, niske emisije, niske i tihe vibracije, unutrašnji delovi nisu u kontaktu sa zagađujućim materijama iz LFG, može biti opremljen sa jeftinim razmen-jivačem toplote za kombinovanu proizvodnju toplotne i električne energije, zagrevanje na visokim temperaturama može da proizvede kvalitetnu struju, nije neophodno spoljašnje hlađenje</p>	<p>Velikog gabarita, cena po kWh je viša nego kod manje efikasnog motora sa unutrašnjim sagorevanjem. Nije dostupan za komercijalnu upotrebu, visoki kapitalni troškovi, nije proverena tehnologija</p>

Proizvodnja
biometana

Može se prodavati kao prirodan gas, membranska separacija, jednostavna konstrukcija i rad. Ne zahteva dodatni operativni materijal osim: procesne vode, hemikalija, postoji mnogo referenci u Evropi

Potencijalno skupa tehnologija, povećana cena zbog sprečavanja ulaska kiseonika i azota u LFG, visoki gubici metana, kratak životni vek membrana (oko 3 god.), mora da se obezbedi visok pritisak (visoka potrošnja energije, visoki troškovi)

Valjano projektovanje deponija uključuje pored zaštite tla od negativnih uticaja otpada i zaštitu vazduha i voda. Pomenuti propisi uređuju i sakupljanje i tretman procednih deponijskih gasova i voda.

Imajući sve ove informacije, postavlja se pitanje da li je potrebna dodatna razrada Direktive po nekim pitanjima koja su nedovoljno precizno definisana. Uporednom analizom važećih propisa zemalja članica EU I zemalja kandidata izveden je zaključak da je Direktivu neophodno proširiti u cilju postavljanja strožijih zahteva kojima će se sprečavati zagađenje voda i zemljišta.

U slučaju rešavanja konkretne problematike zaštite zemljišta od zagađenja u procesu projektovanje deponije najvažnija stavka je izbor materijala za izradu vodonepropusnog sloja. Karakteristika materijala je njegova vodopropusnost pa su u te svrhe analizirane laboratorijske metode kojima se ova veličina određuje. Kao jedna od tačaka kojima bi Direktiva mogla biti unapređena je i sugestija o izboru metode za određivanje koeficijenta vodopropusnosti.

2.3.3. Razvoj inertnog materijala koji zadovoljava zahteve o vodonepropusnosti

Kao što je navedeno u prethodnim poglavljima postavljanje vodonepropusnog sloja na stranice i dno deponije, a prilikom zatvaranja i kao prekrivni sloj sprečava se potencijalno zagađenje. Materijale koji se koriste za ovu namenu, pored niskog stepena vodopropusnosti trebalo bi da karakteriše dugoročna kompatibilnost sa hemikalijama, visok kapacitet sorpcije, nizak koeficijent difuzije, visoka otpornost na oštećenja i deformacije tokom izgradnje i eksploatacije, jednostavna konstrukcija i niska cena.

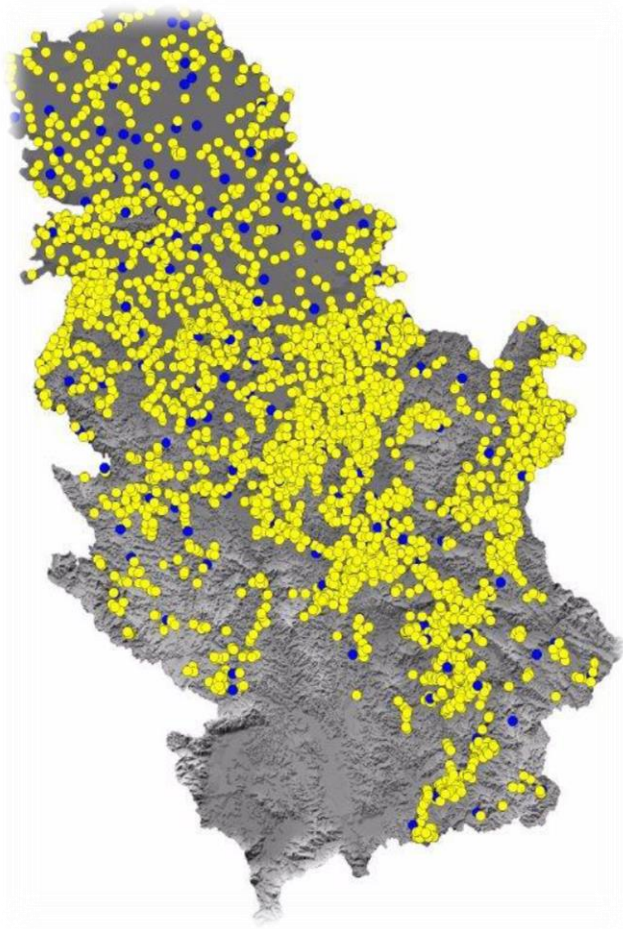
Mineralna obloga izrađuje se od prirodnih ili veštačkih materijala. U poslednje vreme se prirodne gline, za koje se smatralo da mogu obezbediti dovoljnu zaštitu zamenjuju veštačkim materijalima. Ispitivanja su pokazala da su, za tu svrhu, znatno bolji veštački, kompozitni materijali.

Predmetni materijal izuzetno uspešno zadovoljava najviše zahteve vodonepropusnosti koji važe za deponije opasnog otpada. Iz rezultata dobijenih iz laboratorijskih ispitivanja zaključeno je da je na kvalitet materijala jednostavno uticati pravim odabirom sirovina.

Novi proizvod napravljen od mešavine bentonita i peska ojačane polimerom, suva, čista i lako primenljiva mešavina proizvodi se u mobilnim uređajima za doziranje i mešanje.

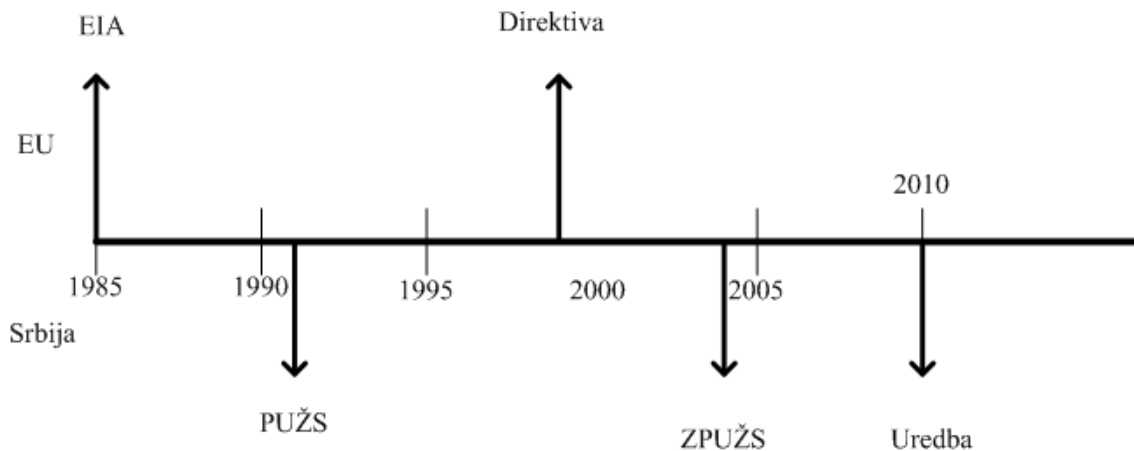
2.3.4. Odlaganje otpada u Srbiji

U Srbiji je identifikovano preko 3.500 legalnih i nelegalnih odlagališta otpada (slika 5). U većini zemalja u razvoju ono predstavlja dominantni oblik u strukturi upravljanja čvrstim otpadom. Procenjuje se da se u Srbiji, od ukupne količine reciklira manje od 1%, dok se sav ostali otpad deponuje.



Slika 5. Mapa deponija u Srbiji (izvor Agencija za zaštitu životne sredine)

Po ugledu na EU Srbija je donela niz tehničkih propisa koji uređuju problematiku odlaganja otpada. Slika 6 prikazuje redosled donošenja propisa u oblasti deponovanja otpada u EU i Srbiji.



Slika 6. Vremenski sled donošenja propisa u oblasti deponovanja otpada u EU i Srbiji

Projektovanje deponija u Srbiji izvodilo se u skladu sa Procenom uticaja na životnu sredinu od 1991. do 2004. godine, na slici 6 PUŽS. Obavezujuće je bilo poštovanje odgovarajućeg Pravilnika o kriterijumima za određivanje lokacije i uređenja deponija otpadnih materija, koji se bavio kriterijumima za određivanje lokacije i uređenje deponija otpadnih materija (Sl.gl.RS54/92).

Od 2004. godine dominantno je primenjivan Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu (Sl. gl. RS br. 135/2004;36/2009 2010), slika 6 ZPUŽS. 2010. godine doneta je Uredba o odlaganju otpada na deponije (Sl. gl. RS br. 92/2010 2010), slika 6 Uredba, koja je u skladu sa EU Direktivom (Council directive 1999/31/EC 1999). Konstatuje se da je 2010. g. i Srbija u oblasti BAT zatvaranja deponija, sa režima primene Direktive o proceni uticaja na životnu sredinu iz 1985. godine (engl. *Environmental Impact Assesment Directive – EIA*), (Council directive 2014/52/EU 2014) prešla na zahtevniji i precizniji režim koji obuhvata i Direktivu i EIA. Nakon 2010. g. BAT zatvaranja deponija u Srbiji postaje potpuno harmonizovan i obavezujući sa osnovnim zahtevima EU.

U praksi, u Srbiji korišćenje pojma odlagalište ukazuje na činjenicu da se velika većina komunalnih i industrijskih deponija ne ispunjava odgovarajuće zahteve evropskih najboljih dostupnih tehnika. Savremenim deponijama, ili samo deponijama, nazivamo one koje su

izgrađene u skladu sa BAT, propisima i tehničkim standardima EU odnosno odgovarajućim transponovanim BAT u Srbiji (Karanac et al. n.d.).

U Srbiji se odlaže oko 2,5 miliona tona komunalnog otpada godišnje. Od toga je preko 50 nesanitarnih deponija sa dubinom otpada preko 3 metra, oko 200 deponija sa dubinom između 1 i 3 metra i približno 3.300 deponija sa dubinom otpada ispod 1 m (Stanisavljević et al. 2012). Zvaničnih opštinskih/gradskih deponija sa dozvolom za odlaganje je oko 180. Ostale deponije su neuređene divlje, nemaju identifikovanog vlasnika i nalaze se na neodgovarajućim, nepristupačnim mestima. Ove deponije su značajni zagađivači životne sredine. Do sada je izgrađeno samo 7 deponija koje se kandiduju da budu savremene regionalne. Jedan od problema je nedostatak upotrebne i integrisane dozvole.

Žutim tačkama na slici Slika 5 obeležene su divlje dok su plavom bojom obeležena smetlišta i savremene deponije. U zvaničnim dokumentima Republike Srbije koriste se različiti termini za deponije: regionalna (Strategija Upravljanja Otpadom 2010-2019), sanitarna (Sl. gl. RS br. 29/10 2010; Sl. gl. RS br. 74/2015 2015), nesanitarna (Sl. gl. RS br. 36/2009, 88/2010 2016), nekontrolisna (Sl. gl. RS br. 29/10 2010), neuređena (Sl. gl. RS br. 29/10 2010; Sl. gl. RS br. 36/2009, 88/2010 2016), smetlište (Sl. gl. RS br. 29/10 2010; Sl. gl. RS br. 74/2015 2015; Sl. gl. RS br. 36/2009, 88/2010 2016), divlja deponija (Sl. gl. RS br. 29/10 2010; Sl. gl. RS br. 36/2009, 88/2010 2016) itd. Divljom deponijom nazivaju se javne površine na kojima se odlažu različite vrste otpada pod nekontrolisanim uslovima i koje ne ispunjavaju uslove iz propisa kojim se uređuje odlaganje otpada na deponije (Sl. gl. RS br. 36/2009, 88/2010 2016). Nesanitarna deponija – smetlište je mesto gde se otpad odlaže u polukontrolisanim uslovima i njime upravlja javno komunalno preduzeće. Telo smetlišta nije izgrađeno u skladu sa propisima kojima se uređuje odlaganje otpada na deponije (Sl. gl. RS br. 36/2009, 88/2010 2016).

U praksi, u Srbiji korišćenje pojma odlagalište ukazuje na činjenicu da se velika većina komunalnih i industrijskih deponija ne ispunjava odgovarajuće zahteve evropskih najboljih dostupnih tehnika. Savremenim deponijama, ili samo deponijama, nazivamo one koje su izgrađene u skladu sa BAT, propisima i tehničkim standardima EU odnosno odgovarajućim transponovanim BAT u Srbiji (Karanac et al. n.d.). Savremene deponije u Srbiji uglavnom su deponije regionalnog tipa predviđene za odlaganje neopasnog otpada. Neopravdano je

predmetne deponije nazivati savremenim jer ne postoji definisan postupak prijema otpada u skladu sa Direktivom. Takođe, kao vodonepropusni sloj na predmetnim deponijama koristi se uglavnom glina, kao zaptivni element HDPE folija (engl. *High-density polyethylene*, HDPE) a kao zaštitni sloj zaptivnog elementa geotekstil. Na pojedinim deponijama uopšte nema tretmana otpadnih voda dok se kod drugih prikuplja i tretira u lagunama. Recipijent ili gradska kanalizacija je mesto ispuštanja prečišćenih otpadnih voda. U tabeli 3 prikazan je pregled postojećih regionalnih savremenih deponija u Srbiji.

Modernizacija sistema uključivala bi unapređenje načina upravljanja otpadom na lokalnom nivou i kako bi se zadovoljili zahtevi za pridruživanje Evropskoj uniji. Po ugledu na Evropsku uniju Srbija je donela niz tehničkih propisa koji uređuju problematiku deponija. Novi sistem regionalnog deponovanja predviđa deponovanje na 24 sanitarne deponije. Ove deponije, zbog velike dubine otpada, predstavljaju značajan izvor CH₄ koji bi mogao da bude iskorišćen za proizvodnju električne energije. Na taj način, novi sistem upravljanja deponijama predstavljao bi veliki napredak u upravljanju otpadom i mogao bi predstavljati značajan izvor obnovljive energije ili u drugom slučaju, neiskorišćenja gasa, imao bi štetni uticaj na životnu sredinu.

Tabela 3. Pregled postojećih savremenih regionalnih deponija u Srbiji

R.b.	Deponija	Tip deponije ¹	Vlasništvo deponije ²	Obezbeđenje vodonepropusnosti	Sakupljanje i tretman	Procedne vode	Upuštanje	Recirkulacija	Sakupljanje i tretman	Deponijski gas	Iskorišćenje
1.	Kikinda	NO, aktivna od 2008. god.	FCC d.o.o.	EKO	Dva sloja gline od po 0,25 m	Sabirni bazen, bez tretmana	Ne	Da	Biotrnovi	Ne	
2.	Lapovo, „Vrbak“	NO, aktivna od 2009. god.	FCC d.o.o.	EKO	Dva sloja gline od po 0,25 m	Sabirni bazen, bez tretmana	Ne	Da	Biotrnovi	Ne	
3.	Jagodina, „Gigoš“	NO, aktivna od 2010. god.	JPP Werner Weber“	„Poor & bentonitnog tepiha	Dva sloja bentonitnog tepiha	Aeraciona i taložna laguna	Da, gradska kanalizacija	Da	Biotrnovi	Ne	

4.	Užice, „Duboko“	NO, aktivna od 2011. god.	JKP „Duboko“	Glina i bentonitni tepih	Aeraciona i taložna laguna	Da, lokalni potok i gradska kanalizacija	Da	Biotrnovi	Ne
5.	Pirot, „Muntina padina“	NO, aktivna od 2013. god.	JKP „Regionalna deponija Pirot“	0,50 m gline	Aeraciona i taložna laguna	Da, gradska kanalizacija	Ne	Biotrnovi	Ne
6.	Leskovac, „Željkovac“	NO, aktivna od 2009. god.	JPP „Poor Werner & Weber“	Dva sloja bentonitnog tepiha	Aeraciona i taložna laguna	Da, gradska kanalizacija	Da	Biotrnovi	Ne
7.	Šabac i Sremska Mitrovica „Srem-Mačva“	NO, probna dozvola od januara 2014. god.	JKP Regionalna deponija „Srem-Mačva“	Slojevi gline od po 0,15 m, ukupne debljine 0,50 m	Aeraciona i taložna laguna	Ne	Da	Biotrnovi	Ne

¹ Neopasan otpad-NO

² Javno komunalno preduzeće JKP, javno privatno partnerstvo JPP

2.4. Smanjenje uticaja tečnih zagađujućih materija na životnu sredinu razvojem procesa završnog tretmana

Istraživanja iz oblasti završnog tretmana tečnog otpada predstavljena u ovoj disertaciji bavila su se ispitivanjem uklanjanja boja iz sintetisane otpadne vode inovativnim tretmanom u mikroreaktorskim sistemima. Uklanjanje boje iz otpadne vode u mikroreaktorskim sistemima kao rezultat moglo bi da ima prečišćenu vodu čiji kvalitet zadovoljava propisane granične vrednosti emisija zagađujućih materija.

Boje, posmatrane iz ugla zaštite životne sredine, spadaju u klasu zagađujućih materija koja je veoma važna zbog velikih količina koje se obično nalaze u prirodi kao posledica njihove široko rasprostranjene upotrebe. Tekstilna industrija generiše velike količine teško zagađene otpadne vode (Gao et al. 2007; Khatri et al. 2015). Procenjuje se da se za proizvodnju 1 kg obojenog tekstila utroši od 0,08-0,15 m³ vode. Zahvaljujući neefikasnom procesu bojenja, velike količine boje za tekstil završe u otpadnim vodama (Chequer et al. 2013; Pearce et al. 2003). Tradicionalne metode prečišćavanja otpadnih voda nisu dovoljno efikasne za prečišćavanje obojenih otpadnih industrijskih voda i često su praćene velikom potrošnjom energije i formiranjem nus-proizvoda. Tehnologije tretmana za kontrolu zagađenja bojama iz tekstilne industrije su od velikog značaja te se ulažu veliki naponi za njihov razvoj (Arami et al. 2005; Khouni et al. 2010).

Pre ispuštanja, otpadna voda iz tekstilne industrije prolazi primarni i sekundarni tretman. Primarnim tretmanom obuhvaćeni su uklanjanje čvrstih materija, slobodnih ulja i masti. Sekundarni tretman uključuje tretmane za smanjenje BPK, rastvorenih ulja i fenola, smanjenje sadržaja boja itd. (Visa & Chelaru 2014). Obezbojavanje voda je složen proces jer boje karakteriše visoka hemijska stabilnost. Iz tog razloga razvijen je širok spektar metoda za uklanjanje sintetskih boja i smanjenje njihovog uticaja na životnu sredinu. Neke od metoda koje se primenjuju su: adsorpcija na neorganskim ili organskim matricama (Santos et al. 2016; Mijin et al. 2008), fotokatalitička dekolizacija i oksidacija (Spagni et al. 2012), mikrobiološko uklanjanje boje (Puasa et al. 2012), filtracija (Gao et al. 2012), ozonizacija (Ward et al. 2006; Gomes et al. 2011) i elektrohemijsko obezbojavanje (Matsushita et al. 2007). Adsorptivno prečišćavanje je efikasan tretman ali nije ekonomski

isplativ. Sa aspekta zaštite životne sredine ni jedna od ovih metoda nije najpoželjnija. Pored ovih tretmana i hemijska oksidacija se pokazala kao veoma uspešna ali njena efikasnost u velikoj meri zavisi od vrste oksidanta. Kada se obezbojavanje otpadnih voda izvodi hemijskim putem poželjno je korišćenje što je moguće manje količine dodatnih hemikalija.

Glavni nedostatak procesa koji se izvode u šaržnim sistemima posledica je nehomogenog mešanja mešalicom. Kao posledica javljaju se temperaturni i koncentracioni gradijent koji imaju negativan uticaj na rezultate hemijskih reakcija. U reakcijama sinteze to može prouzrokovati neuniformnost kvaliteta proizvoda. U procesima obezbojavanja, glavni nedostaci neuniformnog mešanja su veća potrošnja hemijskih agenasa, energije i vremena potrebnog za odvijanje reakcije. Osim toga, uobičajeno korišćene tehnologije obezbojavanja za posledicu imaju stvaranje sporednih proizvoda i generisanje mulja. Generisani mulj i ostali čvrsti nus-proizvodi su otpad koji bi trebalo da bude tretiran pre konačnog odlaganja na deponiju. Sa ekonomske tačke gledišta, kao i sa aspekta zaštite životne sredine, ovo nije poželjna opcija.

Zahvaljujući porastu brige za okolinu ali i strogim zakonskim propisima, ulažu se naponi za rešavanje problematike otpadnih voda u industriji bojenja i obrade tekstila (Hoque & Clarke 2013). 1997. godine zaštite životne sredine Ujedinjenog Kraljevstva donela je odluku o zero emissions ispuštanju u morsku sredinu (Robinson et al. 2001). Poštovanja ovih standarda nadgledala je Agencija za životnu sredinu. Sve strožija regulatorna kontrola bila je praćena Okvirnom direktivom EU o vodama (Council directive 2000/60/EC 2000). To je stvorilo pritisak da se razviju nove inovativne tehnologije za tretman otpadnih voda.

Tekstilna industrija je uglavnom locirana u zemljama u razvoju gde zaštita životne sredine nije prioritet te postoje brojni izazovi u vezi sa obradom otpadnih voda ove vrste. Uobičajena je primena procesa obezbojavanja otpadne vode sa velikim viškom NaOCl-a čija su posledica velike količine tretirane otpadne vode sa visokim količinama neproreagovalog NaOCl-a koje se ispuštaju u vodoprijemnike. Jedan od ciljeva izvedenog istraživanja je modifikacija procesa sa ciljem smanjenja upotrebe sredstva za izbeljivanje što predstavlja unapređenje procesa u smislu čistih tehnologija.

C:I: Reactive Orange, RO16, pripada grupi anjonskih boja i uobičajeno se primenjuje u papirnoj i tekstilnoj industriji (Mijin et al. 2008). Reaktivne boje obično sadrže azo grupe u svom molekulu. Azo grupa može da bude vezana za različite reaktivne grupe pa ispuštanje boje ove vrste može imati značajne negativne posledice. RO16 se za razliku od drugih boja jer se za tekstilne boje vezuje kovalentnim vezama i ne može biti uklonjena na jednostavan način uobičajenim procesima. C:I: Basic Yellow 28 (BY28) sadrži u svom molekulu azometinsku grupu (-CH=N) i u industriji uobičajeno se koristi za bojenje svile i akrilnih vlakana. C.I. Acid Blue (AB111) pripada antrahinonskim hromoforama. Uobičajeno se koristi za bojenje vune a karakteriše je dobra postojanost na pranje.

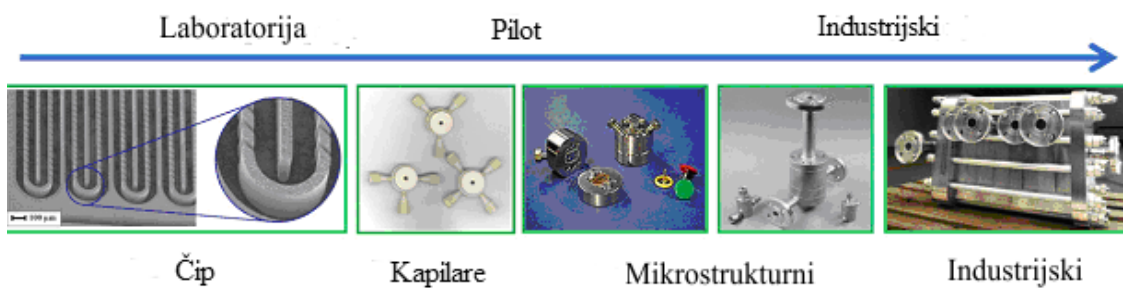
Mikroreaktorski sistemi, ubrajaju se u nove tehnologije koje uglavnom daju mnogo bolje rezultate od konvencionalnih tehnologija. Mikroreaktori u obliku čipa su obično napravljeni od stakla, silikona, poli-dimetilsiloksana (PDMS) ili poli-metil-metakrilata. Mikroreaktori u obliku čipa, zbog materijala od koga su napravljeni, se primenjuju za izvođenje reakcija koje se odigravaju na niskim pritiscima što otežava industrijsku primenu. Pored ove vrste mikroreaktora, značajno je pomenuti mikroreaktore u obliku kapilara. Ova vrsta mikroreaktora može biti izrađena od nerđajućeg čelika ili hemijski otpornih polimera visokih performansi kao što je poli-eter-eter-eton (PEEK) koji omogućava primenu radnih pritisaka do 450 bara. Mikroreaktorske sisteme najčešće čini mreža mikrokanala tipičnih dimenzija 10 – 500 μm sa odnosom površine i zapremine 10.000 do 50.000 m^2/m^3 koji su urezani u čvrstu pločicu koja može biti izrađena od stakla, silikona, polimernih i drugih materijala. Ovaj tip uređaja, ukoliko je izrađen od nerđajućeg čelika, može funkcionisati i pri pritiscima od čak 600 bara. Male dimenzije pružaju višestruke prednosti u odnosu na klasične makro uređaje. Upotreba mikroreaktorskih sistema olakšava izvođenje reakcija koje su izrazito egzotermne/endotermne, pa čak i reakcija koje zahtevaju upotrebu opasnih hemikalija (Dajić et al. 2014). Upotrebom mikroreaktorskih sistema se uvećanje procesa pojednostavljuje. Na taj način se smanjuju visoki troškovi projektovanja i skraćuje vreme za prenošenje iz laboratorijskih uslova na industrijski nivo. Moguće je povezati više hiljada uređaja sa zadržavanjem performansi kao na laboratorijskom nivou.

Još neke od prednosti mikroreaktorskih sistema su:

- jednostavnija instalacija u odnosu na konvencionalne tehnologije,

- manje prostora koje sistem zauzima,
- mogućnost korišćenja idealnih odnosa reaktanata i maksimiziranje prinosa proizvoda i
- jednostavno uvećanje proizvodnje umnožavanjem broja jedinica.

Slika 7 prikazuje tipove mikroreaktora.



Slika 7. Tipovi mikroreaktorskih sistema (Jovanovic 2011).

3. METODOLOGIJA

U ovom delu disertacije predstavljene su polazne hipoteze istraživanja i nakon toga metodologija istraživanja mogućnosti smanjenja uticaja čvrstih i tečnih materija na životnu sredinu primenom principa čistije proizvodnje na završne tretmane tehnoloških procesa.

3.1. Polazne hipoteze i cilj istraživanja

Polazne hipoteze na kojima je zasnovano ovo istraživanje su:

- Primena principa čistije proizvodnje u završnom tretmanu tehnoloških procesa je moguća i poželjna. U izabranim sektorima tretman čvrstog i tečnog otpada doprinosi smanjenju emisija zagađujućih materijala tretmana čvrstog i tečnog otpada doprinosi smanjenju emisija zagađujućih materija u zemljište i vode.
- Procena potrebe izmena i dopna Direktive o deponijama u pogledu primene BAT u oblasti odlaganja otpada značajna je kako bi zahtevi tehnološkog projektovanja završnog tretmana čvrstog otpada bili potpuno definisani i pogodni za primenu. Najznačajniji elementi novih dostupnih tehnika , koje bi trebalo istražiti, su:
 - 1) svojstva mineralnog prirodnog i/ili veštačkog materijala koji obezbeđuju nepropusnost,
 - 2) debljina sloja koju bi trebalo postaviti na deponije prema vrsti otpada koji će biti odložen,

- 3) metode za ispitivanje koeficijenta vodopropusnosti,
 - 4) životni vek mineralne barijere,
 - 5) vodopropusnost spojeva materijala i
 - 6) uloga zaptivnog sloja.
- Glavni nedostaci procesa uklanjanja tekstilne boje iz rastvora su nedostatak uniformnog mešanja, velika potrošnja hemijskih agenasa, energije i vremena za odigravanje reakcije. Jedan od osnovnih ciljeva pri valjanom projektovanju tretmana za prečišćavanje otpadne vode je postizanje većeg stepena prečišćavanja uz upotrebe minimalnih količina hemijskih agenasa. Predloženom primenom mikroreaktorske tehnologije uz korišćenje rastvora natrijum hipohlorita postiglo bi se efektivnije i efikasnije uklanjanje boja tekstila iz sintetisane otpadne vode u odnosu na klasične tretmane.

Cilj izvedenih istraživanja bio je unapređenje postojećih rešenja primenom čistije proizvodnje u oblasti tehnološkog projektovanja završnog tretmana na primerima u oblasti odlaganja otpada i oblasti prečišćavanja otpadnih voda iz tekstilne industrije.

3.2. Metodologija razvoja procesa završnog tretmana sa ciljem smanjenja uticaja čvrstih zagađujućih materija na životnu sredinu

Negativni uticaj zagađujućih materija iz odloženog otpada moguće je sprečiti projektovanjem deponija u skladu sa najboljim dostupnim tehnikama. Odloženi otpad u kombinaciji sa atmosferskim i otpadnim vodama prouzrokuje emisije različitih zagađujućih materija kao što su teški metali.

3.2.1. Zaštita zemljišta

U daljoj prošlosti nisu postojale eksplicitne preporuke za proces deponovanja, već je nadzor ostvarivan primenom Direktive o proceni uticaja na životnu sredinu iz 1985. god (EU 85/337/EEC 1985). Zbog posebnog značaja valjanog procesa deponovanja, umesto formulacije odgovarajućeg BREF dokumenta, 1999. godine je doneta Direktiva 99/31/EC o deponijama otpada, koja definiše osnove BAT u predmetnoj oblasti sa maksimalnim nivoom obaveznosti primene u EU (Council directive 1999/31/EC 1999). Istovremeno na snazi ostaju i opšti principi IPPC Direktive (Angliski 1985; European Comission 2014). Zemlje članice EU, kao i zemlje kandidati, u obavezi su da, u potpunosti, transponuju zahteve iz direktiva u svoje regulative.

3.2.2. Zaštita voda

Značajna negativna posledica odlaganja otpada na deponije su otpadne vode. Njihov kvantitet, niti kvalitet nije jednostavno predvideti pošto zavisi od mnogo faktora i značajno varira i tokom dana a posebno tokom godine. Sakupljanje voda ove vrste ostvaruje se drenažnim sistemima. Tretman procednih voda sa deponije moguće je vršiti zajedno sa komunalnim otpadnim vodama, otpadnim vodama iz transfer stanica, komunalnim otpadnim vodama iz pomoćnih objekata deponije i otpadnim vodama od pranja vozila.

Navedene činjenice govore u prilog tome da je potrebno projektovati robusno postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda. Iako postoji mnogo tehnika za tretman otpadnih voda, važno je pomenuti recirkulaciju kroz telo deponije. Recirkulacijom otpadnih voda ubrzava se stabilizacija i razgradnja otpada, smanjuje se njegova zapremina, smanjuje sadržaj štetnih materija, ubrzava stvaranje deponijskog gasa a samim tim i smanjuju troškovi tretmana.

3.2.3. Zaštita vazduha

Još jedna negativna posledica odlaganja otpada na deponije svakako je izdvajanje deponijskog gasa. Sa druge strane deponijski gas je identifikovan kao obnovljivi izvor energije. Obaveza zagađivača je sakupljanje, iskorišćenje ili spaljivanje deponijskog gasa. Upravljanje deponijskim gasom je od velikog značaja kako bi se sprečilo nastajanje požara i eksplozija kao i širenje neprijatnih mirisa.

U Srbiji, prema Zakonu o upravljanju otpadom obaveza vlasnika deponije je vršenje monitoringa i izveštavanje o emisijama deponijskog gasa. Iako je Srbija potpisnica Kjoto protokola, pošto pripada zemljama Aneksa II nije u obavezi da smanjuje emisije metana. Srbija je usvojila mehanizam čistog razvoja (engl. *Clean Development Mechanism*, CDM) za smanjenje gasova sa efektom staklene bašte.

Sakupljanje LFG moguće je postavkom horizontalnih vertikalnih cevi tzv. biotnova ili vertikalnih cevi multivel. Za potrebe odvođenja i spaljivanja deponijskog gasa na baklji u uobičajeno se biraju gasni bunari – biotnovi. Gasni bunari se postavljaju unutar tela deponije. Druga opcija je multivel – savremeni sistem za odvođenje deponijskog gasa koji se sastoji od gustih mreža vertikalnih i horizontalnih fleksibilnih bunara. U ovakvom sistemu biodegradacioni procesi su višestruko ubrzani. Prikupljeni deponijski gas se u generatoru prevodi u električnu i toplotnu energiju.

Procena ukupnih količina emitovanog gasa je značajan podatak za upravljanje deponijom. Količine nastalog odnosno emitovanog gasa moguće je predvideti različitim matematičkim modelima čija je upotreba uobičajena.

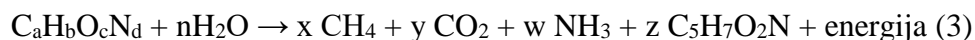
Modeli za procenu količine nastalog LFG pomoću podatka o odloženom otpadu su: triangular model, stehiometrijski model i LandGEM (engl. *Landfill Gas Emissions Model*).

Primena triangular modela započinje identifikacijom da li organske materije odložene na deponiju spadaju u brzo ili sporo razgradive materije. U sporo razgradive materije spada otpad čija razgradnja traje preko 25 godina dok se pod brzo razgradivim materijama podrazumeva otpad koji se razgrađuje od 3 meseca do 5 godina. Godišnja stopa razgradnje

otpada uslovljena je sadržajem vlage pri čemu je sadržaj vlage u rasponu od 50-60% najpovoljniji. Sporo razgradivi otpad ima najveću stopu nastajanja bio gasa tokom pete godine dok se sporo razgradivi otpad najbrže razgrađuje tokom prve godine od odlaganja otpada. U slučaju niskog sadržaja vlage, stvaranje deponijskog gasa pokazuje linearnu zavisnost. Ukupna proizvodnja biogasa izračunava se pomoću jednačine (2).

$$\text{Ukupna proizvodnja bio gasa (m}^3\text{/kg)} = \frac{1}{2} (\text{godine proizvodnje gasa}) * \text{stopa maksimalne proizvodnje biogasa ((m}^3\text{/kg god}^{-1}\text{)) (2)}$$

Opšta stehiometrijska jednačina



predstavlja osnovu stehiometrijskog modela. Ograničenje predstavljaju nerazgradive otpadne frakcije kao što su lignin i plastika ali i sadržaj toksina i vlage.

LandGEM model, razvijen u US EPA za osnovu ima jednostavnu jednačinu degradacije. Na osnovu količine odloženog otpada i kapaciteta stvaranja metana određuje se količina stvorenog metana. Softverski program LandGEM procenjuje količine LFG na osnovu podataka o zapremini otpada na deponiji, vrsti otpada, projekta deponije, konstante brzine stvaranja metana (K), potencijala stvaranja metana (L_0), koncentracije nemetanskih jedinjenja (npr. heksana), zapreminskog udela metana i ugljen dioksida u deponijskom gasu.

Procena emisija često nailazi na ograničenja. Pored ograničenja u dostupnosti podataka o sastavu i količini otpada nailazi se i na varijacije u operativnoj praksi tokom vremena. Tako npr. vlažni uslovi, recirkulacija otpadnih voda i drugih tečnosti dovodi do stvaranja većih količina gasa u kraćem vremenskom periodu.

Procenjuje se da je:

nastanak deponijskog gasa tokom životnog veka deponije između 39-50 m³/t;

iskorišćenje i obnavljanje gasa tokom životnog veka deponije između 150-200 m³/t;

godišnja stopa proizvodnje gasa 6-8 m³/t negde i preko 25 m³/t što omogućava veći potencijal iskorišćenja deponijskog gasa;

kalorijska vrednost nerazblaženog deponijskog gasa je oko 15-20 MJ/m³ (kalorijska vrednost prirodnog gasa je oko 37 MJ/m³);

proizvodnja deponijskog gasa tokom prvih 10 godina nakon odlaganja je 6 m³/t a

teorijska produkcija gasa u optimalnim uslovima je 400-500 m³/t razgradivog otpada.

Procenjuje se da je realni prinos gasa tokom životnog veka deponije značajno niži i to 100-200 m³ (Management of Low Levels of Landfill.Gas n.d.).

U slučaju da su objekti za sagorevanje deponijskog gasa maksimalno udaljeni 8 km od deponije na kojoj gas nastaje direktna upotreba deponijskog gasa je isplativa (Stevanovic-Carapina et al. 2010). Ovako dobijena toplotna energija može se koristiti u domaćinstvima dok bi se proizvedena električna energija mogla prodati Elektroprivredi Srbije po feed-in tarifi. Iskorišćenje CH₄ proizvedenog na deponiji moguće je preračunati na ekvivalent emisije CO₂ i prodati kao karbonski kredit. Efekat staklene bašte za približno 988 t ekvivalenta emisije CO₂ bio bi sprečen po 100 MW proizvedene energije od deponijskog gasa (Budisulistiorini B. S. n.d.).

U januaru 2013. godine Vlada RS usvojila je novu Uredbu o uslovima i postupku sticanja statusa povlašćenog proizvođača električne energije kao i Uredbu o merama podsticaja za povlašćene proizvođače električne energije. U slučaju električne energije dobijene na deponijski gas podsticajna cena je 6,91 c€/kWh (Sl. gl. RS br. 56/2016; 60/2017 2016). Očekuje se da će do 2030. god biti ostvareno 10-20% bio gasa na deponijama. Uredbom o odlaganju otpada na deponije (Sl. gl. RS br. 92/2010 2010) propisane su stope smanjenja odlaganja biorazgradivog otpada na deponije što govori u prilog značaju predviđanja nastajanja deponijskog gasa tj. ukazuje na potrebu projektovanja sistema za njegovo prikupljanje i iskorišćenje. Tokom rada sistema za iskorišćenje deponijskog gasa stvaraju se

kiseli dimni gasovi. Zbog toga je životni vek sistema relativno kratak, odnosno nakon samo dve godine postrojenje je neophodno obnoviti. Pored toga primena pojedinih tehnologija zahteva predtretman gasa, dodatni operativni materijal i tretman otpadnih voda koje nastanu kao nus-proizvod čime se dodatno povećavaju troškovi procesa. Pored postizanja ekonomske dobiti, značajna prednost iskorišćenja LFG gasa je zaštita vazduha od zagađenja

3.3. Metodologija razvoja procesa završnog tretmana sa ciljem smanjenja uticaja tečnih zagađujućih materija na životnu sredinu

U istraživanjima mogućnosti primene čistije proizvodnje smanjenjem uticaja štetnih materija na životnu sredinu na primeru prečišćavanja otpadne vode iz tekstilne industrije ispitana je mogućnost i uspešnost obezbojavanja ove vrste otpadne vode u šaržnim i mikroreaktorskim sistemima. Ispitan je uticaj parametara procesa u šaržnom i mikroreaktorskom sistemu. Proveren je uticaj molskog odnosa i dužine zadržavanja reakcione smeše u šaržnom sistemu na uspeh obezbojavanja dok je uspešnost obezbojavanja u mikroreaktorskom sistemu ispitana u zavisnosti od molskog odnosa, prečnika i dužine mikroreaktorskog sistema kao i vremena zadržavanja.

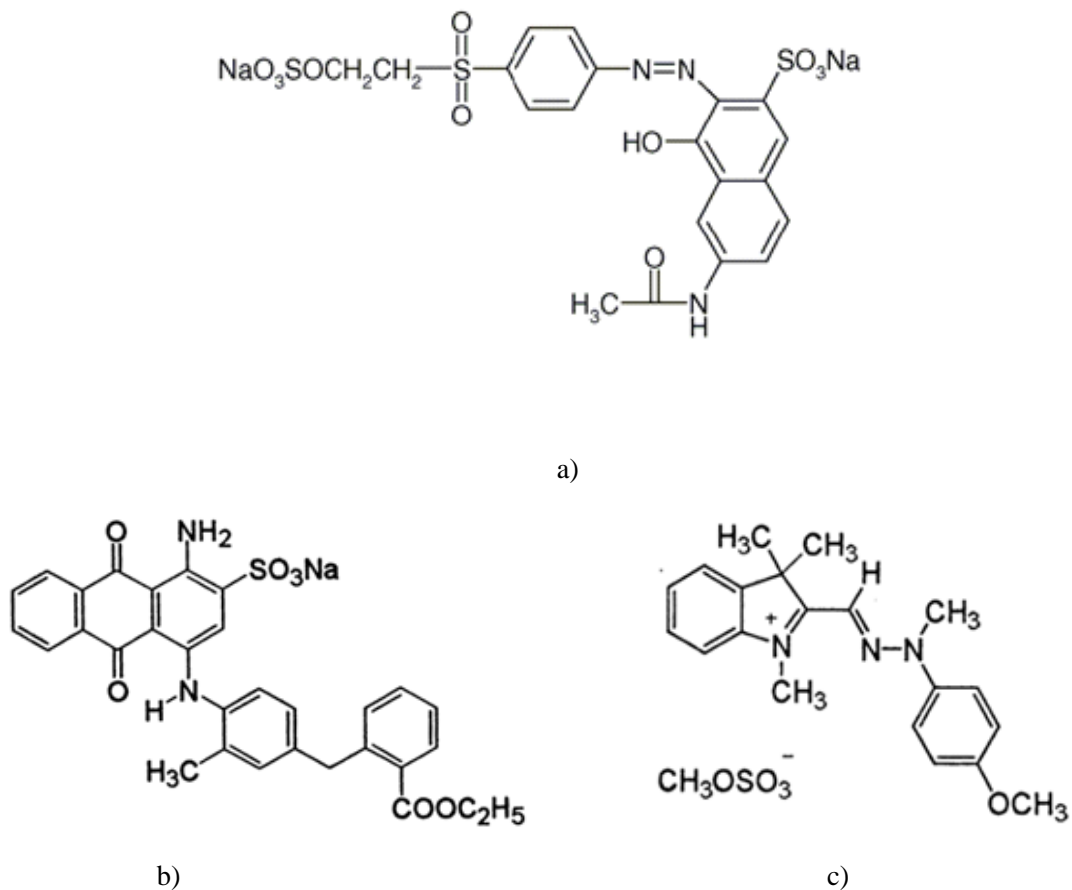
3.3.1. Materijali

Ispitivanja izvedena za potrebe ove doktorske disertacije uključivala su eksperimente u šaržnom i mikroreaktorskom sistemu. Prvi set ispitivanja izveden kako bi se utvrdili parametri pod kojima se u šaržnim uslovima obezbojavanje izvodi sa najviše uspeha. Optimalni uslovi su oni pod kojima se korišćenjem malih količina oksidativnih agenasa dobija obezbojena otpadna voda čiji kvalitet zadovoljava parametre zahtevane propisima o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode. Zatim je izveden set eksperimenata u mikroreaktorskom sistemu. Rastvori boje koji svojim sastavom simuliraju

otpadnu vodu tekstilne industrije (veliki sadržaj boje) napravljeni su na osnovu informacija o realnom sastavu otpadnih voda iz tekstilne industrije (Ward et al. 2006; Gomes et al. 2011; Matsushita et al. 2007) i korišćeni u eksperimentima u šaržnim i mikroreaktorskim sistemima.

Za pripremu vodenih rastvora boje korišćene su boje Reactive Orange 16 (RO16), Basic Yellow 28 (BY28) i Acid Blue 111 (AB111). Simulirana otpadna voda napravljena je rastvaranjem boja u demineralizovanoj vodi (Millipore-Waters Milli-Q) tako da koncentracija boje bude $0,13 \text{ mmol/dm}^3$ što odgovara veoma zaprljanim otpadnim vodama (Ward et al. 2006).

Hemijske strukture RO16, BY28 i AB111 prikazane su na slici 8.



Slika 8. Hemijske strukture a) RO16, b) BY28 i c) AB111

Nakon rastvaranja boje, rastvor je mešan na magnetnoj mešalici (C-MAG HS 7) kako bi se postiglo potpuno rastvaranje. Za potrebe ovog eksperimenta, uklanjanje boje vršeno je pomoću uobičajeno korišćenog komercijalno dostupnog 1% w/w rastvora natrijum hipohlorita (Alstman, Beograd), koji je dodatno razblažen pre primene. Natrijum hipohlorid je najstarije primenjivano sredstvo za hemijsku dezinfekciju (Lomander et al. 2004) i obično se koristi kao sredstvo izbeljivanje ali i sredstvo za uklanjanje zagađivača koji su otporni na tretman NaOH, izbeljivanje i uklanjanje fleka.

Za potrebe eksperimenata u šaržnim sistemima, reakcione smeše, vodeni rastvor boje i NaOCl, mešana je na magnetnoj mešalici (C-MAG HS 7) brzinom od 250 rpm u različitim vremenskim intervalima.

3.3.2. Predistražna ispitivanja

U predistražnom setu eksperimenata obezbojavanje je izvođeno u mikroreaktorskom sklopu sastavljenom od dve precizne špric pumpe „NE 300 Just Infusion one channel syringe pump“, sa opsegom protoka od nekoliko mikrolitara po minutu do nekoliko litara na sat. Pumpe su bile povezane sa specijalnim staklenim špricovima zapremine 10 ml, slike 9 i 10. Špricevi su preko kapilara dužine približno 10 cm i prečnika 0,250 mm preko T spoja bili povezani sa kapilarom dužine 3,8 m. Na kraju sistema proizvod reakcije je prihvaćen u laboratorijske viala odgovarajućih zapremina. U ovom preliminarnom ispitivanju, ukupni protok bio je 70 $\mu\text{l}/\text{min}$ i 105 $\mu\text{l}/\text{min}$.



Slika 9. Mikroreaktorski sklop predistražnih ispitivanja

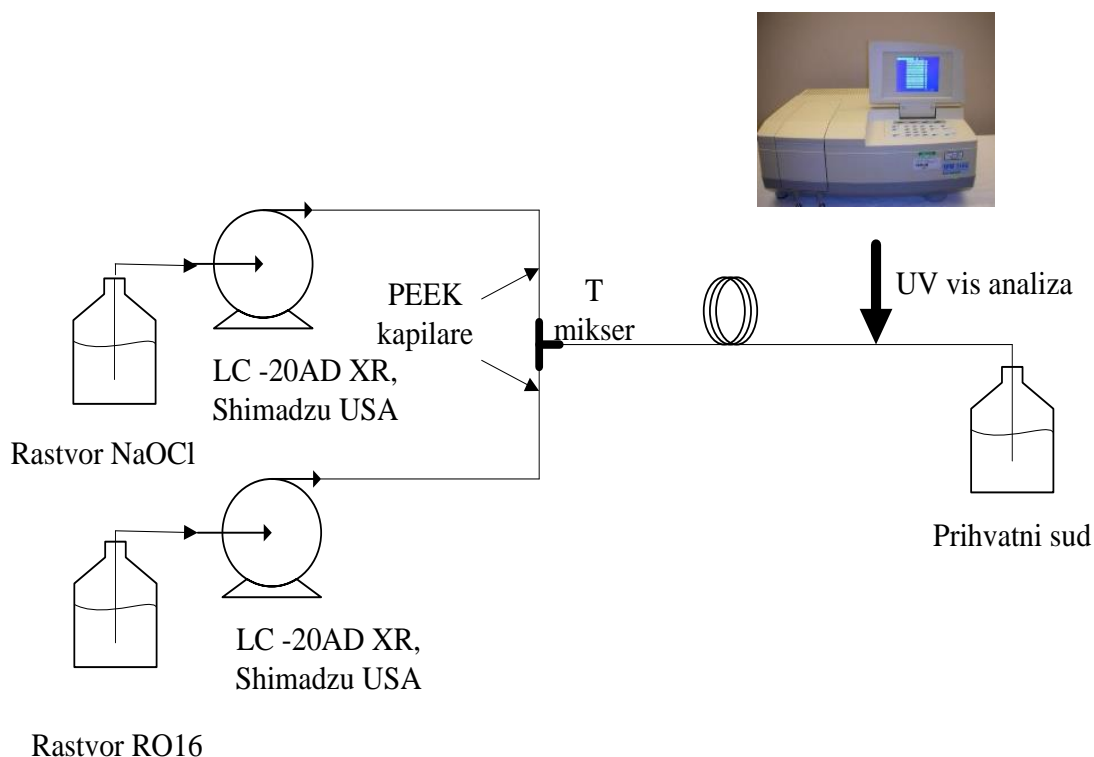


Slika 10. Izlaz reaktanta iz špriceva u predistražnim ispitivanjima

Eksperimenti u šaržnom sistemu, reakciona smeša boje i rastvora NaOCl mešana je magnetnom mešalicom (C-MAG HS 7) brzinom od 250 o/min u različitim vremenskim intervalima.

3.3.3. Istraživanja na primeru simulirane otpadne vode tekstilne industrije

U izvedenim eksperimentima, mikroreaktorski set bio je konstruisan pomoću dve pumpe (LC-20AD XR, Shimadzu USA Manufacturing Inc), T miksera i kapilarnih mikroreaktora. Na slikama 11 i 12 prikazane su postavke eksperimenata. Reaktori, unutrašnjih prečnika 0,5 i 0,25 mm; dužina 3,8, 5,8 i 9,8 m su od hemijski otpornog polimera visokih performansi PEEK (polyether ether ketone) proizvođača VICI Jour.



Slika 11. Skica postavke eksperimenta: dve pumpe preko kojih se reakciona smeša snabdeva reaktantima su preko T spoja povezane sa kapilarnim mikroreaktorom



Slika 12. Postavka eksperimenta, T mikser povezan sa PEEK kapilarama

U prvom setu eksperimenata varirana je dužina mikroreaktora i brzina protoka što je za rezultat imalo promenu vremena zadržavanja reakcione smeše u sistemu i promenu intenziteta mešanja. Korišćene su i različite koncentracije rastvora NaOCl kako bi i uticaj tog parametra na obezbojavanje bio proveren. Uticaj dužine mikroreaktora i molskog odnosa u reakcionoj smeši na uspešnost obezbojavanja analizirane su pri fiksnom protoku reaktanata $c(\text{NaOCl}):c(\text{RO16})$ od 0,1:0,2 cm^3/min . Zatim je uticaj rezidencionog vremena proveren promenom protoka reakcione smeše pri fiksnoj dužini mikroreaktorskog sistema od 9,8 m i molskom odnosu $c(\text{NaOCl}):c(\text{RO16})$ 3,3. Konačno, uticaj prečnika i brzine protoka u mikroreaktorskim sistemima na uspešnost obezbojavanja proveren je u različitim sklopovima mikroreaktorskih sistema prečnika 0,5 mm i 0,25 mm pri molskim protocima $F(\text{NaOCl}):F(\text{RO16})$ 0,1/0,2 cm^3/min i 0,2/0,4 cm^3/min pri dužini mikroreaktora od 5,8 m i molskom odnosu $c(\text{NaOCl}):c(\text{RO16})$ 5,0.

Nakon toga, izvedeni su eksperimenti u cilju ispitivanja uspešnosti uklanjanja boje u slučaju da simulirana otpadna voda sadrži AB111 i BY28. Dužina mikroreaktorskog

sistema bila je fiksirana na 5,8 m, a molski odnos reakcione smeše $c(\text{NaOCl}):c(\text{RO16})$ bio je 3,3.

Na izlazu iz sistema, uzorci su prihvatani u laboratorijske viala. Reakcija je zaustavljena korišćenjem H_2O_2 (Held & Halko 1978). Uspešnost obezbojavanja kvantifikovana je spektrofotometrijski (UV-Vis Shimadzu 1700) u vidljivom delu spektra na 489 nm, 438 nm i 634nm za RO16, BY28 i AB111 respektivno. Korišćena je standardna metoda poređenja dobijenih rezultata apsorpcije sa kalibracionom krivom. Kalibraciona kriva pruža informacije o količini boje prisutne u prihvaćenom uzorku, rezultatu procesa obezbojavanja, iz koga je moguće preračunati procenat uklonjene boje. Svi eksperimenti izvedeni su na sobnoj temperaturi između 20 i 23 °C u tri ponavljanja.

Hemijska potrošnja kiseonika (HPK) analizirana je pomoću Lovibond MultiDirect multiparametarskim kolorimetrom. Uzorci su pripremljeni prema uputstvu spektrofotometrijske metode za proveru HPK vrednosti uzorka korišćenjem domaćih reaktanata (Li et al. 2009; Mijin et al. 2008) i Lovibond Vario kiveta za određivanje vrednosti HPK.

pH vrednosti proizvoda reakcije mereni su pomoću laboratorijskog pH metra InoLab 730, Germany.

Promena brzine protoka mogla bi da dovede do promene režima toka reakcione smeše. Određivanje režima toka (laminarnog ili turbulentnog) urađeno je na osnovu izračunatih vrednosti Rejnoldsovog broja. Rejnoldsov broj računat je na osnovu podataka o viskoznosti smeše dobijenih merenjem rotacionim viskozimetrom (LE0089, EUInstruments).

4. REZULTATI I DISKUSIJA

U nastavku teksta prikazani su rezultati istraživanja izvedenih na polju mogućnosti smanjenja emisija na primeru čvrstih i tečnih zagađujućih materija. Uz rezultate data je i odgovarajuća diskusija.

4.1. Rezultati istraživanja mogućnosti smanjenja uticaja čvrstih zagađujućih materija razvojem procesa završnog tretmana na primeru odlaganja otpada

Na osnovu komunikacije sa Ministarstvima zaštite životne sredine zemalja članica (i kandidata) izvedena je uporedna analiza nacionalnih zakona. Zahtevani uslovi za projektovanje deponije uglavnom su bili vezani za izgradnju, svojstva materijala, vrstu obloge (geo-sintetička, mineralna ili geo-kompozitna), životni vek i sistem za kontrolu. Pregled rezultata dat je u tabeli 4.

Tabela 4. Pregled razrade zahteva Direktive na nacionalnom nivou

Država	Materijal	Debljina sloja, m	k, m/s	Napomena	Izvor
Francuska	U skladu sa Direktivom	1	$\leq 1,0 \cdot 10^{-9}$	<p>Preporučene su detaljne smernice za optimizaciju odgovarajuće upotrebe veštački uspostavljene barijere. Geološka i hidrogeološka ispitivanja moraju jasno prikazati malu propustljivost materijala.</p> <p>Obavezan je sloj materijala debljine iznad 5 m sa koeficijentom vodopropusnosti od $K < 10^{-6}$ m/s.</p>	(Permitting & October 2009)

Nemačka	Mineralna obloga i geosintetički ili asfaltna prekrivka.	$\geq 0,7$	$\leq 5 \cdot 10^{-10}$	<p>k se obavezno meri pod pritiskom vodenog gradijenta od $i = 30$.</p> <p>Ako geološka barijera prirodno ne ispunjava ove uslove, trebalo bi da bude ojačana na način da ih ispuni. U tom slučaju, debljina sloja (d) može biti smanjena na minimum 0,5 m ukoliko se tom debljinom postiže isti zaštitni efekat. Kada je postavljena, barijera mora ispuniti funkciju u periodu od bar 100 godina.</p>	(German & Government 2009)
Mađarska	U skladu sa Direktivom	≥ 1	$\leq 1,0 \cdot 10^{-9}$	<p>Dva sloja se mogu smatrati ekvivalentnim ukoliko je protok toka zagađujućih materija isti, tj. ako imaju isti kapacitet zadržavanja. Projektant mora dokazati ovu ekvivalentnost proračunima a realizator laboratorijskim ispitivanjima.</p>	(Buclet et al. 2009)

Luksemburg	Sloj sličan glini	60	n.d.	Tokom ovog istraživanja jedini podatak koji je nađen razmatrao je deponiju sa geološkom barijerom. Nije bilo podatka o merenju koeficijenta vodopropunosti gline.	(Golder Associates 2005)
Crna Gora	U skladu sa Direktivom	≥ 1	$\leq 1,0 \cdot 10^{-9}$	Trebalo bi proveriti stabilnost veštački uspostavljene geološke barijere geomehaničkim proračunima i trebalo bi dokazati karakteristike materijala eksperimentalnim ispitivanjima.	(Narodna Skupština CG, 064/11 od 29.12.2011 2016)
Holandija	U skladu sa Direktivom	≥ 1	$\leq 1,0 \cdot 10^{-9}$	Neophodni zahtevi koje bi barijera trebalo da ispuni: maksimalni protok kroz mineralni sloj+geo-membranu $e < 5$ mm/godišnje (l/m^2); maksimalni protok kroz mineralni sloj < 20 mm/y (sa 0,8-m hidrauličkim pritiskom vodenog stuba); i otpad mora da bude 0,7 m iznad najviše tačke podzemnih voda.	(MinistriVROM1997 n.d.)

Portugal	Kompaktna glina u kombinaciji sa bentonitnim geokompozitom.	0,5	n.d.	Nema.	Iz e-mail komunikacije.
Škotska	U skladu sa Direktivom	≥ 1	$\leq 1,0 \cdot 10^{-9}$	Neophodno je da mineralni sloj ima ista ili bolja svojstva od onih propisanih Direktivom. Pošto su propisani identični zahtevi za debljinu i vodopropusnost materijala, jedino je potrebno razmotriti zahtev za vrednostima kapaciteta katjonske razmene. Ekvivalentna vrednost mora biti postignuta odgovarajućom debljinom i vrednošću koeficijenta vodopropusnosti računatih prema identičnim faktorima. Jedino bi tako uticaj na životnu sredinu bio identičan.	(ScottishEnvironmentProtectionAgency 2002)

Srbija	U skladu sa Direktivom	≥ 1	$\leq 1,0 \cdot 10^{-9}$	Lokalni i Regionalni planovi, koji zahtevaju implementaciju Direktive, su u završnoj fazi. Planovi za vrednovanje i monitoring zahtevaju dodatne mere za ispunjavanje svih propisanih zahteva. U slučaju kada prirodna geološka barijera ne ispunjava zahteve propisane zakonom ona može biti ojačana prirodnim i veštačkim materijalom ali na način da ispunjava propisane zahteve prvenstveno u vezi sa koeficijentom vodopropusnosti.	(Sl. gl. RS br. 92/2010 2010)
Slovačka	Veštački ojačana geološka barijera	$\geq 0,5 \text{ m}$	$\leq 1,0 \cdot 10^{-9}$	Veštački mineralni sloj mora imati takve karakteristike da spreči promenu svojstava mineralnog sloja i da ima sposobnost da se prilagodi deformacijama a mora biti postavljen u dva sloja debljine od po 0,25 m.	(SlovakEnvironmentalEnvironmentalAgency 2009)

Španija (Katalonija)	Veštačka barijera	≥ 2	$\leq 1 \cdot 10^{-9}$	Veštačka hidroizolacija: za deponije za opasan otpad, barijera mora biti od mineralnog sloja, gline, minimalne debljine 1,5 m sa koeficijentom vodopropusnosti manjim ili jednakim od $5 \cdot 10^{-10}$ m/s.	(Decreto Katalonija 1997)
Švedska	n.d.	n.d.	n.d.	Deponija mora biti napravljena da ne propušta procedne vode ni tokom operativne faze ni nakon zatvaranja. Trebalo bi postaviti geološku barijeru koja ispunjava sledeće zahteve: vreme prolaza procednih voda kroz geološku barijeru ne bi trebalo da bude kraće od 200 godina, za deponije za opasan otpad, 50 godina za deponije za neopasan otpad i 1 godine za deponije inertnog otpada.	(Code 2000)

Švajcarska	Prirodna geološka barijera	≥ 7	Srednja vrednost u svakom smeru $1,0 \cdot 10^{-7}$	Komunalni otpad mora biti spaljen. Deponije u Švajcarskoj se koriste jedino za odlaganje otpada koji ne gori. Deponije su klasifikovane u jednu od tri kategorije, u skladu sa vrstom otpada koja se na njih odlaže, i to: deponije za inertan otpad,	(Swiss Confederation The n.d.)
------------	----------------------------	----------	--	---	--------------------------------

	<p>Prirodna geološka barijera sa najmanje 3 homogena neuznemirena dodatna sloja</p>	<p>≥ 2</p> <p>0,6</p>	<p>Srednja vrednost u svakom smeru</p> <p>$1,0 \cdot 10^{-7}$</p> <p>Srednja vrednost u svakom smeru</p> <p>$1,0 \cdot 10^{-8}$</p>	<p>deponije za stabilisan ostatak i bioaktivni materijal. Deponije za opasan otpad zahtevaju pažljiviji monitoring nego deponije za inertan otpad.</p>	
--	---	---------------------------------------	---	--	--

Engleska	Veštački ojačana barijera	$\geq 0,5$	n.d.	<p>U slučaju kada se mineralni sloj koristi kao barijera, zbog finije granulacije, postavlja se u sloju od 300 mm ili deblje prekriven je geotekstilom i sistemom za prikupljanje procednih voda. Veštački ojačana barijera, mora biti debljine bar 0,5 m debljine. Ovo onemogućava korišćenje geo-sintetičkog sloja kao jedinog sloja za ojačavanje mineralne barijere. Ukoliko projektant projektuje na način da se odstupa od nekog od zahteva za barijeru za geotehnički ili uslov zaštite životne sredine, uslov za ispunjenje ekvivalentnosti zaštite mora biti pokazan. U slučaju kada geološka barijera prirodno ne pruža dovoljan stepen zaštite, može biti veštački ojačana. U oblastima sa niskom osetljivošću može biti primenjena samo veštački uspostavljena barijera. Osnovni zahtevi za prirodnu barijeru od gline su niska vodopropusnost tokom dužeg vremenskog perioda. U dokumentu je „provodljivost“ sinonim za „vodopropusnost“ i to je strogo ograničeno na zasićene uzorke u skladu sa BS1377 (1990) deo 6 metod 6 (test sa triaksalnom ćelijom). Uzorci za testiranje bi trebalo da budu ispitani pod tačno određenim uslovima pritiska i pritiska vodenog stuba .</p>	(Environment Agency 2007)
----------	---------------------------	------------	------	---	---------------------------

Belgija (Flamanska Regija)	Zakonodavstvo po ovom pitanju nije preciznije od evropske regulative.	Iz e-mail komunikacije.
Bugarska		Iz e-mail komunikacije.
Estonija		Iz e-mail komunikacije
Grčka		(RepresentationPermanentTheDeputy 2003)
Italija		Iz e-mail komunikacije.
Malta		(ENVProtectionAct 2002)

*n.d. nije definisano

Podaci prikazani u tabeli 4 prikazuju široku raznovrsnost u zakonskim zahtevima u zemljama širom Evrope koje bi trebalo ispuniti. U nekim državama, npr. Nemačkoj i Holandiji, zakoni propisuju veoma detaljne zahteve u pogledu koeficijenta propustljivosti odnosno načina na koji se koeficijent propustljivosti određuje. Nemački uslov je, na primer, debljina sloja od 0,7 m sloja materijala koji karakteriše koeficijent vodopropusnosti od $5 \cdot 10^{-10}$ m/s. Dodatno, nemački zakon propisuje da koeficijent vodopropusnosti mora biti određen metodom nemačkog DIN standarda. Francuska propisuje stroga pravila za procenu ekvivalentnosti veštačkih materijala. Određeni broj zemalja samo navodi uslove iz Direktive bez ikakvog objašnjenja ili preporuka (Bugarska, Grčka, Srbija, Italija...). Generalni zaključak je da razvijenije zemlje imaju ekološku svest na višem nivou i njihovim zakonima su propisani detaljniji uslovi koje bi trebalo ispuniti. Među državama koje imaju detaljnije propisane uslove koje bi trebalo ispuniti su: Francuska, Nemačka, Engleska, Škotska, Holandija, Slovačka, Španija, Švedska, Švajcarska i Mađarska. Zahtevi za kvalitetom barijera su veoma raznoliki. Na primer zahtev za debljinom barijere za neopasan otpad, kao što je prikazano u tabeli 4, ide od 0,5 do 0,7 m dok se zahtev za koeficijentom vodopropusnosti kreće u rasponu od $1 \cdot 10^{-7}$ do $5 \cdot 10^{-10}$ m/s. U nekim zemljama nacionalnim propisima se zahteva specifična debljina kojom se ispunjavaju propisani zahtevi. U propisima nekih država se zahteva ispunjavanje zahteva za maksimalnim dozvoljenim rezidencionim kapacitetom. Svi navedeni uslovi imaju sličan smisao. Razlika se ogleda u načinu formulacije zahteva čiji je rezultat u suštini identičan. Pregledom zakona i šarolikost među njima kao rezultat ima pitanje postoji li potreba za uniformisanjem zahteva u zakonima u zemljama Evropske Unije (i njihovim kandidatima)? Pošto se Direktiva posmatra kao najbolja dostupna tehnika za projektovanje deponija, dalja razrada elemenata bi predstavljala korak bliže primeni principa čistije proizvodnje u odlaganju otpada. To bi moglo biti postignuto proširivanjem teksta Direktive detaljnim objašnjenjima pojedinih termina i pojmova.

Proširivanjem teksta Direktive bilo bi olakšano razumevanje zahteva i ciljeva Direktive što bi pomoglo u formulisanju teksta za nacionalne zakone. Jedan od osnovnih ciljeva pri valjanom projektovanju deponije je smanjenje zagađenja i smanjenje uticaja na životnu sredinu. Predloženim izmenama bi se rešile postojeće nejasnoće.

Primer iz Srbije koji ilustruje trenutnu praksu je da se HDPE folija postavlja u funkciji vodonepropusnog materijala (ne kao zaptivni sloj). Većina deponija u Srbiji ima sloj od 0,5 m gline. Da bi se glina koristila kao nepropusni sloj, laboratorijska merenja bi trebalo da dokažu da je uslov o koeficijentu vodopropusnosti od $1 \cdot 10^{-9}$ m/s ispunjen. Ne postoji primer proračuna za ispunjavanje ekvivalentne zaštite u slučaju da je koeficijent vodopropusnosti gline veći od $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Pored toga, laboratorijski izveštaji ne pružaju informaciju o vrsti primenjene tečnosti i hidrauličkom gradijentu. Ovo je važno jer se može desiti da otpadne vode sa deponije oštete zaštitni sloj i ozbiljno zagade podzemne vode. U daljem tekstu predlozi dopune teksta Direktive su dati italic.

4.1.1. Predlozi za unapređenje BAT

Analizom Direktive izveden je zaključak da su pojedini delovi, kao npr. Aneks I tačka 3 nedovoljno jasno napisani u pogledu zaštite vode i vazduha.

4.1.1.1. Značenje pojma veštački uspostavljena barijera

Prilikom proučavanja ove problematike, prvo pitanje koje se nameće je: da li je glina koja je iskopana pa prebačena na drugo mesto veštački uspostavljena barijera? I može li veštački uspostavljena barijera da bude kompozit ili višekomponentni sloj? Odgovori na ova pitanja bi trebalo da se nađu u tekstu Direktive kako bi bila sprečena upotreba materijala koji nisu odgovarajući za ovu namenu.

Veštački uspostavljena geološka barijera je uniformni ili kompozitni materijal. Glina iskopana na jednom mestu a postavljena kao sloj na drugo mesto posmatra se kao veštački uspostavljena geološka barijera.

4.1.1.2. Debljina sloja

Debljina prirodne mineralne barijere jasno je definisana Direktivom. Često se umesto prirodne mineralne barijere na deponije postavlja veštački uspostavljena, višeslojna barijera. Takva barijera naziva se veštački ojačana barijera ili veštački uspostavljena barijera i trebalo bi da pruži zakonom propisanu zaštitu kao i da njen sloj ne bude tanji od 0,5 m. Prvi problem koji se nameće je da li će propisanom debljinom biti ispunjeni uslovi o vodonepropusnosti. Pojedini vodonepropusni slojevi su tanji od 0,5 m a debljina od 0,5 m se postiže dodavanjem gline. U Direktivi nije precizirano da li bi trebalo da bude mereno i računato samo za vodonepropusni sloj ili za ceo sloj kompozitnog materijala od 0,5 m. Važno pitanje je i na koji način bi trebalo proveriti ekvivalentnu zaštitu. Direktivom bi trebalo propisati da li bi nivo ekvivalentne zaštite trebalo računati usvajanjem nekog od načina na koji se računa u nekoj od evropskih zemalja ili bi trebalo da bude izračunat na neki poseban određeni način?

Odgovarajući način proračuna bi trebalo da za osnovu ima Darsijev zakon. Posledica proračuna sa različitim vrednostima primenjenog vodenog stuba su različiti rezultati proračuna, pa bi najbolje bilo nacionalnim zakonima propisati pritisak vodenog stuba koji bi trebalo koristiti u proračunima. Usvojenu ili proračunatu vrednost fluksa bi trebalo dalje koristiti u proračunima kao promenljivu. Za ove namene, proračuni dati holandskim zakonima imaju najviše smisla. Za barijeru donjeg sloja, dozvoljeni fluks je 20 mm/godišnje za pritisak vodenog stuba od 0,8 m 365 dana (Ministri VROM 1997 n.d.).

U slučaju višeslojnih barijera, ukupna zaštita i koeficijent vodopropusnosti bi trebalo odrediti za svaki sloj posebno. Koeficijent vodopropusnosti višeslojne obloge je jednostavno izračunati i način proračuna bi trebalo da se nađe u nacionalnoj razradi. Nivo podzemnih voda kao i koeficijent vodopropusnosti zemljišta na kome se planira izgradnja deponije bi takođe trebalo da budu uzete u obzir. U slučaju kada je nivo podzemnih voda visok, strožije uslove bi trebalo primeniti u proračunu.

U slučaju obloga od kompozitnih materijala, ukupna debljina sloja bi trebalo da bude 0,5 m. Na primer, ako je debljina nepropusnog sloja u kompozitnom materijalu 0,07 m a kao

osnova se koristi pesak, veštački uspostavljena barijera bi se sastojala od 0,07 m vodonepropusnog materijala i sloja od 0,43 m peska.

U nacionalnim zakonim bi trebalo da bude propisan vodič za računanje ekvivalentne zaštite.

4.1.1.3. Uslovi za određivanje koeficijenta vodopropusnosti

Aneks I Direktive, u tački 3.5 navodi da bi metod za određivanje vodopropusnosti trebalo da bude razvijen i odobren od Komisije i usklađen sa članom 17 Direktive, ali to do danas to nije urađeno. Škotska agencija za zaštitu životne sredine je objavila dokument sa privremenim smernicama za određivanje koeficijenta vodopropusnosti.

Tokom procesa kojim se odobrava standardizovanje metode, pitanje određivanja koeficijenta vodopropusnosti je veoma osetljiva tačka. Nekoliko parametara ima veliki uticaj na rezultate merenja vodopropusnosti. Jedan od njih je i hidraulički gradijent. Hidraulički gradijent možda nije najvažniji ali je najosetljiviji i najteži za razumevanje. Direktivom bi trebalo postaviti granice. Vrednost hidrauličkog gradijenta od 15-30 je nedovoljno da se osigura da će ispitivanje biti završeno u nekom prihvatljivom vremenskom intervalu. Još jedan od razloga za oprez u tumačenju rezultata je mogućnost da se različiti rezultati dobiju u zavisnosti od veličine uzorka. Prema tome Direktivom bi trebalo da bude naglašeno da je rezultate ispitivanja neophodno tumačiti u skladu sa primenjenim uslovima ispitivanja. Pouzdanost i uporedivost dobijenih rezultata je veća ukoliko su merenja urađena od strane akreditovane laboratorije i po odgovarajućem međunarodno priznatom standardu (Council directive 1999/31/EC 1999). Direktivom je propisana jedino vrednost koeficijenta vodopropusnosti i debljine sloja a dopunom zahteva Direktive bi se osigurala bolja zaštita životne sredine što je i primarni cilj Direktive.

Uslovi laboratorijskog ispitivanja vrednosti koeficijenta vodopropusnosti bi trebalo, što je više moguće, da odgovaraju uslovima na deponiji. U suprotnom, laboratorijska merenja bi trebalo da se izvode pimenom vrednosti hidrauličkog gradijenta 15-30. Mernje bi trebalo

izvesti u akreditovanoj laboratoriji u skladu sa međunarodno priznatim standardom ISO/IEC 17025:2017 (ISO/IEC17025:2017 n.d.). Izveštaj bi trebalo da sadrži podatke o primenjenom hidrauličkom gradijentu i vrsti tečnosti.

4.1.1.4. Životni vek mineralne barijere

Pažljivo projektovana deponija sa odgovarajućim mineralnim slojem na površini ima svoj životni ciklus. Veoma je važno deponiju posmatrati kao kontinualni projekat, od koncepta, kroz planiranje i projektovanje, izgradnju do zatvaranja. Odluke oko svake faze posebno bi trebalo da budu integrisane sa prthodnim fazama i u skladu sa planovima za njenu budućnost. Životni ciklus deponije obuhvata tri faze: razvoj, operativnu fazu i zatvaranje. Razvoj obuhvata istraživanje, planiranje, projektovanje i dobijanje neophodnih dozvola. Sledeća je operativna faza koja uključuje izgradnju i depoziciju otpada. Poslednja faza je zatvaranje i briga nakon zatvaranja. Prilikom planiranja, trebalo bi uzeti u obzir moguće promene tokom životnog ciklusa deponije. Razlaganje odloženog otpada traje i nakon što je prošlo 30 godina od zatvaranja deponije ali nakon 100 godina od zatvaranja pretpostavlja se da je proces završen. Predloženo je da se deponija projektuje tako da barijera ispunjava sve zahtevane uslove bar 30 godina tokom operativnog rada i bar 30 godina nakon zatvaranja. Tokom rada deponije trebalo bi da bude obezbeđena nepromenjena zaštita u svakom smislu.

Nacionalno zakonodavstvo bi trebalo da propiše način čijim ispunjavanjem bi zahtevi Direktive bili ispunjeni.

4.1.1.5. Zaptivni sloj

Zaptivni sloj i mineralni sloj su dva termina koji se često tumače pogrešno iako su u tekstu Direktive sasvim jasno definisani. Ponekad se u procesu projektovanja deponije, na primer

u Srbiji veoma često, HDPE folija često koristi kao nepropusni umesto kao zaptivni sloj što je pogrešno i suprotno propisima Direktive (Aneks I Tačka 3.3). Precizna definicija na nacionalnom nivou trebalo bi da razreši sve nedoumice.

Nacionalni propisi trebalo bi da dodatno razrade i objasne ulogu zaptivnog sloja.

4.1.1.6. Vodopropusnost spojeva

Neki materijali, koji se koriste da obezbede vodonepropusnosti, nisu kontinualni odnosno potrebnu površinu je neophodno obezbediti iz delova. Vodopropusnost spojeva materijala se može razlikovati od vodopropusnosti materijala.

Ako veštački uspostavljena barijera sadrži spojeve, vrednost koeficijenta vodopropusnosti mora biti dokazana za spojeve posebno.

4.1.1.7. Standardizacija metoda za ispitivanje koeficijenta vodopropusnosti

S obzirom da zahtevi definisani tačkom 3.5 Aneksa I nisu ispunjeni ni nakon 15 godina, pojedine zemlje izdaju privremene odluke ili smernice. Ovi čisto administrativni zahtevi nisu tačni i trebalo bi primeniti drugačiji pristup. Direktivom bi trebalo da bude postavljen zahtev za obavezno ispitivanje koeficijenta vodopropusnosti u akreditovanoj laboratoriji (u skladu sa ISO 1725 „Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija za etaloniranje“ povezanim sa evropskom kooperacijom sa multilateralним sporazumima EA MLA 2013). U skladu sa tim, postojeći tekst bi trebalo zameniti:

Određivanje koeficijenta vodopropusnosti za deponije, trebalo bi da bude izvedeno u laboratoriji akreditovanoj u skladu sa Međunarodnim standardom ISO/IEC 17025:2005 „Opšti zahtevi za kompetentnost laboratorija za ispitivanje i laboratorija za etaloniranje“.

4.1.2. Stanje u Srbiji

Zakonom o upravljanju otpadom definisano je tzv načelo blizine i regionalnog pristupa pri upravljanju otpadom. Ovim zakonom propisano je da se “otpad tretira ili odlaže što je moguće bliže mestu njegovog nastanka, odnosno u regionu u kojem je proizveden” (Sl. gl. RS br. 36/2009, 88/2010 2016). Strategijom o upravljanju otpadom za period od 2010-2019. godine propisane su smernice kojima bi se smanjilo opterećenje životne sredine kao rezultat proizvodnje a zatim i tretmana otpadnih materija.

Svesni postojanja različitih tehnologija i tehnika za tretman otpada u Srbiji je odlaganje otpada i dalje dominantno. Nacionalna strategija za upravljanje otpadom 2010-2019 nalaže da se postojeća smetlišta moraju zatvoriti, a sav sakupljen komunalni čvrsti otpad mora se deponovati na 24 do 29 regionalnih deponija. Ovaj cilj neophodno je postići do 2025. godine. Regionalne deponije su one deponije projektovane u skladu sa Direktivom o upravljanju otpadom Evropske unije, obično ih formira do 10 opština, sa preko 200.000 stanovnika (Sl. gl. RS br. 29/10 2010).

Otpad deponovan na smetlištima predstavlja trajan izvor zagađenja tla i vodotokova. Republika Srbija donela je regulativu koja bi trebalo da reguliše zatvaranje divljih deponija i smetlišta. Analizom pomenute regulative uočeno je da predložena tehnološka rešenja ne obezbeđuju trajno sprečavanje zagađenja i eliminaciju negativnih uticaja. Iako nesumnjivo najveći problem predstavlja što većina divljih deponija i smetlišta još uvek nisu zatvorena, problematici zatvaranja ne treba prići olako. Može se reći da je struktura BAT zatvaranja deponija u Srbiji je tehnički neodgovarajuća, jer ne rešava već samo odlaže probleme u zaštiti životne sredine.

Srbija je krenula vrlo dobrim putem u oblasti upravljanja otpadom usvajanjem Nacionalne strategije upravljanja otpadom 2003. godine (Sl. gl. RS br. 29/10 2010). Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019. doneta je 2010. godine i njom su definisani opšti i posebni ciljevi upravljanja otpadom, kao i principi koji se moraju poštovati prilikom uspostavljanja i implementacije plana upravljanja otpadom. Ovim dokumentom propisana je orijentaciju upravljanja otpadom na bazi strateških planova EU, definisana hijerarhija

moćih opcija upravljanja otpadom, usmerene aktivnosti u harmonizaciji zakonodavstva, uspostavljeni ciljevi upravljanja otpadom za kratkoročni i dugoročni period, itd. U oblasti regionalnog upravljanja otpadom, cilj je razvijanje strateških planova u skladu sa zakonodavstvom EU. U skladu sa ovim planom, IPPC direktiva i EIA direktiva transponovane su u regulativu Srbije odgovarajućim zakonskim rešenjima 2004. godine. Na taj način je prethodno važeća EIA problematika iz Pravilnika o analizi uticaja objekata odnosno radova na životnu sredinu iz 1992. g. u potpunosti harmonizovana sa EU (Sl. gl. RS br. 61/92 n.d.).

Analizom podataka o postojećim deponijama, konstatuje se da je većina deponija neuređena. Preko 180 deponija spada u legalne-smetlišta dok su preostale divlje deponije.

Novoizgrađene deponije u Srbiji, sa tehnološkog aspekta, nisu u potpunosti projektovane u skladu sa propisima i nemaju upotrebne dozvole. Savremene deponije bi svakako trebalo da imaju IPPC dozvolu i budu izgrađene u skladu sa najboljim dostupnim tehnikama.

Sastav komunalnog otpada u Srbiji je takav da biorazgradivi otpad predstavlja oko polovine ukupne mase. Visoke emisije metana, nastalog kao posledica razgradnje otpada predstavljaju negativan uticaj na životnu sredinu ali i priliku za korišćenje kao obnovljivog izvora energije. Procenjuje se da je količina deponovanog otpada godišnje približno 60.000 tona te se procenjuje da su najveće deponije odgovorne za više od 95% emitovanog metana. U Srbiji još uvek ne postoji izgrađen sistem za iskorišćenje deponijskog gasa te se sav generisani gas sa lokalnih i 7 regionalnih deponija sagrađenih do sada oslobađa u atmosferu. Procene količina oslobođenog gasa su informacija od značaja i izazov za projekte iskorišćenja deponijskog gasa.

Smernice za valjano tehnološko projektovanje deponija, uopšteno govoreći, su u funkciji ispunjavanja zahteva i preporuka nacionalnih i evropskih propisa ali i izgradnje tehnološki i ekonomski isplativih objekata na kojima će se odlagati otpad.

4.1.3. Diskusija

Uvođenjem predloženih izmena, odnosno proširivanjem teksta Direktive, bilo bi olakšano razumevanje njenih zahteva i ciljeva što bi pomoglo u formulisanju teksta za nacionalne zakone.

Jedan od osnovnih ciljeva pri valjanom projektovanju deponije je smanjenje zagađenja i smanjenje uticaja na životnu sredinu. Predloženim izmenama bi se rešile postojeće nejasnoće i olakšalo projektovanje u skladu sa propisima i sprečilo bi se zagađenje životne sredine.

4.2. Rezultati istraživanja mogućnosti prečišćavanja otpadnih voda iz tekstilne industrije razvojem završnog tretmana

Preliminarni eksperimenti, iz oblasti prečišćavanja otpadnih voda tekstilne industrije, izvedeni su u šaržnom i mikroreaktorskom sistemu korišćenjem razblaženih rastvora NaOCl-a i organskih boja Reactive Orange 16, Basic Yellow28 i Acid Blue 111. Prvo je izvedeno pet eksperimenata u šaržnom sistemu. Nakon toga, izvedeni su eksperimenti u mikroreaktorskom sistemu sa promenljivom dužinom mikroreaktora, promenljivim prečnikom, korišćenjem različitih koncentracija sredstva za obezbojavanje i različitih brzina protoka smeše.

Nakon toga, usledila su eksperimentalna ispitivanja u mikroreaktorskim sistemima uz korišćenje novih, modernijih pumpi.

4.2.1. Istraživanja procesa obezbojavanja simulirane otpadne vode u šaržnim sistemima

Efikasnost procesa obezbojavanja u šaržnom sistemu testirana je korišćenjem reakcionih smeša različitih molskih odnosa a proverena je nakon 5, 15, 60 i 120 minuta. Za sve

reakcione smeše, maksimum uklanjanja boje postignut je posle 15 minuta. postignuti nivoi uklanjanja boje, u odnosu na molski odnos prikazani su u tabeli 5.

Tabela 5. Uklanjanje boje u zavisnosti od molskog odnosa reakcione smeše u šaržnim uslovima

Redni broj	Molski odnos $n(\text{NaOCl})/n(\text{RO16})$	% uklanjanja boje
1.	3500	100
2.	1700	93
3.	1300	73
4.	1200	62
5.	870	25

Iako se NaOCl smatra dobrim oksidativnim sredstvom, mali molski odnosi u reakcionoj smeši nisu imali efekta. Potpuno uklanjanje boje postignuto je jedino korišćenjem velikih količina NaOCl. Korišćenje velikih količina NaOCl za posledicu ima velike količine rezidualnog NaOCl u tretiranoj vodi.

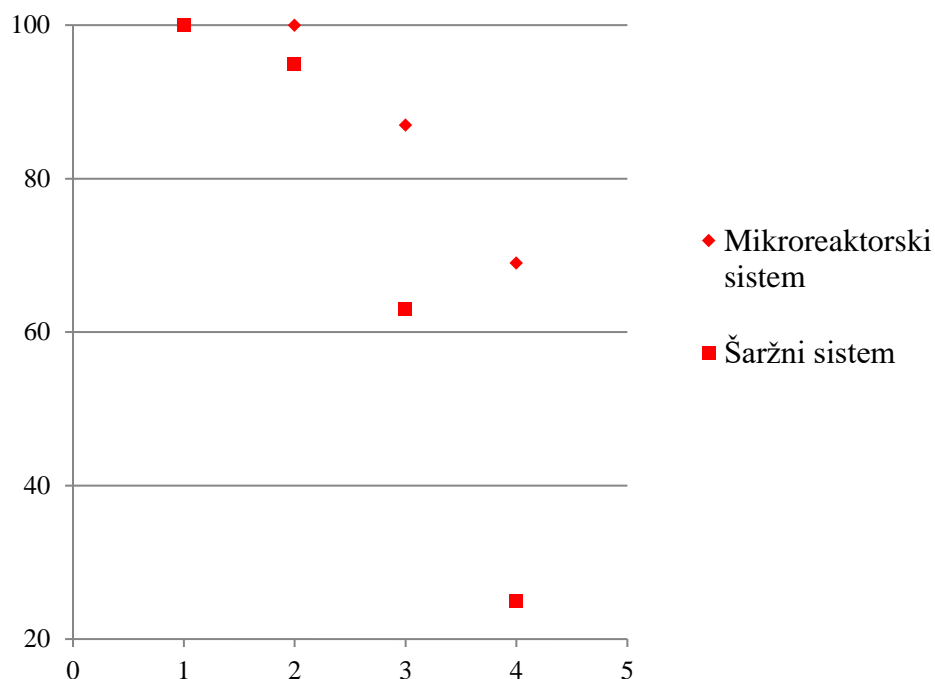
4.2.2. Rezultati preliminarnih istraživanja procesa obezbojavanja simulirane otpadne vode u mikroreaktorskim sistemima

Karakteristike reakcionih smeša korišćenih u ovoj seriji preliminarnih ispitivanja prikazane su u tabeli 6.

Tabela 6. Zapreminski i molski odnosi reakcionih smeša

Odnos protoka/zapremine reaktanata u mikroreaktorskom/šaržnom sistemu	Molski odnos reaktanata u reakcionoj smeši, n(RO16) : n(NaOCl)		
	c(NaOCl)=1,33 mmol/dm ³	c(NaOCl) = 1,98 mmol/dm ³	c(NaOCl) = 2,63 mmol/dm ³
1	0,10	0,07	0,05
2	0,20	0,13	0,10
3	0,29	0,20	0,15
4	0,39	0,26	0,20
5	0,49	0,32	0,25

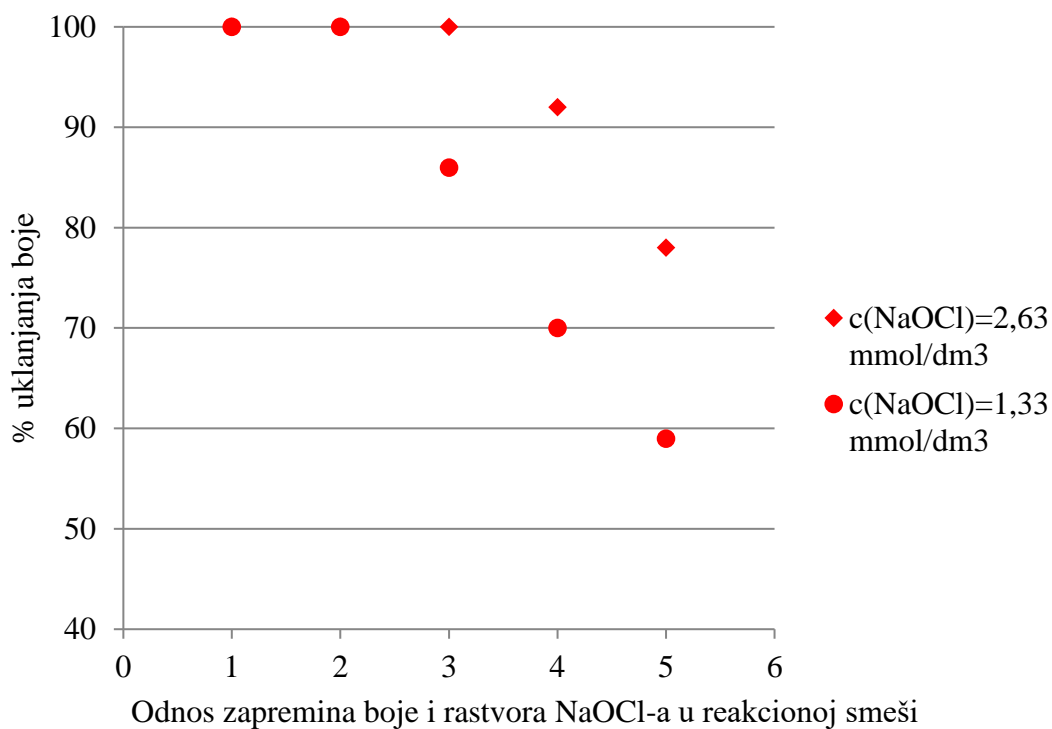
Obezbojavanje u šaržnom i zatim u mikroreaktorskom sistemu izvođeno je korišćenjem rastvora NaOCl-a koncentracije 1,33 mmol/dm³. Vreme zadržavanja reakcione smeše u mikroreaktoru odabranih dimenzija bilo je kraće od 5 minuta pa su iz tog razloga prvi rezultati u šaržnom sistemu uzimani nakon 5 minuta. Slika 13 prikazuje procenat uklanjanja boje u šaržnom i mikroreaktorskom sistemu pri istim molskim odnosima reaktanata.



Slika 13. Uspešnost uklanjanja boje u šaržnom i mikroreaktorskom sistemu pri različitim odnosima boje i rastvora hipohlorita

Pri istim odnosima zapremina rastvora NaOCl i rastvora boje, obezbojavanje je uspešno u oba sistema. U slučaju kada je zapremina boje veća, obezbojavanje je uspešnije u mikroreaktorskom sistemu.

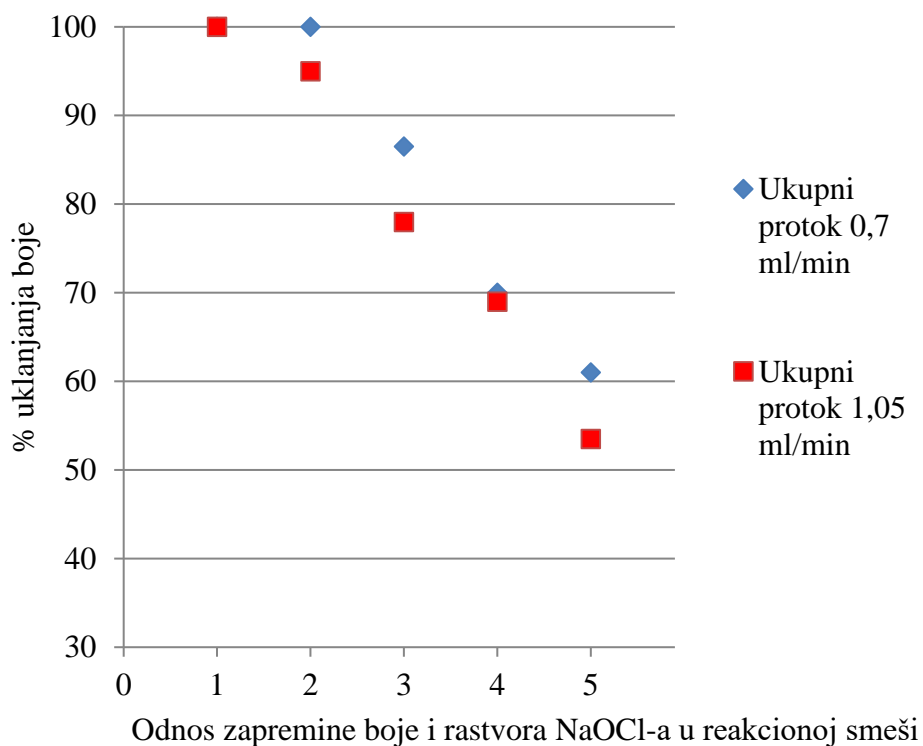
Nakon toga, ispitivanja su izvedena u reaktoru dužine 3,8 m i unutrašnjeg prečnika 0,25 mm. Obezbojavanje je izvedeno pri ukupnom protoku od 70 $\mu\text{l}/\text{min}$ rastvorima koncentracija 1,33 mmol/dm^3 i 2,63 mmol/dm^3 pri međusobnim odnosima reaktanata 1-5. Slika 14 prikazuje rezultate ovih ispitivanja.



Slika 14. Procenat uklanjanjaboje u mikroreaktorskom i šaržnom sistemu pri različitim zapreminskim odnosim boje i rastvora boje i NaClO, $c(\text{RO16})=1,33 \text{ mmol/dm}^3$ i $c(\text{NaOCl})=1,33 \text{ mmol/dm}^3$ i $2,63 \text{ mmol/dm}^3$

Sa slike 14 je očigledno da je obezbojavanje uspešnije korišćenjem rastvora sa većom koncentracijom rastvora NaOCl.

Dalji eksperimenti nastavljani su u istom reaktorskom sklopu a promena vremena zadržavanja izvedena je promenom brzine protoka reaktanata. Zapreminski i molski odnosi reaktanata identični su kao u prethodnom setu eksperimenata. Podešavanjem ukupnog protoka, kontroliše se vreme zadržavanja reakcione smeše u reaktoru. Obezbojavanje je ispitivano pri ukupnom protoku od 70 i 105 $\mu\text{l}/\text{min}$. Rezultati ovog eksperimenta prikazani su na slici 15.



Slika 15. Procenat uklanjanja boje u mikroreaktorskom sistemu korišćenjem rastvora NaOCl koncentracije 1,33 mmol/dm³ pri različitim ukupnim protocima reaktanata i različitim molskim odnosima

Sa slike 15 se vidi da je obezbojavanje uspešnije pri ukupnom protoku od 0,7 μ l/min. Iako je mešanje bolje pri većim protocima, u ovom slučaju na uspešnost obezbojavanja veći uticaj ima vreme zadržavanja smeše u reaktoru, odnosno duže vreme odigravanja reakcije.

Na osnovu dobijenih rezultata, pretpostavljeno je da bi uvođenjem faktora F bilo moguće objediniti uslove sistema koji su ispitivani. Faktor F nije imao značajno matematičko značenje ali je korišćen kao pokazatelj uspešnosti reakcije obezbojavanja u sistemima. Faktor F se računa prema formuli:

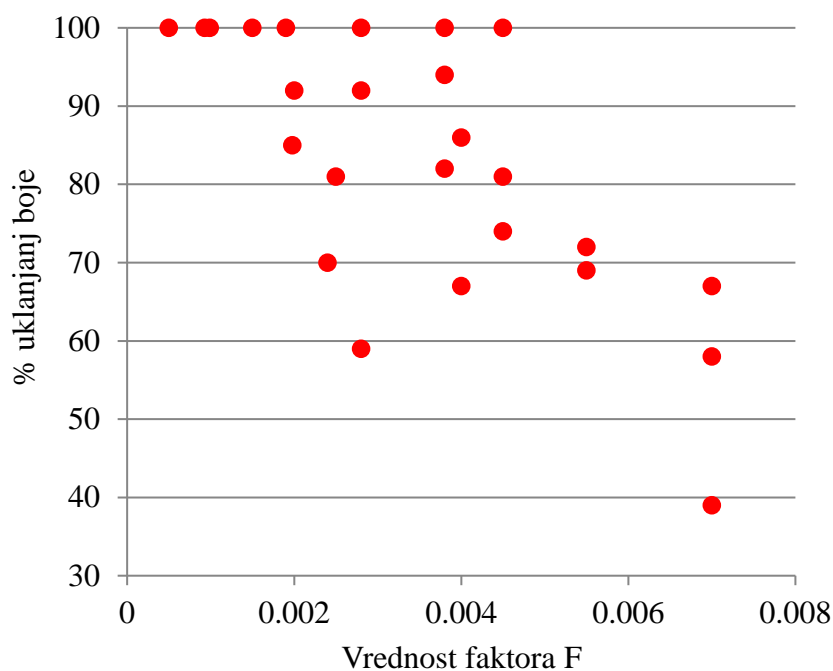
$$F = MO / F_{\text{tot}} \quad (3)$$

gde je:

MO - molski odnos reaktanata u smeši, $n(\text{RO16}) : n(\text{NaOCl})$ i

F_{tot} - primenjeni ukupni protok reakcione smeše u $\mu\text{l}/\text{min}$.

Slika 16 prikazuje efikasnost uklanjanja boje u procentima u zavisnosti od faktora F. Sa slike se vidi da veće razblaženje i veći međusobni odnos protoka negativno utiču na reakciju obezbojavanja.



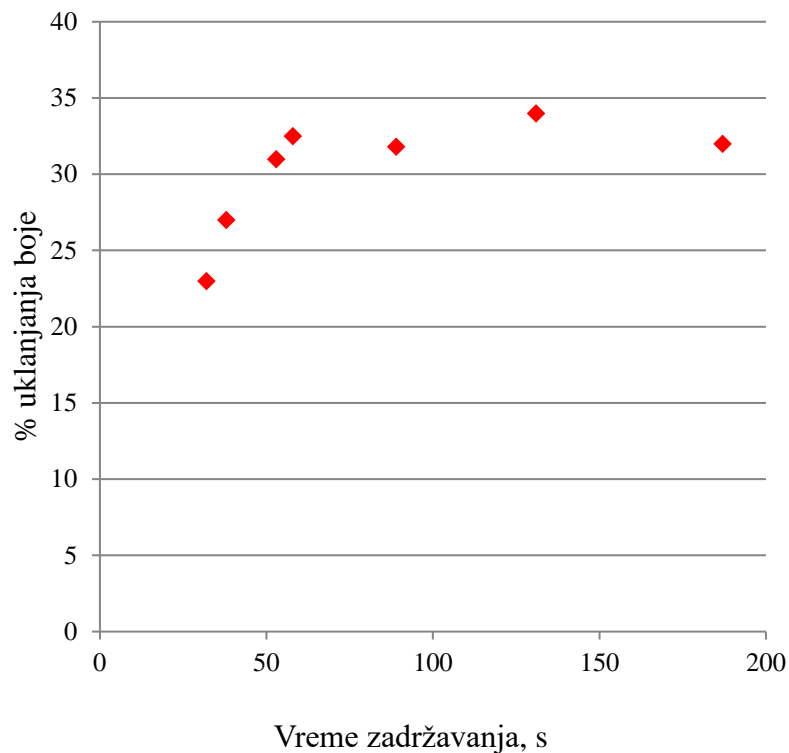
Slika 16. Procenat uklanjanja boje u zavisnosti od faktora F

Serije eksperimenata izvođene su pri konstantnim molskim odnosima reaktanata. Karakteristike reakcionih smeša prikazane su u tabeli 7.

Tabela 7. Karakteristike reakcionih smeša

R.b.	Molski odnos reaktanata u reakcionoj smeši $n(\text{RO16}) : n(\text{NaOCl})$
1.	1,00
2.	2,62
3.	3,35
4.	3,92
5.	5,00
6.	5,23

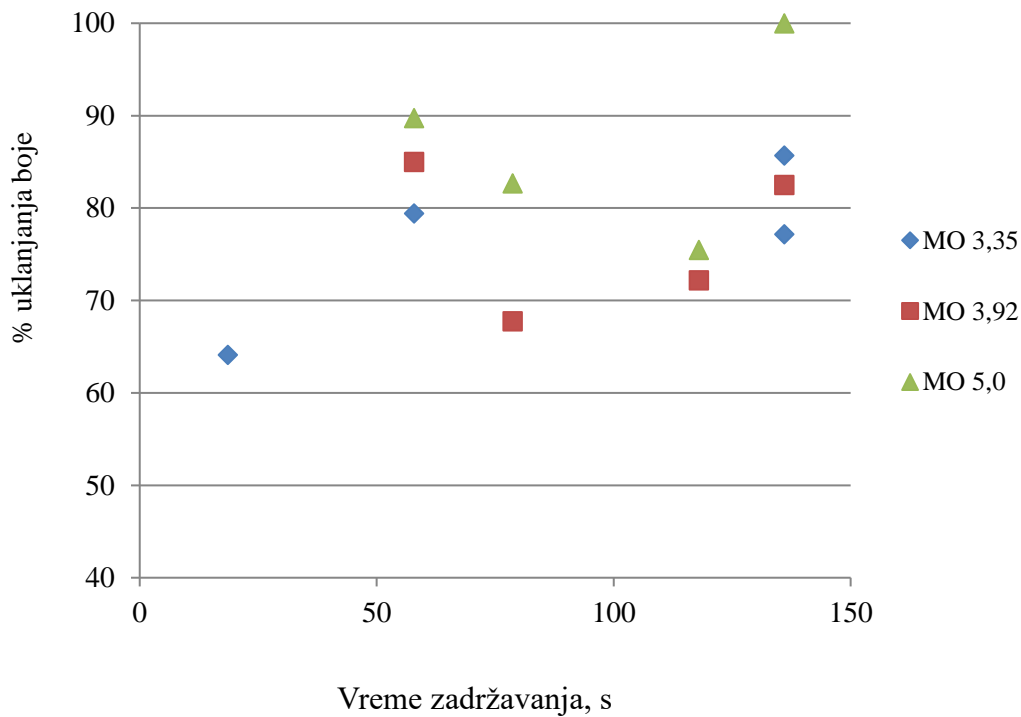
Slika 17 prikazuje uspešnost obezbojavanja rastvora boje u mikroreaktorskom sistemu prečnika cevi 0,25 mm i dužine 3,8 m. Kao sredstvo za obezbojavanje korišćen je veoma razblaženi rastvor NaOCl-a koncentracije $0,130 \cdot 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$.



Slika 17. Uspešnost obezbojavanja rastvora boje u mikroreaktorskom sistemu

Slika 17 jasno prikazuje da je uspešnost uklanjanja boje veoma razblaženim rastvorom samo delimično uspešna i da je za ovaj proces, ma koliko puta bio intenziviran u mikroreaktorskom sistemu, neophodno da molski odnos bude veći od 1. Očigledno je da se do vremena zadržavanja od oko 60 s vreme ima veći uticaj na uspešnost obezbojavanja, dok je nakon tog vremena uspešnost obezbojavanja približno ista. To govori u prilog činjenici da je rezultat bržeg protoka reakcione smeše i kraćeg vremena zadržavanja intenzivnije mešanje i ostvarivanje približno istih rezultata kao pri sporijem kretanju i kraćem vremenu zadržavanja.

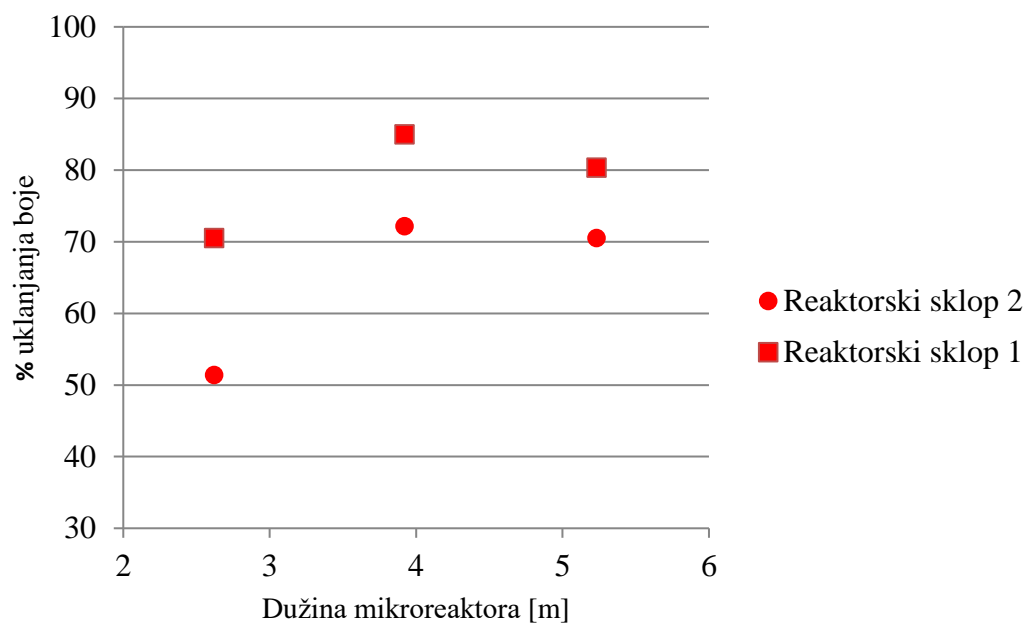
Slika 18 prikazuje uticaj koncentracije rastvora NaOCl-a na uspešnost obezbojavanja. Uticaj koncentracije prikazan je preko molskih odnosa reaktanata u reakcionim smešama 3, 4 i 5.



Slika 18. Uspešnost obezbojavanja u mikroreaktorskom sistemu u zavisnosti od molskog odnosa $n(\text{RO16}) : n(\text{NaOCl})$ i vremena zadržavanja pri odnosu protoka $F(\text{RO16}) : F(\text{NaOCl})$ 2:1 molskih smeša 3, 4 i 5

Prikazani rezultati ukazuju da je obezbojavanje uspešnije pri većim molskim odnosima.

Na slici 19 prikazani su rezultati obezbojavanja reakcione smeše u zavisnosti od mikroreaktorskog sklopa. Oba sklopa su bila jednakih dužina ali različitih prečnika. Sistem 1 je mikroreaktor od 6 m prečnika 0,5 mm dok se sistem 2 sastoji od cevi prečnika 0,25 mm dužine 4 m koja je spojena na mikroreaktor prečnika 0,5 mm dužine 2 m.

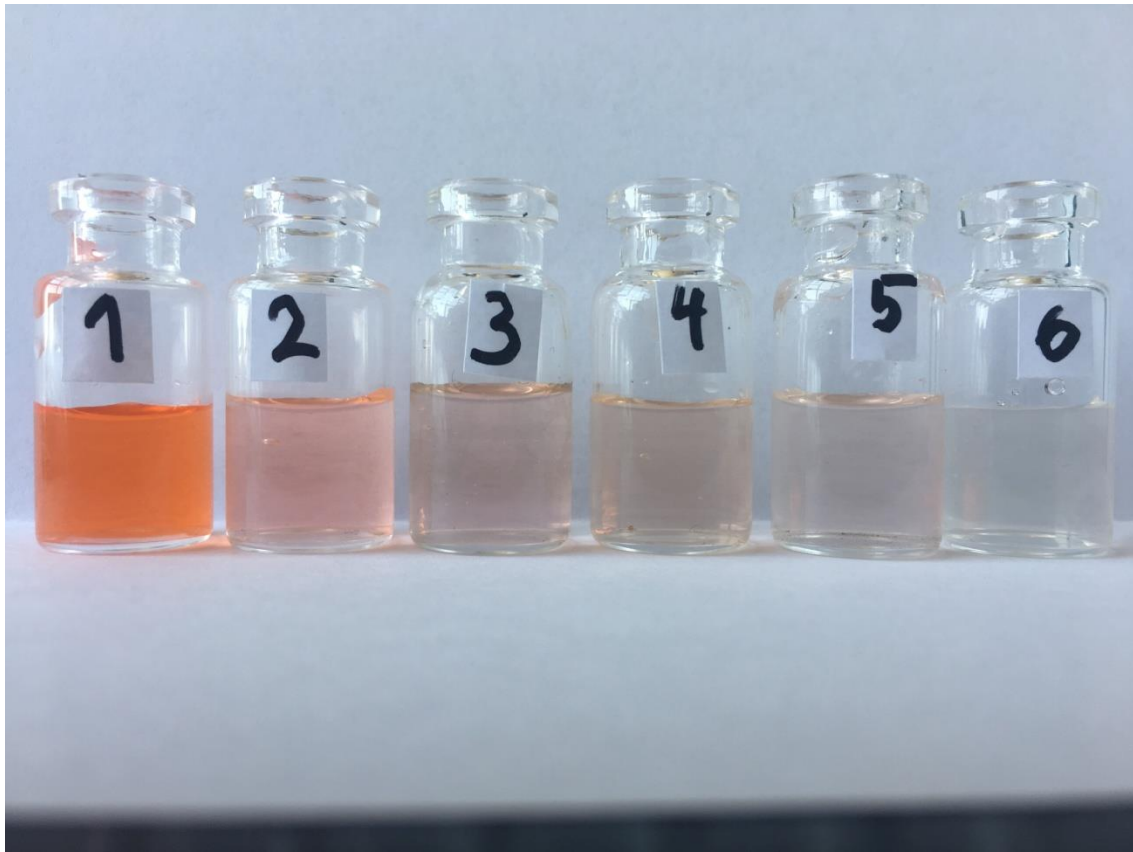


Slika 19. Uspešnost obezbojavanja u mikroreaktorskom sistemu u zavisnosti od sklopa pri korišćenju reakcionih smeša 2,4 i 6

Na osnovu rezultata prikazanih na slici 19 zaključuje se da je obezbojavanje u reaktorskom sklopu 1 uspešnije. Intenzivnije mešanje u prvom delu reaktora sa manjim prečnikom omogućava bolje mešanje i bolji kontakt reaktanata što rezultira uspešnijem uklanjanju boje.

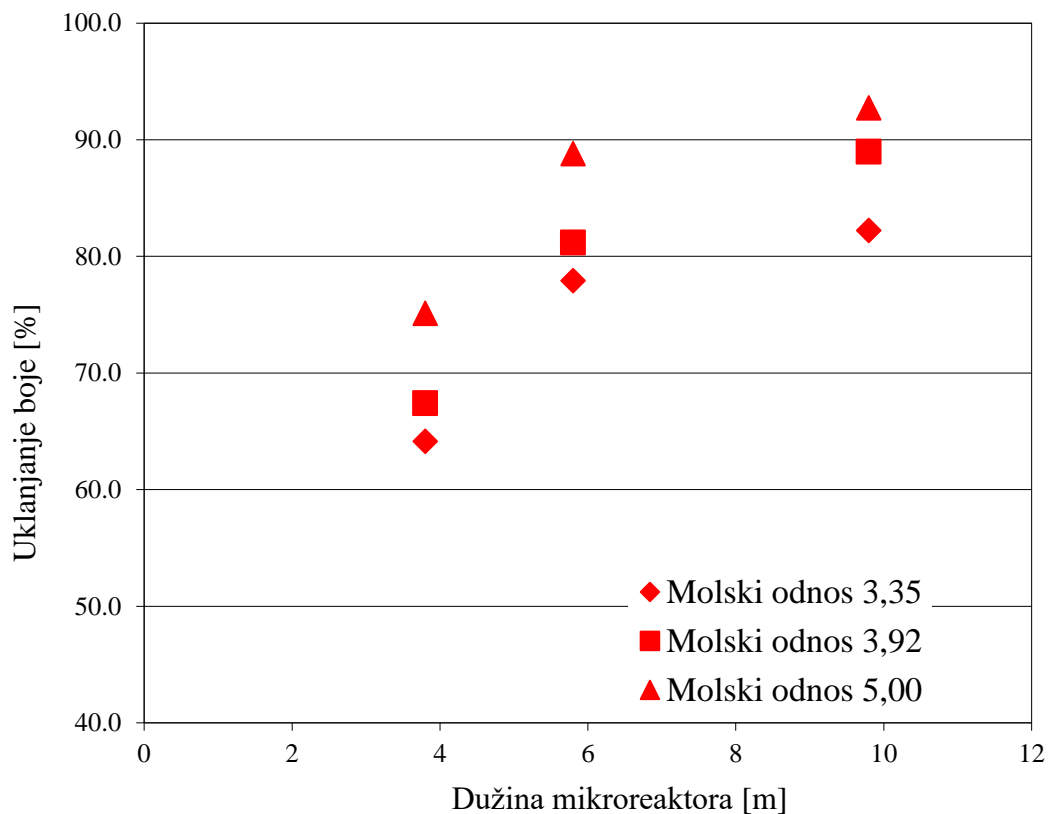
4.2.2.1. Rezultati istraživanja procesa obezbojavanja simulirane otpadne vode zagađene bojom RO16

Eksperimentalna ispitivanja izvedena u šaržnom sistemu ponovljena su u mikroreaktorskom radi poređenja efikasnosti procesa. Reakcione smeše svih molskih odnosa primenjenih u eksperimentima u šaržnom sistemu, kao rezultat imaju potpuno (100%) obezbojavanje u mikroreaktorskom sistemu. Nakon toga, za potrebe eksperimenata u ovim uslovima, rastvori NaOCl-a su dodatno razblaženi. Slika 20 prikazuje simuliranu otpadnu vodu iz tekstilne industrije pre i nakon tretmana u mikroreaktorskom sistemu.



Slika 20. Simulirana otpadna voda pre i nakon tretmana u mikroreaktorskom sistemu (1-bez tretmana, 2-67% uklonjene boje, 3- 75% uklonjene boje, 4-89% uklonjene boje, 5-93% uklonjene boje i 6-100%uklonjene boje)

Efikasnost uklanjanja boje u zavisnosti od dužine mikroreaktora, u smešama sa molskim odnosima $n(\text{NaOCl})/n(\text{RO16})$ od 3,3; 3,9 i 5,0 prikazani su na slici 21.



Slika 21. Uticaj dužine mikroreaktora i molskog odnosa na obezbojavanje za različite molske odnose pri protoku rastvora (NaOCI/RO16) 0,1/0,2 cm³/min za smeše molskog odnosa 3,3; 3,9 i 5,0.

Reakcione smeše koje su se kretale istim protokom ali u različitim mikroreaktorskim sklopovima imale su različita vremena zadržavanja. U reaktorskom sistemu koji je bio najkraći a samim tim imao najkraće vreme zadržavanja, postignuto je obezbojavanje od 64% za sve molske odnose. U ovom eksperimentalnom setu, reakcija koja se odvijala u dužem mikroreaktorskom setu rezultirala je boljim uklanjanjem boje što je posledica dužeg zadržavanja reakcione smeše u sistemu. Najuspešniji obezbojavanje postignuto je u reakcionoj smeši sa najvećim molskim odnosom.

Uspešnost obezbojavanja praćena je spektrofotometrijski. Dobijeni rezultati prikazani su na dijagramu $\ln(A_0/A_t)$ gde su A_0 i A_t absorbance u vremenu $t=0$ i t u zavisnosti od vremena. Grafik je dao linearnu zavisnost što ukazuje da je reakcija degradacije boje reakcija prvog reda. Očitani nagib konstruisane prave ima vrednost $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$.

Tabela 8 prikazuje efikasnost obezbojavanja u zavisnosti od rezidencionog vremena u mikroreaktorskom sistemu dužine 9,8 m u smeši sa molskim odnosom $n(\text{NaOCl})/n(\text{RO16})$ 3,3 na sobnoj temperaturi.

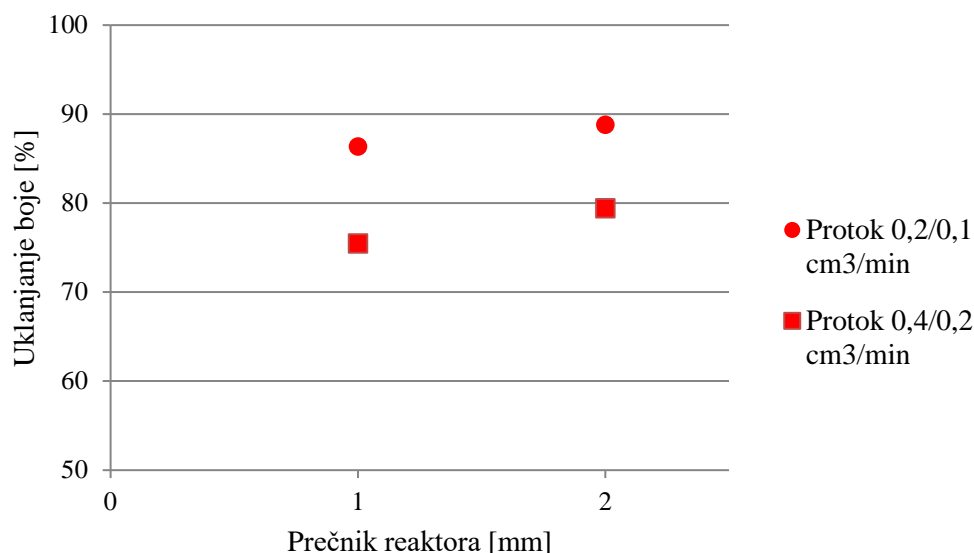
Tabela 8. Efikasnost obezbojavanja u zavisnosti od vremena zadržavanja u mikroreaktorskom sistemu dužine 9,8 m u reakcionoj smeši sa molskim odnosom 3,3

Vreme zadržavanja, [s]	137	273	545
Uklanjanje boje, [%]	81	93	87

Za potrebe sledećeg seta eksperimenata, protoci $(\text{NaOCl})/(\text{RO16})$ su bili podešeni na 0,2/0,4; 0,1/0,2 i 0,05/0,1 cm^3/min . Najuspešnije obezbojavanje od 92,5% postignuto je pri rezidencionom vremenu od 300 s (protok 0,1/0,2 cm^3/min) dok je obezbojavanje od 87,1% i 81,4% postignuto pri rezidencionom vremenu od 550 s i 136 s respektivno.

Posledica promene rezidencionog vremena je promena protoka. Brži protok reaktanata uzrokuje njihovo bolje mešanje i bolji kontakt reaktanata. Cilj je bio pronalaženje protoka pri kom će biti postignuto najbolje mešanje pri dovoljno dugačkom rezidencionom vremenu da se reakcija odigra do kraja. Pri protocima koji su viši od optimalnog, rezidenciono vreme je kratko i uticaj intenzivnog mešanja nije dovoljan da se postignu željeni rezultati odnosno ima negativan uticaj na proces obezbojavanja.

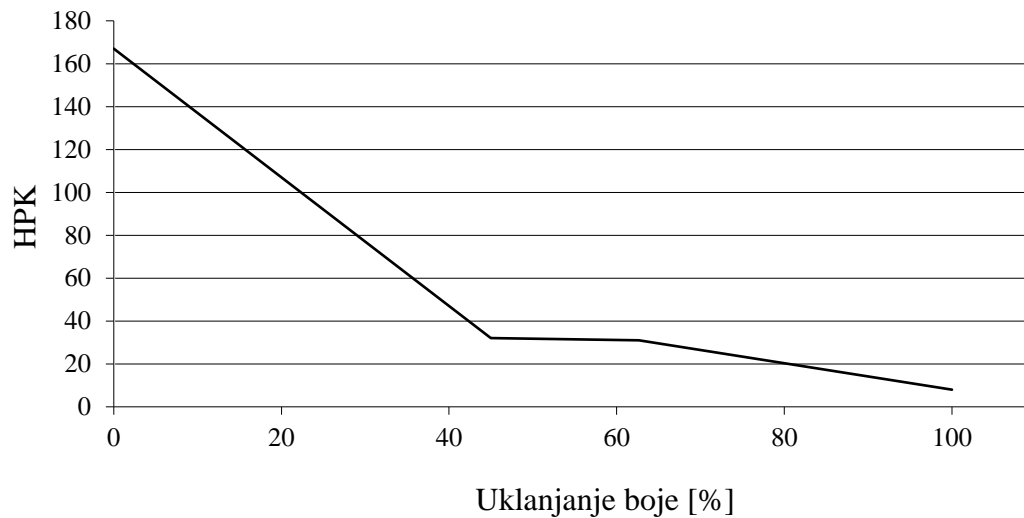
Uticaj prečnika mikroreaktorskog sistema na proces obezbojavanja prikazan je na slici 22.



Slika 22. Uticaj prečnika mikroreaktorskog sistema i brzine kretanja reakcione smeše na proces obezbojavanja u mikroreaktoru dužine 5,8 m pri molskom odnosu 5

Mikroreaktorski sistem je bio fiksne dužine od 5,8 m a molski odnos reakcione smeše $n(\text{NaOCl})/n(\text{RO16})$ bio je 5,0. Sistem konstantnog precnika i dužine, vreme zadržavanja reguliše se podešavanjem protoka. Uticaj prečnika sistema 0,5 mm i 0,25 mm provereni su primenom različitih protoka. Neznatno bolji rezultati postignuti su (procenat uklanjanja boje 88%) u reaktoru prečnika 0,25 mm u odnosu na sistem prečnika 0,5 mm (obezbojavanje 86,4%). U oba slučaja bolji rezultati postignuti su pri manjim protocima (0,2/0,1 cm³/min).

Nakon procesa obezbojavanja u mikroreaktorskom sistemu izmerene su HPK vrednosti proizvoda reakcije. Izmerena vrednosti HPK uzorka pre tretma bila je 167 a nakon tretmana vrednosti su bile u rasponu između 32 i 8. Na slici 23 prikazani su rezultati merenja HPK vrednosti uzoraka nakon obezbojavanja u zavisnosti od procenta uklonjene boje. Smanjenje vrednosti HPK bio je 75% za optimalne uslove procesa obezbojavanja (dužina mikroreaktora 5,8 i molski odnos 3,3).



Slika 23. Izmerene vrednosti HPK u zavisnosti od procenta stepena uklanjanj boje

Tabela 9 prikazuje rezultate merenja pH vrednosti prečišćene simulirane otpadne vode iz tekstilne industrije.

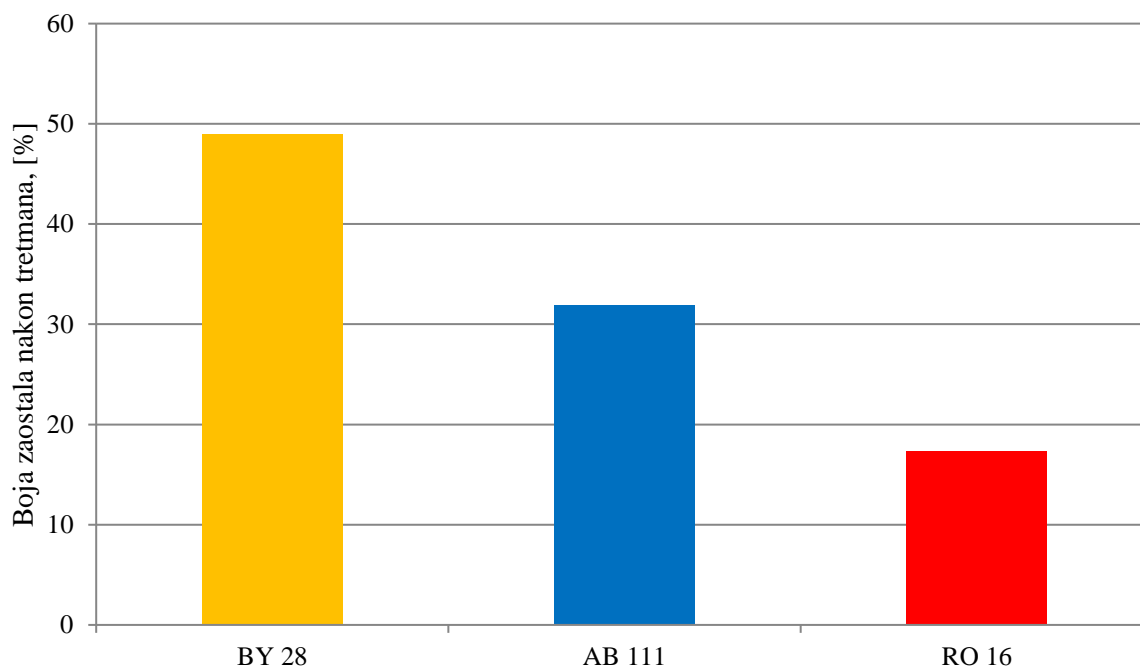
Tabela 9. Rezultati merenja pH vrednosti simulirane otpadne vode nakon tretmana

R.b.	Molski odnos, n(NaOCl) / n(RO16)	Dužina mikroreaktora [m]	Uklanjanje boje (%)	pH
1.	3,35	3,8	64	6,761
2.	3,92	3,8	67	6,669
3.	5,00	3,8	75	6,801
4.	3,35	5,8	78	6,778
5.	3,92	5,8	81	6,694
6.	5,00	5,8	89	6,859
7.	3,35	9,8	82	6,880
8.	3,92	9,8	89	6,721
9.	5,00	9,8	93	6,811

Prikazani rezultati, vrednosti oko 7, ukazuju na to da je većina oksidacionog sredstva iskorišćena. Ovi rezultati pokazuju da je količina upotrebljenog NaOCl optimalna jer je boja razgrađena bez rezidualnih količina NaOCl koje bi uništile kvalitet prečišćene vode.

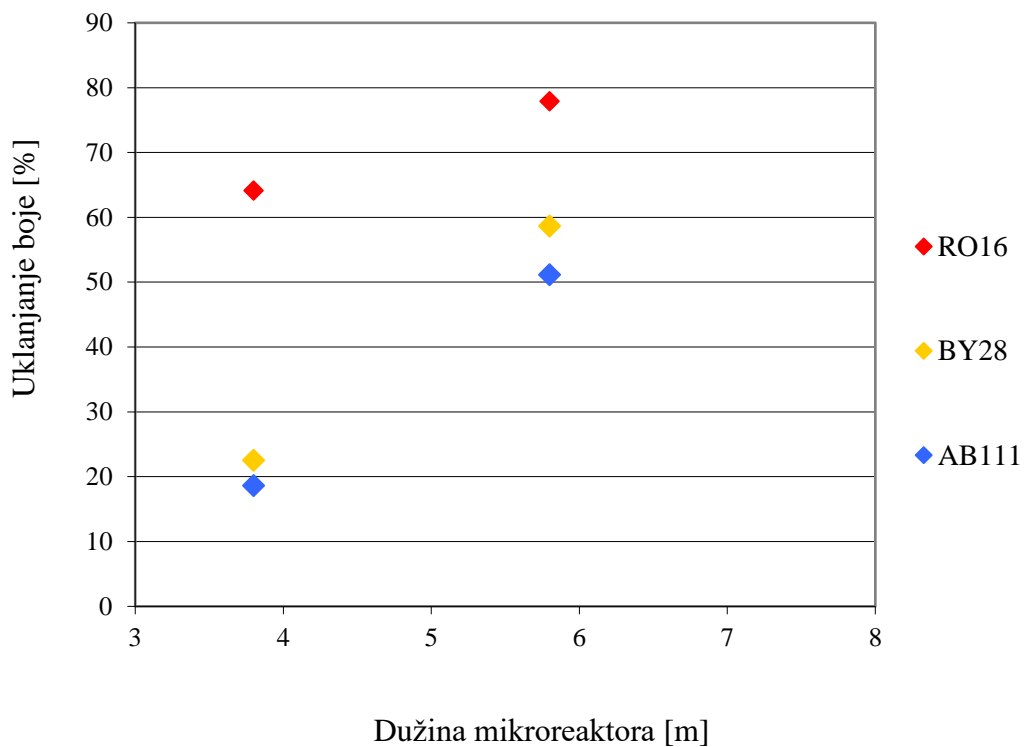
4.2.2.2. Rezultati istraživanja procesa obezbojavanja simulirane otpadne vode zagađene bojama BY28 i AB111

Efikasnost obezbojavanja simulirane otpadne vode iz tekstilne industrije opterećene značajnim količinama BY28 i AB111 ispitana je u mikroreaktorskom sistemu. Na slici 24 prikazan je uspeh uklanjanja boje ekvimolarnih smeša 3 rastvora boje razblaženim rastvorom NaClO. Iste brzine protoka smeša rezultirale su jednakim vremenima zadržavanja reaktorskih smeša u sistemu. Prikazani rezultati govore da pri molskom odnosu 3,3, protoku boje i rastvora NaOCl 0,3/0,1 ml/min u mikroreaktorskom sistemu prečnika 0,5 mm i dužine 5,8 m obezbojavanje rastvora boje RO16 je daleko uspešnije nego u slučaju boja BY28 i AB111.



Slika 24. Procenat zaostale boje nakon tretmana rastvorom NaOCl-a u mikroreaktorskom sistemu dužine 9,8 m prečnika 0,5 mm

Slika 25 prikazuje rezultate dobijene pri molskom odnosu 3,3 u različitim mikroreaktorskim sklopovima, odnosno pri različitim vremenima zadržavanja reakcione smeše u sistemu.



Slika 25. Efikasnost procesa obezbojavanja otpadne vode opterećene bojama pri molskom odnosu 3,3 na sobnoj temperaturi

4.2.3. Diskusija

Uopšteno gledajući, najveći nedostatak odvijanja ovakvog procesa u šaržnom sistemu je to što na kraju procesa kao posledicu imamo velike količine NaOCl-a u otpadnoj vodi. Dobijeni rezultati pokazuju da je uklanjanje boje pomoću NaOCl-a u mikroreaktorskom sistemu sjajan način obezbojavanja kvaliteta otpadne vode u kojoj na kraju procesa ne ostaju rezidualne količine neproreagovalog NaOCl-a te nema potrebe za daljim tretmanom. Za tretman u šaržnim sistemima, neophodno je koristiti 250 – 500 puta više molske odnose

kako bi se dobili rezultati koje je moguće uporediti (obezbojavanje 70 – 90%) uz najmanje tri puta duže vreme zadržavanja. Reakcije izvedene u mikroreaktorskim sistemima su veoma uspešne. Iz dobijenih rezultata jasno je da bilo koja kombinacija dužine, molskog odnosa i brzine protoka rezultirale su većim uspehom u odnosu na reakciju u šaržnom reaktoru, tabela 5. Izvedeni eksperimenti pokazali su da veća dužina mikroreaktora i viši molski odnos reaktanata imaju pozitivan uticaj na proces obezbojavanja iako su zadovoljavajući rezultati dobijeni i u reaktorskom sistemu srednje dužine i sa reakcionim smešama sa nižim molskim odnosom, slika 21. Primena bržih protoka reakcione smeše doprinela je uspešnosti reakcije ali reakcija sa najviše uspeha izvedena je pri srednjim brzinama protoka (sistem dužine 9,8 m), najintenzivnijim mešanjem sa vremenom zadržavanja. Vrsta toka unutar reaktora značajno utiče na uspeh reakcije. Promenom brzine protoka menja se i intenzitet mešanja reakcione smeše što značajno utiče na uspeh reakcije. Konacno, manji prečnik mikroreaktora pozitivno utiče na uspeh obezbojavanja zahvaljujući povećanju intenziteta.

Širok opseg molskih odnosa korišćenih u predmetnom istraživanju posledica je toga što se obezbojavanje u šaržnim sistemima odvija jedino pri visokim molskim odnosima hipohlorita i boje. Za razliku od šaržnih uslova, za reakciju u mikroreaktorskim uslovima dovoljne su znatno manje količine hipohlorita pa je posledica svega širok raspon molskih odnosa primenjen u reakcijama. Za reakcije u mikroreaktorskim sistemima primenjeni molski odnosi bili su između 3,92 i 5,0 dok su u šaržnim sistemima molski odnosi bili u opsegu između 870 i 3.500. Manje količine hipohlorita u procesima uklanjanja boje u mikroreaktorskim sistemima u odnosu na šaržne posledica su različitih uslova odigravanja reakcije u ovim sistemima kao posledica sistema.

U višefaznim sistemima, promena brzine protoka utiče na promenu vremena zadržavanja čime se menja vrsta toka čime se menjaju i uslovi odigravanja reakcije. U literaturi ne postoje podaci o uticaju dužine mikroreaktorskog sistema na tečno-tečno flow patterns hidrodinamiku (Chung et al. 2011). Izmerene vrednosti viskoznosti reakcione smeše korišćene su u proračunima vrednosti Rejnoldsovog broja. Vrednost Rejnoldsovog broja za tok tečnosti u cevima malog prečnika obično ima vrednost između 10 i 500 (Tanimu et al. 2017). Izračunate vrednosti za slučaj reakcije u mikroreaktorskim sistemima za korišćene

reakcione smeše bio je između 8 i 20, što ukazuje na laminaran tok pri svim primenjenim uslovima odigravanja reakcije.

Znajući sve ove podatke, u procesu projektovanja procesa tretmana otpadne vode u mikroreaktorskim sistemima, neophodno je razmotriti koliko mali prečnik reaktora je dovoljno mali. Odabrani mikroreaktorski sklop trebalo bi da zadovolji potrebe i rezultira najboljim rezultatima uklanjanja boje uz prihvatljive troškove. Imajući na umu cenu mikroreaktora ali i cenu električne energije, prihvatljiva rešenja su sistemi prečnika 0,5 i 0,25 mm. U mikroreaktorskim sistemima manjeg prečnika i sam proces obezbojavanja bi trajao duže što sa sobom povlači i veći utrošak energije a samim tim i veće troškove. Kada govorimo o efikasnosti procesa i efikasnosti mešanja pod određenim uslovima, tok smeše u mikroreaktorima je laminaran bez obzira da li je prečnik 0,5 ili 0,25 mm. Priroda laminarnog uslovljava mešanje zasnovano na difuziji i do smeše u kojoj nema vazduha. U procesu projektovanja optimalnog sistema u kome će se odigravati reakcija je identifikacija optimalnog toka koji bi kao rezultat imao najuspešniju reakciju.

RO16 je reaktivna azo boja sa hidrazon tautomerizom. BY28 je azometanska boja dok je AB111 1,4-diaminoantrahionska i postoji i kao amino-imino tautomer. Azo-hidrazo tautomerizam prisutan je u RO16 molekulu i mehanizam obezbojavanja konverzije tautomera u hidrazon hlorid ($N(Cl)-N=$) se posmatra kao limitirajući korak ove reakcije. Slična reakcija obezbojavanja je i reakcija obezbojavanja boje AB111. Struktura antrahionskog molekula sa kondenzovanim prstenovima AB111 je manje pogodna za oksidaciju hipohloritom nego RO16. Obezbojavanje BY28 uključuje elektrofilni napad hloridnog jona na atom azota u BY28 što je ometeno konjugacijom prisutnom u molekulu.

Primenom predložene metode obezbojavanja vodila bi poboljšanju tehnologije i minimizaciji upotrebe hemijskih agenasa. To bi bila inovativna primena čistih tehnologija u obezbojavanju otpadne vode. Postoji nekoliko činjenica koje deluju kao problem u ovoj vrsti tretmana.

Upotreba mikroreaktorskih sistema u hemijskoj tehnologiji je pravi izazov. U hemijskoj industriji optimizacija procesa u skladu sa potrebama za ostvarivanje efikasnosti ali i fleksibilnosti. Korišćenje mikroreaktorskih sistema čini se možda neodgovarajuće za ovu

namenu. Velike količine visoko kontaminirane vode u realnim industrijskim uslovima mogu biti obezbojene u mikroreaktorima na jednostavan način i to tako da se kao rezultat dobije voda kvaliteta takvog da ju je moguće ispustiti u vodoprijemnik. Stvarne količine otpadne vode mogle bi biti obezbojene jednostavim umnožavanjem broja mikroreaktora.

Obezbojavanje u mikroreaktorskim sistemima praćeno je većim materijalnim troškovima u odnosu na obezbojavanje u šaržnim uslovima. Mikroreaktori imaju ograničavajuće uslove i u pogledu materijala i uslova o rastvaračima koji mogu biti korišćeni. Međutim, upotreba jednostavnih mikroreaktorskih sistema vezanih za paralelne pumpe moglo bi obezbediti relativno niske materijalne troškove te bi gorepomenuti nedostaci bili zanemarljivi u odnosu na uspeh koji bi na ovaj način mogao biti postignut.

Pored navedenog, mikroreaktorski sistem mogao bi da se zapuši što bi dovelo do povećanja pritiska i uznemiravanja toka. Pripremom otpadne vode na adekvatan način, npr. primarnim tretmanom, bilo bi izbegnuto da do zapušavanja dođe. Primena primarnog tretmana bi uvećala cenu tretmana ali bi takođe bila neophodna i pre primene nekog drugog tretmana za obezbojavanje otpadne vode.

Jedan od zaključaka izvedenih eksperimenata je da korišćenje reaktora prečnika 0,25 mm pogodnije u odnosu na reaktor prečnika 0,5 mm. Međutim, povećanje količine otpadne vode koja bi bila obezbojena u reaktoru prečnika 0,5 mm nadoknađuje upotrebu ovog reaktora iako kao rezultat daje proizvod sa manjim uspehom obezbojavanja u odnosu na prečnik od 0,25 mm, slika 22.

Tretman otpadne vode korišćenjem NaOCl-a kao reagensa može imati negativan uticaj na životnu sredinu. Izmerene HPK vrednosti otpadne vode nakon tretmana ukazuju da je sadržaj rezidualnog NaOCl u vodi toliko nizak da kvalitet otpadne zadovoljava zahteve iz regulativa za ispuštanje u vodoprijemnike.

5. ZAKLJUČAK

Prevenција zagađenja zemljišta i voda mogla bi da bude postignuta projektovanjem procesa završnog tretmana primenom principa čistije proizvodnje. U procesu projektovanja tehnoloških postrojenja i procesa moguće je i neophodno koristiti principe čistije proizvodnje. Na osnovu izvedenih istraživanja razvijena je metodologija za primenu ovih principa u tehnološkim procesima završnih tretmana otpadnih materijala.

5.1. Razvoj procesa završnog tretmana čvrstih zagađujućih materija primenom principa čistije proizvodnje

Princip prevencije čistije proizvodnje promoviše sprečavanje zagađenja životne sredine. Primenom ovog principa na proces upravljanja otpadom obezbeđuje se smanjenje ukupnih količina otpada. Sprečavanje zagađenja zemljišta postiže se poštovanjem propisa i zahteva u skladu sa BAT-om propisanim u EU Direktivi. Imajući na umu da odlaganje otpada može višestruko zagađiti životnu sredinu, izvedenim istraživanjem ispitana je potreba za unapređenjem najboljih dostupnih tehnika u oblasti odlaganja otpada.

Na osnovu prepiske sa Ministarstvima nadležnim za oblast zaštite životne sredine i Agencijama za zaštitu životne sredine kao i korišćenjem dostupnih javnih dokumenata izvedena je komparativna analiza regulativa. Kao rezultat analize, izveden je zaključak da postoji potreba za donošenjem uniformnog objašnjenja zahteva formulisanih u Direktivi.

Ovaj problem mogao bi da bude rešen proširivanjem teksta i detaljnijim objašnjenjem pojedinih pojmova i koncepata.

Analiza postupaka za određivanje koeficijenta vodopropusnosti pokazala je da bi Direktivom trebalo definisati hidraulički gradijent, kao fizičku veličinu, koja će biti primenjena u procesu ispitivanja. Zaključci izvedene analize mogli bi da budu iskorišćeni kao naučna osnova za proširivanje odgovarajućih najboljih dostupnih tehnika izmenom Direktive u oblasti projektovanja deponija. Na osnovu zaključaka formulisan je tekst kojim bi bilo olakšano razumevanje ciljeva Direktive i olakšano njihovo transponovanje u nacionalne legislative. Predloženi tekst uključuje nove teme u Direktivi važne za proces projektovanja deponija, kao što sledi:

- Značenje pojma „veštački uspostavljena barijera“ može biti uniformana ili kompozitna obloga;
- Debljina barijere: U slučaju višeslojne barijere, zaštita koju materijal pruža trebalo bi da bude izračunata a koeficijent vodopropusnosti trebalo bi utvrditi za svaki sloj posebno. Trebalo bi omogućiti jednostavan model proračuna koeficijenta vodopropusnosti kompozitne obloge. Metodu proračuna trebalo bi uključiti u elaboraciju na nacionalnom nivou.
- Uslovi pod kojima se izvode laboratorijska ispitivanja koeficijenta vodopropusnosti trebalo bi da budu definisani. Jedan od uslova je hidraulički gradijent, i , čija vrednost bi trebalo da bude između 15 i 30.
- Životni ciklus: mineralna obloga trebalo bi da obezbedi zaštitu vode i zemljišta u trajanju od 30 godina za donji i dodatnih 30 godina za gornji sloj.
- Zaptivna obloga-značenje i uloga-trebalo bi da uđu u tekst razrade Direktive.
- Ukoliko uspostavljena barijera sadrži spojeve, vrednost koeficijenta vodopropusnosti bi trebalo da bude dokazana za svaki posebno.
- Metoda za ispitivanje koeficijenta vodopropusnosti trebalo bi da bude standardizovana i ispitivanja bi trebalo izvoditi u laboratoriji akreditovanoj u skladu sa standardom ISO/IEC 17025.

Na osnovu izvedene analize zaključeno je da je Direktivu, donetu još pre 20 godina, neophodno unaprediti. Unapređenje Direktive neophodno je zbog postavljanja strožijih zahteva u procesu projektovanja deponija. Zemlje u razvoju EU uglavnom ili imaju kratku razradu zahteva Direktive u svojim nacionalnim regulativama ili je uopšte nemaju. Projektovanjem deponija u skladu sa najboljim dostupnim tehnikama negativan uticaj deponija na životnu sredinu mogao bi da bude sprečen. Time bi se sprečila emisija zagađujućih materija u zemljište i vode. Predloženim izmenama teksta Direktive bili bi postavljeni čvrsti temelji za jasno definisanje najboljih dostupnih tehnika.

Da bi se projekat deponije smatrao valjanim neophodno je obezbediti sve neophodne elemente. To su:

- a) program deponovanja otpada,
- b) obezbeđivanje vodonepropusnosti dna i prekrivnog sloja,
- c) sakupljanje i tretman procednih voda,
- d) sakupljanje, tretman i iskorišćenje deponijskog gasa kao i
- e) adekvatno zatvaranje deponija.

Zaključak istraživanja je naučna osnova za proširenje teksta u cilju projektovanja deponije na način koji bi pružio bolju zaštitu životne sredine. Primena izvedenih zaključaka doprinela bi razvoju odgovarajućih Izvedeni zaključci doprineli bi razvoju odgovarajućih BAT uključujući i elemente odgovarajućih nacionalnih regulativa što bi doprinelo smanjenju emisija.

5.2. Razvoj procesa završnog tretmana tečnih zagađujućih materija primenom principa čistije proizvodnje

Istraživanja procesa u mikroreaktorskim sistemima je takođe iz oblasti zaštite životne sredine, konkretnije iz oblasti prerade otpadnih voda iz tekstilne industrije. Cilj je bio ispitivanje mogućnosti prerade ove vrste otpadne vode i dovođenja njenog kvaliteta do

nivoa propisanog za ispuštanje u vodoprijemnike u skladu sa važećim regulativama. Prečišćvanje otpadne vode na način predložen eksperimentom rezultat je inovativnog rada korišćenjem smanjenih količina hemikalija u skladu sa pravilima čistije proizvodnje.

Izvedenim istraživanjem ispitana je mogućnost uklanjanja boja za tekstil iz simulirane otpadne vode u šaržnim i mikroreaktorskim sistemima korišćenjem razblaženih rastvora natrijum hipohlorita. Proces izveden u mikroreaktorskom sistemu bio je daleko efikasniji od procesa izvedenog u šaržnim uslovima. Za postizanje efikasnog procesa u šaržnom sistemu, bilo je potrebno korišćenje čak 250 do 500 puta većih koncentracija sredstva za obezbojavanje. Konačno, cilj je bio pronalaženje optimalnih uslova za uklanjanje boje uz korišćenje minimalnih količina hemijskih agenasa i sa što nižim utroškom energije i vremena. Značajno uspešniji rezultati obezbojavanja postignuti su u mikroreaktorskim sistemima u odnosu na šaržne. Bilo koja kombinacija prečnika i dužine reaktora, vremena zadržavanja i brzine protoka reakcione smeše pokazala se daleko uspešnije u odnosu na procese u šaržnim sistemima.

Značajno uspešniji proces izveden je u mikroreaktorskom sistemu korišćenjem bilo kog prečnika i dužine reaktora, obezbojavanjem reakcione smeše bilo kog molskog odnosa u odnosu na eksperiment izveden u šaržnom sistemu. Reaktor srednje dužine, rastvor NaOCl niske koncentracije, mali prečnik i mali protok sa srednjim vremenom zadržavanja bili su dovoljni za uspešno izvođenje reakcije obezbojavanja a i povoljni su sa aspekta potrošnje hemikalija, energije a imaju i manji uticaj na životnu sredinu. Ovako prečišćena otpadna voda zadovoljava propise o kvalitetu vode za ispuštanje u vodoprijemnike propisane odgovarajućim regulativama i u skladu je sa principima čistije proizvodnje.

Izvedeni zaključci doprinose razvoju elemenata BAT u procesima završnog tretmana tečnog otpada/otpadnih voda primenom novih tehnologija. Dekompozicija u mikroreaktorskim sistenima u odnosu na konvencionalne tretmane predstavlja unapređenje u skladu sa principima čistije proizvodnje i to u pogledu uspešnosti dekompozicije, smanjenja potrošnje sirovina, skraćenje vremena trajanja procesa itd.

6. LITERATURA

Albrecht, B.A. & Benson, C.H., 2002. Effect of Desiccation on Compacted Natural Clays. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(4), pp.67–75.

Arami, M. et al., 2005. Removal of dyes from colored textile wastewater by orange peel adsorbent: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Colloid and Interface Science*, 288(2), pp.371–376.

ASTM International, W.C., 2016. ASTM D5084-16a. *Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016,. Available at: www.astm.org.

Baille, W., Tripathy, S. & Schanz, T., 2010. Swelling pressures and one-dimensional compressibility behaviour of bentonite at large pressures. *Applied Clay Science*, 48(3), pp.324–333. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2010.01.002>.

Bieda, B., 2014. Application of stochastic approach based on Monte Carlo (MC) simulation for life cycle inventory (LCI) to the steel process chain: Case study. *Science of the Total Environment*, 481, pp.649–655.

Bieda, B., 2013. Stochastic approach to municipal solid waste landfill life based on the contaminant transit time modeling using the Monte Carlo (MC) simulation. *Science of the Total Environment*.

Borchardt, K., 2010. *ABC of European Union law*,

BS1377-6:1990, Methods of test for soils for civil engineering purposes. Consolidation and permeability tests in hydraulic cells and with pore pressure measurement.

- Buclet, N., Defeuilley, C. & Lupton, S., 2009. *Municipal waste management in Hungary*,
- Budisulistiorini B. S., H., Electricity generation from landfill gas. *Jurnal Presipitasi*.
- Caliman, F.A. et al., 2011. Soil and groundwater cleanup: Benefits and limits of emerging technologies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 13(2), pp.241–268.
- Chequer, F.M.D. et al., 2013. Textile Dyes: Dyeing Process and Environmental Impact. *Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing*, pp.151–176.
- Chung, C.K. et al., 2011. Design and experiments of a short-mixing-length baffled microreactor and its application to microfluidic synthesis of nanoparticles. *Chemical Engineering Journal*, 168(2), pp.790–798.
- Civieltechnisch Centrum Uitvoering, CUR-Aanbeveling 33.
- Code, E., 2000. *Environmental Code*,
- Council directive 1999/31/EC, 1999. Council directive 1999/31/EC on the landfill. *Official Journal of the European Communities*, (10), p.L182/1-19.
- Council directive 2000/60/EC, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Parliament*, L327(September 1996), pp.1–82.
- Council directive 2008/98/EC, 2008. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives. *Official Journal of the European Union*, pp.3–30. Available at: <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/>.
- Council directive 2010/75/EU, 2010. DIRECTIVE 2010/75/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) (Recast). *Official Journal of the European Union*, L334, pp.17–119. Available at: http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/ev0027_en.htm.
- Council directive 2014/52/EU, 2014. *Directive 2014/52/EU of the European Parliament*

and of the Council of 16 April 2014 amending Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment, Available at: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0052&from=EN>.

Dajić, A. et al., 2014. Primena mikroreaktorskih sistema u zaštiti životne sredine. In *27.međunarodni kongres o procesnoj industriji Procesing '14*. Belgrade, pp. 1–7.

DecretoKatalonija, 1997. Katalonija-Decreto 1-1997.pdf.

DIN18130-1, 1998. Laboratory tests for determining the coefficient of permeability of soil.

Dunn, 1985. Laboratory measurement of fine-grained soil fluid conductivity. , 1, pp.215–223.

Environment Agency, 2007. Guidance for the Treatment of Landfill Leachate (Part 2). *Sector Guidance Note IPPC S5.03*.

ENVProtectionAct, 2002. LN_168_2002_E.pdf.

EU, 1975. *Council Directive 75/442/EEC of 15 July 1975 on waste*, Available at: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1975L0442:20031120:EN:PDF>.

EU 85/337/EEC, 1985. *Council Directive of 27 June 1985 on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment*,

Gao, B.Y. et al., 2007. Color removal from simulated dye water and actual textile wastewater using a composite coagulant prepared by polyferric chloride and polydimethyldiallylammonium chloride. *Separation and Purification Technology*, 54(2), pp.157–163.

Gao, M. et al., 2012. Ozonation of azo dye Acid Red 14 in a microporous tube-in-tube microchannel reactor: Decolorization and mechanism. *Chemosphere*, 89(2), pp.190–197. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.083>.

German, T. & Government, F., 2009. Ordinance Simplifying Landfill Law. *Society*, 2006(July 1998), pp.1–71.

- Golder Associates, 2005. *Report on Implementation of the Landfill Directive in the 15 Member States of the European Union*,
- Gomes, L. et al., 2011. Electrochemical degradation of the dye reactive orange 16 using electrochemical flow-cell. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 22(7), pp.1299–1306.
- Hamner, B., 1993. *Industrial pollution prevention planning in Washington state: First Wave results*, Seattle, Washington .
- Heerten, G. & Koerner, R.M., 2008. Cover systems for landfills and brownfields. *Land Contamination & Reclamation*, 16(4), pp.343–356. Available at: <http://openurl.ingenta.com/content/xref?genre=article&issn=0967-0513&volume=16&issue=4&spage=343>.
- Held, A.M. & Halko, J., 1978. Chlorine Oxidation of Hydrogen Peroxide.
- Hellweg, S., Hofstetter, T.B. & Hungerbühler, K., 2005. Time-dependent life-cycle assessment of slag landfills with the help of scenario analysis: The example of Cd and Cu. *Journal of Cleaner Production*, 13(3), pp.301–320.
- Hoque, A. & Clarke, A., 2013. Greening of industries in Bangladesh: pollution prevention practices. *Journal of Cleaner Production*, 51, pp.47–56.
- ISO/IEC17025:2017, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- ISO, 2004. ISO/TS 17892-11:2004 Geotechnical investigation and testing -- Laboratory testing of soil -- Part 11: Determination of permeability by constant and falling head.
- Jovan, J., 2011. *Liquid-liquid Microreactors for Phase Transfer Catalysis*.
- Jovanovic J, Eindhoven, T.U., 2011. *Liquid-liquid Microreactors for Phase Transfer Catalysis*.
- Jovanovic, J., 2011. *Liquid-liquid microreactors for phase transfer catalysis*. Available at: <https://pure.tue.nl/ws/files/3561757/719772.pdf>.

- Jovanović, M., 2004. *Osnovi tehnološkog projektovanja*, Belgrade: SHTS, Beograd.
- Karanac, M. et al., Prilog projektovanju vodonepropusnih slojeva deponija. , pp.961–973.
- Khatri, A. et al., 2015. A review on developments in dyeing cotton fabrics with reactive dyes for reducing effluent pollution. *Journal of Cleaner Production*, 87(1), pp.50–57. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.017>.
- Khouni, I., Marrot, B. & Ben Amar, R., 2010. Decolourization of the reconstituted dye bath effluent by commercial laccase treatment: Optimization through response surface methodology. *Chemical Engineering Journal*, 156(1), pp.121–133.
- Kulikowska, D. & Klimiuk, E., 2008. The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource Technology*.
- Lee, A.H., Nikraz, H. & Hung, Y.T., 2013. Influence of Waste Age on Landfill Leachate Quality. *International Journal of Environmental Science and Development*.
- Li, J. et al., 2009. A spectrophotometric method for determination of chemical oxygen demand using home-made reagents. *Desalination*, 239(1–3), pp.139–145. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916409000290>.
- Lomander, A. et al., 2004. Evaluation of chlorines' impact on biofilms on scratched stainless steel surfaces. *Bioresource Technology*, 94(3), pp.275–283.
- Management of Low Levels of Landfill Gas, Management of Low Levels of Landfill Gas Prepared by Golder Associates Ireland Limited on behalf of the Environmental Protection Agency (Office of Environmental Enforcement).
- Martin-Utrillas, M. et al., 2014. Hybrid method for selection of the optimal process of leachate treatment in waste treatment and valorization plants or landfills. *Clean Technologies and Environmental Policy*.
- Matsushita, Y. et al., 2007. Recent progress on photoreactions in microreactors. *Pure and Applied Chemistry*, 79(11), pp.1959–1968.
- Met, İ. & Akgün, H., 2015. Geotechnical evaluation of Ankara clay as a compacted clay liner. *Environmental Earth Sciences*, 74(4), pp.2991–3006.

Mijin, D. et al., 2008. Solvent effects on photodegradation of CI Reactive Orange 16 by simulated solar light. *Hemijaska industrija*, 62(5), pp.275–281. Available at: <http://www.doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=0367-598X0805275M>.

Ministri VROM 1997, *1997-richtlijn-geohydrologische-isolatie-van-bestaandestortplaatsen.pdf*,

Muthuraman, G. & Teng, T.T., 2009. Extraction of methyl red from industrial wastewater using xylene as an extractant. *Progress in Natural Science*, 19(10), pp.1215–1220. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pnsc.2009.04.002>.

Naismith, M., Wammes, J. & Mulleneers, H., Soil & Groundwater Protection By the Mineral Barrier Trisoplast (Applications and New Developments).

Narodna Skupština CG, 064/11 od 29.12.2011, 039/16 od 29.06.2016), 2016. *Zakon o upravljanju otpadom*,

Olson, R.O.Y.E., 1971. Mechanisms controlling. , 19(1953), pp.151–158.

Pearce, C.I., Lloyd, J.R. & Guthrie, J.T., 2003. The removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells: A review. *Dyes and Pigments*, 58(3), pp.179–196.

Permitting, E. & October, U., 2009. Environmental Permitting Environmental Permitting Guidance The Landfill Directive For the Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2007. , (October).

Puasa, S.W., Ruzitah, M.S. & Sharifah, A.S.A.K., 2012. Competitive removal of Reactive Black 5 / Reactive Orange 16 from aqueous solution via Micellar-enhanced Ultrafiltration. , 3(5), pp.354–358.

Representation Permanent The Deputy, 2003. Permanent representation of greece to the european union the deputy permanent representative.

Robertson, T. & Dunbar, J., 2005. *EPA 600/R-05/123a September 2005*, Available at: <http://clu-in.org/download/char/epa-600-r-05-123.pdf>.

Robinson, T. et al., 2001. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on

current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresour. Technol.* , 77(3), pp.247–255. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852400000808>.

Safari, E. et al., 2014. Variation of crack intensity factor in three compacted clay liners exposed to annual cycle of atmospheric conditions with and without geotextile cover. *Waste Management*.

Santos, S.C.R., Oliveira, Á.F.M. & Boaventura, R.A.R., 2016. Bentonitic clay as adsorbent for the decolourisation of dyehouse effluents. *Journal of Cleaner Production*, 126, pp.667–676.

Scharff, H., 2014. Landfill reduction experience in The Netherlands. *Waste Management*, 34(11), pp.2218–2224. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.05.019>.

ScottishEnvironmentProtectionAgency, 2002. *Scottish Environment Protection Agency Framework for Risk Assessment for Landfill Sites The Geological Barrier , Mineral Layer and the Leachate Sealing and Drainage System August 2002*,

Sl. gl. RS br. 135/2004;36/2009, 2010. *Zakon o Proceni Uticaja Na Životnu Sredinu*,

Sl. gl. RS br. 29/10, 2010. *Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019*,

Sl. gl. RS br. 36/2009, 88/2010, 14/2016 i 95/2018, 2016. *Zakon o upravljanju otpadom*,

Sl. gl. RS br. 55/05, 71/05-ispravka, 71/05, 65/08, 2002. *Strategija uvođenja čistije proizvodnje u Republici Srbiji*,

Sl. gl. RS br. 56/2016; 60/2017, 2016. *Uredba o podsticajnim merama za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora i iz visokoefikasne kombinovane proizvodnje električne i toplotne energije.*,

Sl. gl. RS br. 61/92, *Pravilnik o analizi uticaja objekata odnosno radova na životnu sredinu*,

Sl. gl. RS br. 74/2015, 2015. *Pravilnik o metodologiji za izradu projekata*,

Sl. gl. RS br. 92/2010, 2010. *Uredba o odlaganju otpada na deponije*,

- Sl.gl.RS17/2009, *Strategija uvođenja čistije proizvodnje u Republici Srbiji*,
- Sl.gl.RS54/92, *Pravilnik o kriterijumima za određivanje lokacije i uređenja deponija otpadnih materija*, Srbija.
- Slovak Environmental Agency, 2009. *Slovak Environmental Agency*,
- Sorvari, J., 2008. Developing environmental legislation to promote recycling of industrial by-products - An endless story? *Waste Management*, 28(3), pp.489–501.
- Spagni, A., Casu, S. & Grilli, S., 2012. Decolourisation of textile wastewater in a submerged anaerobic membrane bioreactor. *Bioresource Technology*, 117, pp.180–185. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.04.074>.
- SRPS_U.B1.034:1969, *Određivanje koeficijenta vodopropustljivosti*.
- Stanisavljević, N. et al., 2012. Methane emissions from landfills in Serbia and potential mitigation strategies: a case study. *Waste Management & Research*, 30(10), pp.1095–1103. Available at: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X12451867>.
- Stepniewski, W., Widomski, M.K. & Horn, R., 2011. Hydraulic Conductivity and Landfill Construction. *Developments in Hydraulic Conductivity Research*.
- Stevanovic-Carapina, H. et al., 2010. Emission of toxic components as a factor of the best practice options for waste management: Application of LCA (Life Cycle Assessment). *Hemijska industrija*, 65(2), pp.205–209.
- Swiss Confederation The, The Swiss Confederation WASTE MANAGEMENT 1. Overview. , pp.1–11.
- Tanimu, A., Jaenicke, S. & Alhooshani, K., 2017. Heterogeneous catalysis in continuous flow microreactors: A review of methods and applications. *Chemical Engineering Journal*.
- Thiel R, Daniel D, Erickson R, K.E., 2001. The GSE GundSeal GCL Design Manual. In *Giroud JP* . Houston, p. 370.

Visa, M. & Chelaru, A.M., 2014. Hydrothermally modified fly ash for heavy metals and dyes removal in advanced wastewater treatment. *Applied Surface Science*, 303, pp.14–22. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.02.025>.

Ward, D.B., Tizaoui, C. & Slater, M.J., 2006. Wastewater dye destruction using ozone-loaded VolasilTM245 in a continuous flow liquid-liquid/ozone system. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 45(2), pp.124–139.

Biografija

Ana Dajić (rođena Veljašević) rođena je 09.07.1981. godine u Čačku. Osnovne akademske studije upisala je školske 2000/2001. godine na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Na istom fakultetu diplomirala je u junu 2010. godine na smeru Neorganska hemijska tehnologija. Školske 2010/2011. upisala je doktorske akademske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu, studijski program hemijsko inženjerstvo.

Od 2011. god. zaposlena je u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu i angažovana na projektu TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“ koje finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (MPNTR). U periodu 2012/2013. godine učestvovala je u inovacionom projektu I - 135 „Razvoj vodonepropusnog materijala vrhunskih osobina za izgradnju deponija otpada na bazi domaćih sirovina.

Naučnoistraživački rad kandidatkinje pripada naučnoj oblasti hemijskog inženjerstva. U okviru angažovanja učestvovala je na više projekata u okviru kojih je aktivno učestvovala na različitim projektnim aktivnostima: projektovanju u funkciji zaštite životne sredine, tretmani za prečišćavanje otpadnih industrijskih zauljanih i obojenih voda, rešavanja problematike upravljanja otpadom, vezane za sisteme za prikupljanje i tretman deponijskog gasa i dr.

U dosadašnjem naučno-istraživačkom radu Ana Dajić je autor i koautor tri rada kategorije M20 (1 M21 i 2 M23), dvadeset saopštenja kategorije M30 (3 M31, 17 M33), jednog rada kategorije M50 (M52), jednog saopštenja kategorije M60 (M63) i dvadeset i jednog tehničkog rešenja M80 (5 M83, 7 M84, 4 M85 i 5 M86).

Spisak objavljenih naučnih i stručnih radova

Rad u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21)

1. **A. Dajić**, M. Mihajlović, M. Jovanović, M. Karanac, D. Stevanović, J. Jovanović, Landfill design: need for improvement of water and soil protection requirements in eu landfill directive, Clean Techn Environ Policy (2016), vol. 18 (3), pp. 753-764, (IF= 3,331).

Rad u međunarodnom časopisu (M23)

1. **Dajic, A.**, Mihajlovic, M., Mandic-Rajcevic, S., Mijin D., Jovanovic M., Jovanovic J., Improvement of the Textile Industry Wastewater Decolorization Process Using Capillary Microreactor Technology, Int J Environ Res (2019), vol. 13: pp. 213-222, <https://doi.org/10.1007/s41742-018-0162-3> (IF=1,150)

2. Savić, M., **Veljašević A.**, Jovanović J., Jovanović M., „Kvantifikacija evaporativnih gubitaka nafte i naftnih derivata tokom skladištenja“, Hem. Ind., 2012 DOI:10.2298/HEMIND120301050S, 67 (1) (2013) 165–174, (M23) (IF= 0,562).

Predavanje po pozivu sa međunarodnog skupa štampano u celini (M31)

1. D. Stevanović, S. Mandić-Rajčević, **A. Dajić**, M. Mihajlović, M. Karanac, J. Jovanović, M. Jovanović, „Određivanje i analiza osetljivosti konstante brzine stvaranja metana (k) za procenu potencijala deponijskog gasa kao obnovljivog izvora energije u Srbiji“, Četvrta međunarodna konferencija o obnovljivim izvorima električne energije, 17. i 18. oktobar, Beograd, Srbija (2016), pp. 155-161, ISBN 978-86-81505-80-9.

2. S. Mandić-Rajčević, D. Stevanović, J. Jovanović, M. Karanac, M. Mihajlović, **A. Dajić**, M. Jovanović, „Analiza efekta sistema regionalnih deponija na emisije gasova sa efektom staklene baste u Republici Srbiji“, Četvrta međunarodna konferencija o obnovljivim izvorima električne energije, 17. i 18. oktobar, Beograd, Srbija (2016), pp. 163-168, ISBN 978-86-81505-80-9.

3. S. Mandić-Rajčević, **A. Dajić**, A. Veljović, M. Jovanović, „Defining the needs and developing an information system for the monitoring and reporting of landfill gas for municipal landfills“, 31st International Congress on Process Industry – Processing '18, June 6–8, 2018, Bajina Bašta, Serbia (2018), pp.223-229, ISBN 978-86-81505-86-1.

Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33)

1. M. Savić, M. Jovanović, J. Jovanović, S. Petrović, **A. Veljašević**, „Environmental Analyses of Raw Pyrolysis Gasoline handling in oil refineries“, II REGIONAL CONFERENCE on INDUSTRIAL ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN SOUTHEASTERN EUROPE – IEEP'10, Proceedings, june 22. – 26. 2010., Zlatibor, Srbija, 978-86-7877-012-8, pp. 44 - 45.

2. M. Savić, M. Jovanović, J. Jovanović, S. Petrović, **A. Veljašević**, „Estimation of Oil refinery Tank Farm Diffuse VOC Emissions“, II REGIONAL CONFERENCE on INDUSTRIAL ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN SOUTHEASTERN EUROPE – IEEP'10, Proceedings, june 22. – 26. 2010., Zlatibor, Srbija, 978-86-7877-012-8, pp. 48.

3. **A. Veljašević**, M. Savić, J. Jovanović, M. Jovanović, „New Method for Crude Oil Storage Tanks Evaporative Losses Determination“, International Conference Innovation as a Function of Engineering Development, Novembar 25 – 26, 2011, Niš, Srbija, 978-86-80295-98-5, pp.381-386.

4. D. Đurović, D. Urošević, **A. Veljašević**, M. Savić, J. Jovanović, M. Jovanović, A. Spasić, Conceptual design of thermal power plant wastewater treatment, 43rd International October Conference on Mining and Metallurgy, October 12 - 15, 2011, Kladovo, Serbia
5. **A. Veljašević**, M. Savić, A. Spasić, J. Jovanović, „Primena emisionih faktora za proračun evaporativnih gubitaka naftnih derivata u postupcima manipulacije” 25.međunarodni kongres o procesnoj industriji Procesing '12, jun 7 – 8, 2012, Beograd Srbija, pp. 1-6.
6. **A. Veljašević**, M. Mihajlović, D. Stevanović, J. Jovanović, M. Jovanović, „Emission reduction estimation as result of gasoline loading system reconstruction“, IV REGIONAL CONFERENCE INDUSTRIAL ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN SOUTHEASTERN EUROPE – IEEP'13, 978-86-7877-023-4, pp. 1-8.
7. D. Stevanović, M. Mihajlović, **A. Veljašević**, J. Jovanović, M. Jovanović, „Petrochemical complexwastewater treatment plant air emissions estimation“, IV REGIONAL CONFERENCE INDUSTRIAL ENERGY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION IN SOUTHEASTERN EUROPE – IEEP'13, 978-86-7877-023-4, pp. 1-8.
8. **A. Dajić**, D. Stevanović, M. Karanac, M. Mihajlović, J. Jovanović, D. Mijin, M. Jovanović, „Primena mikroreaktorskih sistema u zaštiti životne sredine: obezbojavanje otpadnih voda” 27.međunarodni kongres o procesnoj industriji Procesing '14, 22- 24 septembar, 2014, Beograd Srbija, 978-86-81505-75-5, pp. 1-6.
9. M. Karanac, M. Mihajlović, **A. Dajić**, D. Stevanović, J. Jovanović, M. Jovanović, „Tehnološki elementi projektovanja deponija” 27.međunarodni kongres o procesnoj industriji Procesing '14, 22- 24 septembar, 2014, Beograd Srbija, 978-86-81505-75-5, pp. 1-6.
10. M. Karanac, M. Mihajlović, **A. Dajić**, D. Stevanović, J. Jovanović, M. Jovanović, „Upravljanje deponijskim gasom” 27.međunarodni kongres o procesnoj industriji Procesing '14, 22- 24 septembar, 2014, Beograd Srbija, 978-86-81505-75-5, pp. 1-6.
11. S. Mandić-Rajčević, M. Karanac, **A. Dajić**, M. Mihajlović, M. Jovanović, „Occupational health and safety concerns in coal-fired thermoelectrical power plant

workers”, 28.međunarodni kongres o procesnoj industriji Processing '15, 4-5. juni, 2015, Indija, Srbija, 978-86-81505-77-9, pp. 1-7.

12. **A. Dajić**, D. Mijin, B. Grgur, M. Mihajlović, M. Jovanović, „Obezbojavanje otpadnih voda iz tekstilne industrije korišćenjem cevnih mikroreaktora”, 28.međunarodni kongres o procesnoj industriji Processing '15, 4-5. juni, 2015, Indija, Srbija, 978-86-81505-77-9, pp. 1-6.

13. Mandic-Rajcevic S, Karanac M, **Dajic A**, Mihajlovic M, Jovanovic M. Exposure and risk maps for health and safety in wastewater treatment plants. 29th International Process Engeneering Congress – Processing. . 2016 p. 43-51. ISSN: 978-86-81505-81-6.

14. J. Tadić, **A. Dajić**, L. Matović, J. Jovanović, M. Mihajlović, D. Mijin, M. Jovanović, Moderan pristup organskoj sintezi upotrebom mikroreaktorskih sistema, 30. kongres o procesnoj industriji Processing '17, 1. i 2. jun, Beograd, Srbija (2017), pp. 51-56, ISBN 978-86-81505-83-0.

15. **A. Dajić**, M. Mihajlović, D. Mijin, J. Jovanović, M. Jovanović, „Ispitivanje mogućnosti uklanjanja sintetskih boja u mikroreaktorskim sistemima”, 30. kongres o procesnoj industriji Processing '17, 1. i 2. jun, Beograd, Srbija (2017), pp.197-201, ISBN 978-86-81505-83-0.

16. S. Mandić-Rajčević, **A. Dajić**, M. Mihajlović, Monitoring greenhouse gas emissions from landfills: preventing global warming and promoting renewable energy production, International Conference Energy and Ecology Industry EEI2018, October, 10-13, 2018, Belgrade, Serbia, pp. 242-246, ISBN:978-86-7466-751-4.

17. M. Mihajlović, **A. Dajić**, S. Mandić-Rajčević, M. Jovanović, Development of best available technique for industrial landfills closure, International Conference Energy and Ecology Industry EEI2018, October, 10-13, 2018, Belgrade, Serbia, pp. 247-250, ISBN: 978-86-7466-751-4.

Rad u istaknutom časopisu nacionalnog značaja (M52)

1. M. Karanac, M. Jovanović, M. Mihajlović, **A. Dajić**, D. Stevanović, J. Jovanović, Prilog tehnološkom projektovanju deponija u Srbiji, Reciklaža i održivi razvoj, 8 (2015), 27-37, ISSN 1820-7480.

Saopštenja sa skupova nacionalnog značaja štampana u celini (M63)

1. S. Grujić, M. Tošić, V. Živanović, J. Nikolić, S. Matijašević, **A. Veljašević** Primary and secondary recycling of glass', 5th Symposium Recycling technologies and sustainable development -IV SRTOR, 3-6 Septembar 12-15, 2010, Soko Banja, Srbija, Proceedings, pp. 209-213, ISBN 978-86-80987-80-4

Ostalo

Tehnička i razvojna rešenja

Novi tehnološki postupak (M83)

1. M. Jovanović, D. Stevanović, M. Mihajlović, M. Karanac, **A. Dajić**, J. Jovanović, D. Mitić, D. Đurović, B. Anđelić, „Tehnološki postupak proizvodnje veštačke mineralne barijere sačinjene od mešavine bentonita i peska ojačane polimerom“, rezultat Inovacionog projekta I – 135 „Razvoj vodonepropusnog materijala vrhunskih osobina za izgradnju

deponija otpada na bazi domaćih sirovina“, korisnik Pro Voding, Beograd, godina: 2013. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta I – 135.

Novo laboratorijsko postrojenje (M83)

2. M. Jovanović, **A. Veljašević**, M. Savić, J. Jovanović, J. Tanasijević, D. Stevanović, V. Marinović, A. Spasić, „Novo laboratorijsko postrojenje za ispitivanje uklanjanja ulja iz otpadnih voda termoenergetskih postrojenja“, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik Pro Voding, Beograd, godina: 2011. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.

3. M. Jovanović, D. Stevanović, **A. Veljašević**, M. Savić, J. Jovanović, M. Karanac, „Novo laboratorijsko postrojenje za ispitivanje uklanjanja ulja iz otpadnih voda termoenergetskih postrojenja metodom koalescencije“, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik Pro Voding, Beograd, godina: 2012. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009

4. M. Jovanović, J. Jovanović, D. Stevanović, M. Mihajlović, **A. Dajić**, M. Karanac, “Novo laboratorijsko postrojenje – mikroreaktorski sistem za višefazne organske sinteze”, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik: Pro Voding, Beograd, godina: 2013. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009

5. M. Jovanović, **A. Dajić**, D. Stevanović, D. Mijin, M. Mihajlović, M. Karanac, J. Jovanović, “Novo laboratorijsko postrojenje za uklanjanje azo boja iz otpadnih voda primenom mikroreaktorskih sistema”, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik: Pro Voding, Beograd, godina: 2014. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009

Bitno poboljšani tehnološki postupak (M84)

6. M. Jovanović, J. Tanasijević, M. Savić, **A. Veljašević**, J. Jovanović, D. Stevanović, „Tehnologija skladištenja goriva u termoelektranama“, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik: Pro Voding, Beograd, godina: 2011. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.
7. M. Jovanović, J. Tanasijević, M. Savić, **A. Veljašević**, J. Jovanović, D. Stevanović, A. Spasić, „Deponovanje industrijskih muljeva naftno - petrohemijskih postrojenja“, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik: Pro Voding, Beograd, godina: 2011. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009
8. M. Jovanović, D. Stevanović, M. Mihajlović, **A. Veljašević**, Karanac M., Jovanović J., „Idejno-koncepciono rešenje prečišćavanja otpadnih voda TE „Morava““, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik EPS, Beograd, godina: 2012. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.
9. Jovanović M., Karanac M., Mihajlović M., **Veljašević A.**, Jovanović J., Stevanović D., „Idejno koncepciono rešenje prečišćavanja otpadnih voda TE „Kolubara““, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik EPS, Beograd, godina: 2012. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.
10. M. Jovanović, M. Mihajlović, D. Stevanović, M. Karanac, **A. Dajić**, J. Jovanović, A. Veljović "Idejno konceptualno rešenje budućeg deponovanja pepela i šljake", rezultat TR 34009 "Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje", korisnik EPS, Beograd, godina: 2015. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009

Bitno poboljšana tehnologija (M84)

11. Jovanović M., Karanac M., Mihajlović M., Jovanović J., **Veljašević A.**, Stevanović D., Tanasijević J., „Bitno poboljšana tehnologija kanaliziranja otpadnih voda skladišta uglja u termoelektranama“, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik Pro Voding, Beograd, godina: 2012. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.

12. M. Jovanović, **A. Veljašević**, M. Mihajlović, M. Karanac, D. Stevanović, J. Jovanović "Studija Idejno koncepciono rešenje prečišćavanja otpadnih voda u Pogonu "Oplemenjivanje uglja" u PD RB "Kolubara" doo-Ogranak Prerada, Vreoci", rezultat TR 34009 "Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje", korisnik EPS, Beograd, godina: 2013. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.

Nova metoda (M85)

13. M. Jovanović, M. Savić, **A. Veljašević**, J. Jovanović, V. Marinović, Z. Popović, „Nova metoda za utvrđivanje evaporativnih gubitaka skladištenja nafte“, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik: NIS Petrol - Rafinerija nafte Pančevo i Pro Voding, Beograd, godina: 2011. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.

14. M. Jovanović, **A. Veljašević**, M. Mihajlović, M. Karanac, D. Stevanović, J. Jovanović, „Nova metoda za utvrđivanje normativa evaporativnih gubitaka na otpremnim – prijemnim instalacijama rafinerije nafte“, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik EPS, Beograd, godina: 2013. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.

15. M. Jovanović, **A. Dajić**, M. Mihajlović, M. Karanac, D. Stevanović, J. Jovanović, D. Mitić, D. Đurović, B. Anđelić, „Razvoj prototipa mineralnog materijala - mešavine bentonita i peska ojačane polimerom“, rezultat Inovacionog projekta I – 135 „Razvoj vodonepropusnog materijala vrhunskih osobina za izgradnju deponija otpada na bazi domaćih sirovina“, korisnik Pro Voding, Beograd, godina: 2013. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta I – 135.

16. M. Jovanović, **A. Dajić**, M. Mihajlović, M. Karanac, Stefan Mandić-Rajčević, J. Jovanović, „Iskorišćenje potencijala deponijskog gasa pri parcijalnom zatvaranju komunalne deponije“, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik Pro Voding, Beograd, godina: 2017. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009

Kritička evaluacija podataka (M86)

17. M. Jovanović, **A. Veljašević**, M. Mihajlović, M. Karanac, D. Stevanović, J. Jovanović, „Studija identifikacije otpadnih voda Pogona „Oplemenjivanje uglja“ u PD RB „Kolubara“ doo - ogranak Prerada, Vreoci“, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik EPS, Beograd, godina: 2012. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.

18. M. Jovanović, **A. Veljašević**, M. Mihajlović, M. Karanac, D. Stevanović, J. Jovanović, „Studija identifikacije mogućnosti tehnološkog povezivanja delova EPS u Kolubarskom regionu na problematici voda“ rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik: Elektroprivreda Srbije, godina: 2013. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009

19. M. Jovanović, **A. Dajić**, M. Mihajlović, M. Karanac, D. Stevanović, J. Jovanović, D. Mitić, D.Đurović, B. Anđelić, „Kritička evaluacija podataka dostupnosti sirovina i

kvaliteta bentonita i peska za korišćenje u proizvodnji mineralnog materijala - mešavine bentonita i peska ojačane polimerom“, rezultat Inovacionog projekta I – 135 „Razvoj vodonepropusnog materijala vrhunskih osobina za izgradnju deponija otpada na bazi domaćih sirovina“, korisnik Pro Voding, Beograd, godina: 2013. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta I – 135.

20. M. Jovanović, M. Karanac, M. Mihajlović, **A. Dajić**, D. Stevanovića, J. Jovanovića, A. Veljović, „Studija identifikacije stanja deponija pepela i šljake u objektima EPS“, rezultat TR 34009 „Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje“, korisnik EPS, Beograd, godina: 2014. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.

21. M. Jovanović, M. Mihajlović, D. Stevanović, M. Karanac, **A. Dajić**, J. Jovanović, A. Veljović "Idejno konceptualno rešenje deponovanja pepela i šljake -osnova za buduće rešavanje problema-", rezultat TR 34009 "Razvoj tehnoloških procesa za tretman otpadnih voda energetskih postrojenja primenom čistije proizvodnje", korisnik EPS, Beograd, godina: 2015. mišljenje korisnika u dokumentaciji projekta TR 34009.

SUMARY REPORT

Оцена извештаја о провери оригиналности докторске дисертације пријављене под насловом „Развој процеса завршног третмана чврстих и течних загађујућих материја применом принципа чистије производње“ кандидата Ане С. Дајић

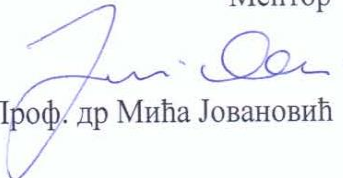
На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма *iThenticate* којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Развој процеса завршног третмана чврстих и течних загађујућих материја применом принципа чистије производње“, аутора Ане С. Дајић, констатујем да утврђено подударање текста (*similarity index*) износи 9%.

Овај степен подударности последица је претходно публикованих резултата докторандових истраживања на нивоу од 3%, што је у складу са чланом 9. Правилника. Преостало подударање текста распоређено је на врло велики број референци и односи се на коришћење појмова који су предмет дисертације.

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, изјављујем да извештај указује на оригиналност докторске дисертације, те се прописани поступак припреме за њену одбрану може наставити.

У Београду, 27.5.2019. г.

Ментор



Проф. др Мића Јовановић

Прилог: Извештај из програма *iThenticate*

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Ана Дајић

Број индекса ДС-4052/2010

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Развој процеса завршног третмана чврстих и течних загађујућих материја

применом принципа чистије производње

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, _____

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

Име и презиме аутора Ана Дајић

Број индекса ДС-4052/2010

Студијски програм Хемијско инжењерство

Наслов рада Развој процеса завршног третмана чврстих и течних загађујућих материја применом принципа чистије производње

Ментор др Мића Јовановић, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањена у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду.**

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива 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 аутора

У Београду, _____

Изјава о коришћењу

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

Развој процеса завршног третмана чврстих и течних загађујућих материја применом принципа чистије производње

која је моје ауторско дело.

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

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.

Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, _____

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.