

Pročišćavanje zauljenih otpadnih voda elektrokemijskim postupkom

Majić, Mislav

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:230328>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-20**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Mislav Majić

**PROČIŠĆAVANJE ZAULJENIH OTPADNIH
VODA ELEKTROKEMIJSKIM POSTUPKOM**

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor: izv. prof. dr. sc. Dražen Vouk

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Mislav Majić

**PROČIŠĆAVANJE ZAULJENIH OTPADNIH
VODA ELEKTROKEMIJSKIM POSTUPKOM**

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor: izv. prof. dr. sc. Dražen Vouk

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Mislav Majić

WASTEWATER TREATMENT WITH ELECTROCHEMICAL METHOD

FINAL EXAM

Supervisor: izv. prof. dr. sc. Dražen Vouk

Zagreb, 2024

SAŽETAK

Elektrokoagulacija je jedan od najčešće korištenih tehnologija pročišćavanja otpadnih voda. U teoretskom dijelu rada analizirana je problematika zbrinjavanja zauljenih otpadnih voda, tehnologija te parametri elektrokoagulacije. Obavljen je veći broj pokusa pročišćavanja zauljenih otpadnih voda gdje se mjerila učinkovitost pročišćavanja vode, kroz praćenje raznih parametara, u odnosu na različite početne pH vrijednosti vode, vrijeme trajanja procesa pročišćavanja te redoslijed elektroda. Dobiveni rezultati potvrđuju primjenu elektrokoagulacije za pročišćavanje zauljenih otpadnih voda.

Ključne riječi: elektrokoagulacija, zauljene otpadne vode, pročišćavanje, elektrode, KPK

SUMMARY

Electrocoagulation is one of the most commonly used wastewater treatment technologies. The theoretical part of the paper analyzes the problem of oily wastewater disposal, the technology and the parameters of electrocoagulation. A large number of oily wastewater purification experiments were conducted, where the efficiency of water purification was measured by monitoring various parameters, in relation to different initial pH values of the water, the duration of the purification process and the sequence of the electrodes. The obtained results confirm the application of electrocoagulation for the treatment of oily wastewater.

Key words: electrocoagulation, oily wastewater, treatment, electrodes, COD

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	i
SUMMARY.....	ii
SADRŽAJ	iii
1. UVOD.....	1
2. PROBLEMATIKA ZBRINJAVANJA OTPADNIH VODA.....	2
2.1. Uvod u problem zbrinjavanja otpadnih voda.....	2
2.2. Zauljene otpadne vode	3
2.3. Tehnologije pročišćavanja zauljenih otpadnih voda	3
2.3.1. Koagulacija i flokulacija	3
2.3.2. Flotacija.....	4
3. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA ELEKTROKOAGULACIJOM	5
3.1. Općenito o elektrokoagulaciji.....	5
3.2. Tehnologija elektrokoagulacije.....	5
3.3. Parametri elektrokoagulacije.....	7
3.3.1. Gustoća struje	7
3.3.2. Trajanje procesa.....	7
Trajanje procesa elektrokoagulacije iznimno je bitan parametar. Koncentracija organskog opterećenja smanjuje se duljim pročišćavanjem.....	7
3.3.3. Utjecaj pH vrijednosti	7
3.3.4. Vrsta, geometrija i dizajn elektroda.....	8
4. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA UČINKOVITOSTI PROČIŠĆAVANJA ZAULJENIH VODA ELEKTROKOAGULACIJOM.....	10
4.1. Otpadna voda.....	10
4.2. Oprema i mjerni instrumenti.....	11
4.3. Metodologija pročišćavanja otpadne vode	12
4.4. Rezultati	14
4.4.1. Kemijska potrošnja kisika (KPK)	26
4.4.2. Otopljeni kisik	28
4.4.3. Temperatura.....	29

4.4.4. Električna vodljivost i ukupna otopljena tvar (TDS).....	31
5. ZAKLJUČAK	35
POPIS LITERATURE	36
POPIS SLIKA.....	38
POPIS TABLICA	40

1. UVOD

Voda je jedan od ključnih resursa za opstanak svih živih organizama. Prvi oblici života, stari oko 3,5 milijarde godina, razvili su se upravo u vodi, konkretno u proceanima. Hidrosfera obuhvaća vodenu masu od 1,4 milijarde km³ te pokriva površinu u iznosu 71 % površine planeta.

Od najranijih civilizacija, voda je igrala ključnu ulogu u opstanku i razvoju društava. Prvi su se gradovi gradili uz rijeke i jezera te koristili vodu za piće, navodnjavanje, higijenu i obranu. Sposobnost upravljanja vodom je bila potrebna za daljnji razvoj civilizacije.

Danas se, u sklopu svjetskih ciljeva održivog razvoja, provode različite mjere kako bi se osigurala dovoljna količina pitke vode odgovarajuće kvalitete. Klimatske promjene imaju veliki utjecaj na dostupnost vode. Rast temperatura mijenja obrasce oborina i uzrokuje jače suše u nekim regijama, dok u drugima povećava rizik od poplave. Stoga, održivo upravljanje vodama mora sadržavati i prilagodbu klimatskim promjenama kako bi se očuvali prirodni resursi i zadovoljila rastuća potreba čovječanstva za vodom.



Slika 1: Peć Mlini, Drinovci, Bosna i Hercegovina

2. PROBLEMATIKA ZBRINJAVANJA OTPADNIH VODA

2.1. Uvod u problem zbrinjavanja otpadnih voda

Voda namijenjena za ljudsku potrošnju je svaka voda, u izvornom stanju ili nakon obrade (kondicioniranja), koja je namijenjena za piće, kuhanje ili druge potrebe kućanstva, neovisno o podrijetlu i dolazi li iz sustava javne vodoopskrbe, iz spremnika ili iz boca odnosno posuda za vodu [1]. Potrošnja vode raste porastom broja stanovništva i zbog tog se mora osigurati dovoljne količine vode zadovoljavajuće kakvoće.

Otpadne vode su sve onečišćene industrijske, oborinske, sanitarne i druge vode. Pravne i fizičke osobe mogu ispuštati otpadne vode u okviru propisanih graničnih vrijednosti emisija. To su vode koje su promijenile svoj prvobitni sastav unošenjem štetnih tvari koje uzrokuju promjenu fizikalnih, kemijskih ili bioloških karakteristika vode zbog čega se ne mogu koristiti u bilo koje svrhe. Voda je onečišćena ako je količina otpadnih tvari u njoj veća od količine propisane standardom o kvaliteti vode [2]. Pravne i fizičke osobe mogu ispuštati otpadne vode u okviru propisanih graničnih vrijednosti emisija.

Dva su parametra koja ukazuju na stupanj zagađenja vode: BPK i KPK. BPK – biološka potreba za kisikom je pokazatelj količine razgradive organske tvari. Zbog dugog trajanja potpune razgradnje organske tvari, u praktičnoj se primjeni koristi BPK_5 koji ukazuje na petodnevnu biološku potrebu za kisikom pri temperaturi od 20 °C. KPK je kemijska potrošnja kisika koja predstavlja količinu kisika potrebnu za oksidaciju ukupnog organskog otpada.

Onečišćene vode imaju visok sadržaj koloidnih čestica. Koloidne čestice su čestice malih dimenzija na koje ne djeluje gravitacija i zbog toga se ne talože. Njihovo uklanjanje iz vode može se ostvariti procesima koagulacije i flokulacije koji se odvijaju dodatkom sredstava za flokulaciju tzv. flokulanata, koji s koloidno dispergiranim česticama stvaraju veće čestice – flokule. Flokule se mogu ukloniti iz vode procesima sedimentacije, flotacije ili filtracije. Kako bi se destabilizirala koloidna suspenzija, potrebno je smanjiti elektrostatsko odbijanje između čestica odnosno neutralizirati naboje. Taj se proces naziva koagulacija i postiže se dodatkom viševalentih kationa koji vezanjem na koloidne čestice smanjuju njihov zeta potencijal [3].

Pročišćavanjem otpadnih voda uklanjaju se neželjene nečistoće do koncentracija pri kojoj pročišćena otpadna voda postaju neopasne za život, odnosno do koncentracija propisanih u Pravilniku o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda [4].

2.2. Zauljene otpadne vode

Zauljene otpadne vode su spoj otpadne vode i ulja u određenom omjeru. Produkt su petrokemijske, prerađivačke, metalurške industrije i pomorskog prometa. Ulja sa moraju ukloniti prije ispuštanja u okoliš ili ponovne uporabe kako bi se smanjili štetni utjecaji na ljudsko zdravlje, tlo, podzemne vode i okoliš općenito.

Pod ulja ubrajamo lake i teške ugljikovodike, naftu, katran, masti, vosak i sapun [5]. Ulja dijelimo na ulja mineralnog, životinjskog i biljnog podrijetla. Prema fizičkim obilježjima možemo ih podijeliti na slobodna ulja, dispergirana ulja, emulgirana ulja i otopljena ulja. Zauljene otpadne vode najčešće sadrže ulja u emulgiranom obliku. Emulgirani se oblik razlikuje od dispergiranog po stabilnosti. Ulja se sastoje od više od 800 različitih kemijskih spojeva [6,7].

2.3. Tehnologije pročišćavanja zauljenih otpadnih voda

Najvažnija aktivnost u gospodarenju vodama je pročišćavanje otpadnih voda. Otpadne vode se pročišćavaju radi ponovne upotrebe ili ispuštanja u vodne sustave. Postoje razne razvijene tehnologije kojima je cilj postizanje određene kvalitete pročišćene vode.

Primjena određene tehnologije pročišćavanja ovisi o koncentraciji i prirodi nastanka ulja. Odabir pojedine tehnologije također ovisi o odnosu potrebne razine pročišćavanja i samih troškova pročišćavanja (investicija i održavanje). Najčešće korištene tehnologije su koagulacija, flotacija i elektrokoagulacija. Postoje i hibridni postupci – postupci nastali kombinacijom procesa pročišćavanja.

2.3.1. Koagulacija i flokulacija

To je klasični postupak kojim se uklanja emulgirano i otopljeno ulje. Površinski se naboj čestica smanjuje dodavanjem kemikalija, emulzija se raspada, a rezultat je spajanje uljnih kapljica u veću česticu koju nazivamo flokula. One se gravitacijski talože i uklanjanju se mehanički. Učinkovitost ove tehnologije je vrlo visoka. Nedostatci su skupi kemijski reagensi koji se dodaju i posljedično povećanje pH vrijednosti vode.

Tablica 1: Primjena različitih kemijskih koagulanata za izdvajanje ulja (Izvor: [8])

Koagulant	Učinak	Istraživanje
CAX	Uklanjanje ulja > 98%	Lin i Wen (2003.g.)
PISS, A-PAM	Uklanjanje ulja – 99%	Zhu i Zheng (2002.g.)
PAZCS	Uklanjanje KPK – 71,8 %	Cong et all (2011.g.)

2.3.2. Flotacija

Flotacija je odvajanje krutih i dispergiranih čestica od tekućine pomoću mjehurića zraka. Koristi se kada razlika između gustoće vode i ulja nije dovoljno velika i ne može se postići učinkovito odvajanje. Mjehurići zraka prijanjaju za kapljice ulja i čine ih poletnijima. Ulje se zatim odvaja na površinu spremnika i uklanja se u obliku pjene. Postoje dvije glavne vrste procesa flotacije: IAF i DAF. IAF je flotacija s induciranim zrakom, a DAF flotacija s otopljenim zrakom. Razlikuju se po uvjetima miješanja i u promjeru mjehurića, gdje su mjehurići zraka veći u procesu DAF [9].

Tablica 2: Pročišćavanje zauljenih otpadnih voda flotacijom (Izvor: [8])

Vrsta flotacije	Onečišćenje	Učinkovitost	Istraživanje
IAF	Ulje	> 90%	Wang (2007.g.)
DAF	Ulje	> 90%	Al – Shamrani et al (2002.g.)
	KPK	92,5%	Hamia et al (2007.g.)
	BPK	94%	Hamia et al (2007.g.)

3. PROČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA ELEKTROKOAGULACIJOM

3.1. Općenito o elektrokoagulaciji

U procesima obrade, odnosno kondicioniranja vode za piće i pročišćavanja otpadnih voda, metoda elektrokoagulacije pokazala se vrlo učinkovitom.

Metoda se značajnije koristi tek u zadnjih 20 godina zbog visokih investicijskih troškova povezanih s cijenom električne energije. S razvojem tehnologije proizvodnje električne energije i padom cijena električne energije, ova se metoda sve više koristi. Također, zbog razvoja u području obnovljivih izvora energije, metoda elektrokoagulacije počinje se primjenjivati i u onim područjima koja nemaju izravan pristup energetskej mreži već struju dobivaju iz solarnih panela [5].

Elektrokoagulacijski proces povezuje prednosti i funkcije konvencionalne kemijske koagulacije, flotacije i elektrokemije te se on od njih razlikuje samo po tome što se potrebne tvari za vezanje onečišćenja generiraju u elektrokemijskoj ćeliji, odnosno mehanizam pročišćavanja je isti [10]. Upravo zbog složenosti odnosa između ovih procesa, ova je metoda područje mnogih i intenzivnih znanstvenih istraživanja.

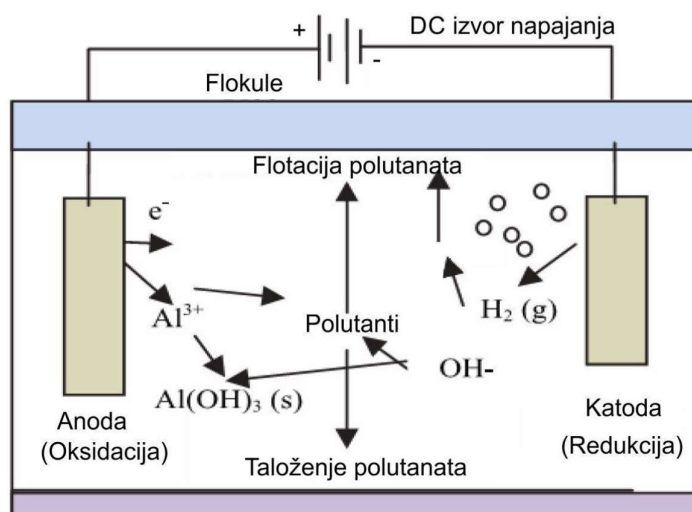
3.2. Tehnologija elektrokoagulacije

Tehnologija se temelji na provođenju električne struje kroz elektrode u reakcijskoj posudi koje su uronjene u onečišćenu vodu i otapaju se te svojim otopljenim česticama (koagulantima) neutraliziraju naboje raspršenih čestica onečišćenja. Tvore se veće čestice (flokulanti) koje se odvajaju od mješavine. Obično se kao materijali elektrode koriste aluminij, željezo i nehrđajući čelik. Razlog njihove upotrebe je dostupnost, niski troškovi nabave i održavanja, netoksičnost i dokazana učinkovitost [11].

Proces prolazi kroz fazu reakcije na površini elektroda gdje dolazi do elektrolitske oksidacije žrtvovane elektrode, stvaranja koagulanata, vezivanja čestica onečišćenja za koagulate odnosno formiranje flokula te uklanjanja čestica sedimentacijom i flotacijom.

Djelovanjem istosmjerne struje na elektrode u elektrokemijskoj ćeliji otpuštaju se metalni kationi (npr. Fe^{2+} , Al^{3+}) na anodi potrebni za postupak koagulacije. Istovremeno na katodi dolazi do redukcije vode gdje nastaju vodik (H^+) i hidroksidna skupina (OH^-). Metalni kationi s hidroksidnim skupinama stvaraju stabilne hidrokside koji neutraliziraju naboj čestica onečišćenja vode i s njima čine sve veće strukture koje se talože u otopini. Oslobođeni

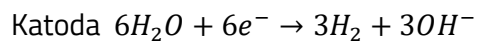
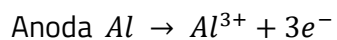
vodik pojačava vezu otopljenih čestica s onečišćenjem i smanjuje relativnu specifičnu težinu zagađivača vode [5].



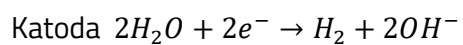
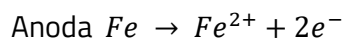
Slika 2: Shema bipolarnе ćelije s procesima izravne i neizravne anodne oksidacije na aluminijskoj elektrodi (Izvor: [12])

Tijek procesa prikazan je jednadžbama:

Aluminijska elektroda



Željezna elektroda



3.3. Parametri elektrokoagulacije

Parametri koji utječu na elektrokoagulaciju:

3.3.1. Gustoća struje

Količina flokula ovisi o gustoći struje. Faradejev zakon elektrolize daje teoretsku procjenu količine otopljenih iona

Fe²⁺ ili Al³⁺ zbog rada anode i pojave vodika na katodi [13].

$$m = \frac{I \cdot t \cdot M}{z \cdot F}$$

Gdje je:

m – masa otpuštenog metala

z – broj isporučenih elektrona

I – jakost struje

F – Faradejeva konstanta (96 500 C/mol)

t – vrijeme trajanja procesa

M – molarna masa materijala

Veličina elektrokoagulacijskog uređaja je određena gustoćom struje. Njihov odnos je obrnuto proporcionalan. Korištenje velikih gustoća struje zahtijevaju manje dimenzije uređaja.

3.3.2. Trajanje procesa

Trajanje procesa elektrokoagulacije iznimno je bitan parametar. Koncentracija organskog opterećenja smanjuje se duljim pročišćavanjem.

3.3.3. Utjecaj pH vrijednosti

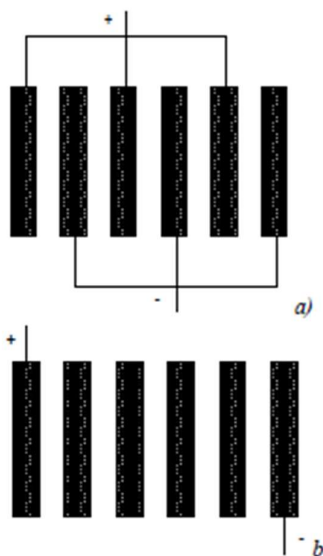
U procesu koagulacije, utjecaj se pH vrijednosti otpadne vode odražava preko iskorištenosti struje i preko učinka otapanja metalnih hidroksida. Ako se koristi aluminijska elektroda, iskorištenost je velika u lužnatoj i kiseloj sredini, dok je učinak u neutralnoj sredini, pri pH vrijednosti 7, ovisan o vrsti onečišćenja vode. Najveći se učinak uklanjanja polutanata iz vode događa pri pH vrijednostima oko 7, ali se utrošak energije povećava zbog varijacija u provodljivosti. Kada je provodljivost velika, pH vrijednost nema velik utjecaj [13].

Prije ispuštanja pročišćene vode u recipijent, lužnatim otpadnim vodama treba se smanjiti pH vrijednosti, odnosno, povećati za kisele otpadne vode.

3.3.4. Vrsta, geometrija i dizajn elektroda

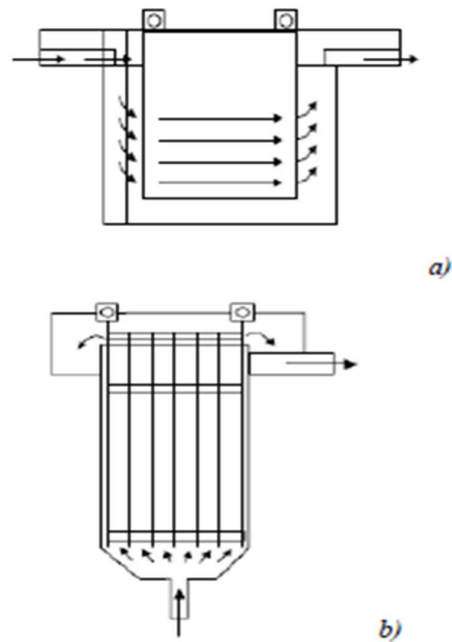
Najčešći materijali korišteni za izradu elektroda su aluminij ili željezo u obliku ploča, ili kao kompaktni otpadni materijal koji se postavlja na nosače elektroda. Potrebno je voditi računa da ne dolazi do taloženja mulja između komada koji čine elektrodu, zato je ispiranje elektroda neophodno [13].

Na učinak elektrokoagulacijskog procesa utječe i raspored elektroda i međusobna udaljenost elektroda. Raspored elektroda može bit jednostavan, kada je sastavljen od jedne anode i katode, ili kompleksan, kada je sastavljen od više anoda i katoda unutar jednog elektrokoagulacijskog uređaja. Kompleksni raspored može biti monopolarni (Slika 2.a) ili bipolarni (Slika 2. b) [13].



Slika 3: Raspored elektroda: a) monopolarni raspored elektroda; b) bipolarni raspored elektroda (Izvor: [13])

Uz pravokutne elektrode, koriste se i kružne te cilindrične elektrode koje mogu biti postavljene horizontalno (Slika 3. a) ili vertikalno (Slika 3. b). Iako je u praksi primjena horizontalnih elektroda rijetka, takav raspored elektroda omogućuje veću učinkovitost pri miješanju unutar reaktora elektrokoagulacijskog uređaja [13].



Slika 4: Izgled uređaja za elektrokoagulaciju: a) s horizontalnim tokom; b) s vertikalnom tokom (Izvor: [13])

4. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA UČINKOVITOSTI PROČIŠĆAVANJA ZAUJENIH VODA ELEKTROKOAGULACIJOM

4.1. Otpadna voda

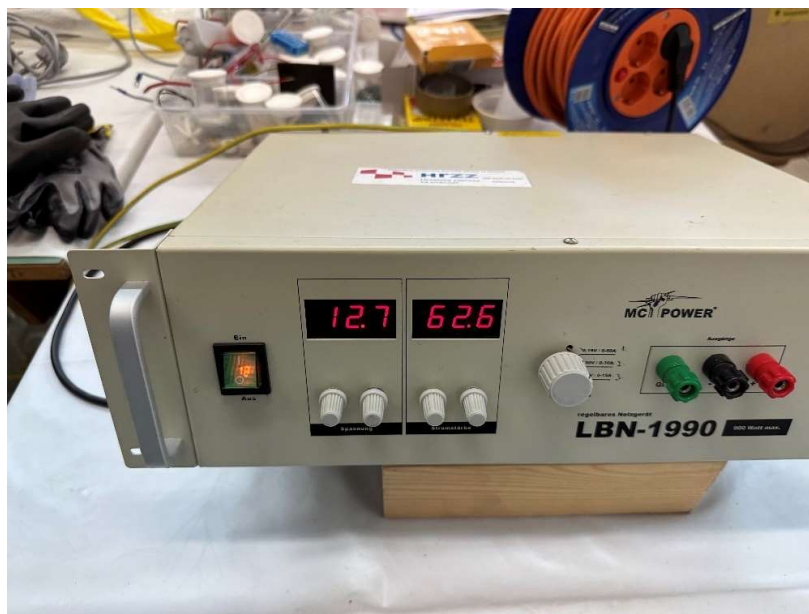
Eksperimentalni dio Završnog rada proveden je u laboratoriju Zavoda za hidrotehniku Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Tijekom procesa pročišćavanja dimnih plinova nastalih u procesu uplinjavanja mulja s uređaja za pročišćavanja otpadnih voda (UPOV), korištenjem tehnologije mokrog skrubera, generira se nova vrsta otpada koji se klasificira kao zauljena otpadna voda [14]. Takva zauljena otpadna voda bila je podvrgnuta procesu pročišćavanja.



Slika 5: Zauljena otpadna voda

4.2. Oprema i mjerni instrumenti

Korištene su elektrode od nehrđajućeg čelika (SS), željeza (Fe) i aluminija (Al). Svaki set elektroda sastojao se od 6 pravokutnih elektroda, aktivne površine 146,7 cm². Debljina aluminijske elektrode je 7 mm, željezne 3 mm. Obje strane elektrode predstavljale su aktivnu površinu. Svaka parna ploča bila je spojena kao anoda, a neparna kao katoda. Elektrode su postavljene na dno reakcijske posude i spojene na laboratorijski ispravljač marke MC Power LBN – 1990 raspona jakosti struje 0 – 60 A. Električna vodljivost (EC), pH vrijednost, otopljeni kisik (DO), ukupna otopljena tvar (TDS) i temperatura su određeni pomoću multisonde Hanna instruments HI98194. Kemijska potrošnja kiskika (KPK) određena je korištenjem termobloka i spektrofotometra NANOCOLOR 500 D, Macherev Nagel.



Slika 6: Laboratorijski ispravljač marke MC Power LBN – 1990



Slika 7: Termoblok za zagrijavanje uzoraka NANOCOLOR 500 D, Macherev Nagel

4.3. Metodologija pročišćavanja otpadne vode

Predmet istraživanja je uklanjanje onečišćenja iz zauljenih otpadnih voda primjenom elektrokoagulacije. Zauljena otpadna voda je dostavljena u plastičnim kanistrima volumena 20 litara te čuvana u kontroliranim uvjetima. Uzorci otpadne vode su prebačeni u plastičnu posudu volumena 15 litara radi provođenja eksperimenata.

Svaki pokus proveden je na uzorku od 15 litara. Provedeno je ukupno 36 pokusa. Pokusi se mogu svrstati u dvije osnovne skupine: prva skupina od 18 pokusa provedena je tako da je prvo uronjena elektroda od nehrđajućeg čelika spojena na laboratorijski ispravljčač. Slijedila je željezna elektroda, a nakon nje aluminijska. Prva je skupina podijeljena na 3 podskupine podijeljene po trajanju reakcije svake elektrode. Svaka podskupina se sastoji od 6 pokusa, gdje su početne pH vrijednosti ulaza kontrolirane. Ulazi su imali pH vrijednosti 9, 8, 7, 6, 5 i 4. Kako bi se osigurala točna pH vrijednost, dodavane su kisele ili lužnate otopine, po potrebi. Vrijeme trajanja reakcije svake elektrode prve podskupine je 20 minuta, druge 15 minuta te treće 10 minuta. Drugoj skupini je promijenjen redoslijed uranjanja elektroda.

Aluminijska elektroda bila je prva, željezna druga, a elektroda od nehrđajućeg čelika treća. Ostale podjele su iste kao kod prve skupine.



Slika 8: Pročišćavanje vode s uronjenom elektrodom od nehrđajućeg čelika



Slika 9: Pročišćavanje vode s uronjenom elektrodom od aluminija

Nakon završetka svake reakcije, uzimani su uzorci te su mjereni i zapisani različiti parametri pomoću multisonde: električna vodljivost, pH vrijednost, otopljeni kisik (DO), ukupna otopljena tvar (TDS) i temperatura. Mjerila se i razina KPK. Iz svakog uzorka se pipetom zahvati voda određenog volumena u skladu s protokolom testa koji se koristi. Koristili su se testovi gdje je potrebno uzeti 2 ml vode koja se miješala s reagensom u epruveti. Njihova reakcija je egzotermna i vrlo burna pa je potrebno pažljivo provesti miješanje. Epruvete se stavljaju u termoblok gdje se griju na temperaturi od 160 °C na 30 minuta. Nakon završetka grijanja, epruvete se hlade na sobnoj temperaturi 20 minuta. Na kraju, epruvete se stavljaju u spektrofotometar koji očitava razinu KPK.

4.4. Rezultati

Tablica 3: Rezultati P1

P1	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		20	20	20
pH	9			
I/A		61,2	33,4	11,2
U/V		7,4	15,3	15,4
DO/mg ^L ⁻¹	0,14	0,14	0,15	0,16
EC/μScm ⁻¹	4516	4457	4035	3907
TDS/mg ^L ⁻¹	2274	2267	2035	1946
T/°C	25,02	29,82	35,46	39,22
KPK/mg ^L ⁻¹	495	419	293	273

Tablica 4: Rezultati P2

P2	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		20	20	20
pH	8			
I/A		61,8	48,2	43,1
U/V		7,5	14,4	13,4
DO/mg ^L ⁻¹	0,12	0,13	0,15	0,16
EC/μScm ⁻¹	4318	4144	3573	3108
TDS/mg ^L ⁻¹	2163	2125	1799	1595
T/°C	24,08	28,52	36,07	42,23
KPK/mg ^L ⁻¹	519	468	241	229

Tablica 5: Rezultati P3

P3	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		20	20	20
pH	7			
I/A		59,6	29,6	28,3
U/V		5,9	15,3	15,4
DO/mg ^L ⁻¹	0,13	0,15	0,16	0,18
EC/ μ Scm ⁻¹	6820	6810	6254	5571
TDS/mg ^L ⁻¹	3413	3409	3170	2844
T/°C	25,19	28,96	34,75	40,83
KPK/mg ^L ⁻¹	596	527	478	469

Tablica 6: Rezultati P4

P4	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		20	20	20
pH	6			
I/A		60	44,6	26,1
U/V		5,5	14,6	15,4
DO/mg ^L ⁻¹	0,59	0,64	0,6	0,68
EC/ μ Scm ⁻¹	7860	7915	7537	6879
TDS/mg ^L ⁻¹	3927	3955	3769	3441
T/°C	25,55	28,74	37,81	42,22
KPK/mg ^L ⁻¹	631	589	369	371

Tablica 7: Rezultati P5

P5	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		20	20	20
pH	5			
I/A		62,8	41,2	42,3
U/V		7,7	15,2	15,2
DO/mg ^L ⁻¹	0,76	0,82	0,7	1,31
EC/ μ Scm ⁻¹	5274	4074	4501	3697
TDS/mg ^L ⁻¹	2648	2040	2263	1913
T/°C	12,6	19,31	28,44	36,94
KPK/mg ^L ⁻¹	210	169	204	220

Tablica 8: Rezultati P6

P6	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		20	20	20
pH	4			
I/A		62,8	45,6	37,1
U/V		8	15,2	15,2
DO/mgL ⁻¹	6,9	8,71	1,88	1,19
EC/μScm ⁻¹	3354	3234	3087	2549
TDS/mgL ⁻¹	1681	1625	1514	1399
T/°C	19,39	25,65	36,32	44,46
KPK/mgL ⁻¹	222	183	149	147

Tablica 9: Rezultati P7

P7	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		15	15	15
pH	9			
I/A		60,5	23,3	12,9
U/V		7,2	14,2	14,2
DO/mgL ⁻¹	0,58	0,61	0,58	0,58
EC/μScm ⁻¹	4735	4720	4537	4492
TDS/mgL ⁻¹	2395	2371	2283	2259
T/°C	25,47	28,84	31,26	33,44
KPK/mgL ⁻¹	481	424	394	369

Tablica 10: Rezultati P8

P8	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		15	15	15
pH	8			
I/A		60,6	28,7	24,3
U/V		7,7	13,9	15,3
DO/mgL ⁻¹	0,11	0,13	0,14	0,15
EC/μScm ⁻¹	4154	4010	3833	3567
TDS/mgL ⁻¹	2166	2037	1908	1794
T/°C	24,86	28,06	32,28	35,81
KPK/mgL ⁻¹	532	488	312	299

Tablica 11: Rezultati P9

P9	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		15	15	15
pH	7			
I/A		60,4	25,8	15,4
U/V		6,2	15,4	15,5
DO/mgL ⁻¹	0,27	0,28	0,28	0,3
EC/μScm ⁻¹	6523	6422	6169	5839
TDS/mgL ⁻¹	3263	3230	3092	2956
T/°C	25,46	28,33	32,01	34,49
KPK/mgL ⁻¹	623	568	499	506

Tablica 12: Rezultati P10

P10	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		15	15	15
pH	6			
I/A		61,1	51,3	23,2
U/V		5,3	15,3	15,6
DO/mgL ⁻¹	4,65	5,35	1,45	1,01
EC/μScm ⁻¹	10620	9424	9681	10540
TDS/mgL ⁻¹	5303	4712	4846	5264
T/°C	25,02	27,24	36,24	40,55
KPK/mgL ⁻¹	991	859	720	702

Tablica 13: Rezultati P11

P11	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		15	15	15
pH	5			
I/A		62,8	38,3	28,2
U/V		8,8	15	15,3
DO/mgL ⁻¹	0,51	0,6	0,89	1,12
EC/μScm ⁻¹	3294	3440	3372	2409
TDS/mgL ⁻¹	1649	1722	1695	1198
T/°C	13,79	21,34	29,1	35,95
KPK/mgL ⁻¹	257	213	186	178

Tablica 14: Rezultati P12

P12	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		15	15	15
pH	4			
I/A		63	44,2	37,5
U/V		7,7	15,2	15,2
DO/mgL ⁻¹	4,97	9,41	5,34	1,34
EC/μScm ⁻¹	3816	3841	3900	3406
TDS/mgL ⁻¹	1910	1923	1943	1602
T/°C	19,78	24,3	31,33	38,89
KPK/mgL ⁻¹	233	195	188	178

Tablica 15: Rezultati P13

P13	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		10	10	10
pH	9			
I/A		61,3	16,1	10,9
U/V		7	15,5	15,4
DO/mgL ⁻¹	0,16	0,17	0,19	0,2
EC/μScm ⁻¹	4501	4357	4392	4316
TDS/mgL ⁻¹	2257	2110	2187	2156
T/°C	24,89	27,55	28,95	29,95
KPK/mgL ⁻¹	462	431	405	378

Tablica 16: Rezultati P14

P14	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		10	10	10
pH	8			
I/A		61,5	29,6	16,4
U/V		7,5	13,8	14,1
DO/mgL ⁻¹	0,06	0,06	0,07	0,07
EC/μScm ⁻¹	4278	4127	4026	3870
TDS/mgL ⁻¹	2141	2085	2039	1923
T/°C	25,09	27,68	30,27	31,41
KPK/mgL ⁻¹	508	456	369	327

Tablica 17: Rezultati P15

P15	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		10	10	10
pH	7			
I/A		62,7	27,2	16,4
U/V		7,5	15,4	14,2
DO/mgL ⁻¹	0,39	0,43	0,42	0,44
EC/μScm ⁻¹	4634	4619	4482	4392
TDS/mgL ⁻¹	2320	2247	2247	2197
T/°C	25,39	27,85	30,97	32,44
KPK/mgL ⁻¹	486	442	352	332

Tablica 18: Rezultati P16

P16	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		10	10	10
pH	6			
I/A		62,2	40,1	11,5
U/V		7,1	15,2	15,4
DO/mgL ⁻¹	1,34	1,35	1,26	1,36
EC/μScm ⁻¹	5111	5122	4805	4901
TDS/mgL ⁻¹	2555	2562	2398	2534
T/°C	22,88	25,15	29,03	30,94
KPK/mgL ⁻¹	565	507	445	428

Tablica 19: Rezultati P17

P17	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		10	10	10
pH	5			
I/A		62,8	39,9	36,5
U/V		8,7	15,2	15,2
DO/mgL ⁻¹	8,42	9,27	7,26	5,94
EC/μScm ⁻¹	3902	3393	3873	2791
TDS/mgL ⁻¹	1950	1697	1951	1393
T/°C	13,98	18,22	24,23	30,5
KPK/mgL ⁻¹	245	218	213	199

Tablica 20: Rezultati P18

P18	Ulaz	SS	Fe	Al
t/min		10	10	10
pH	4			
I/A		62,9	46,9	41,1
U/V		6,8	15,1	15,2
DO/mg ^L ⁻¹	4,05	4,21	2,38	2,05
EC/ μ Scm ⁻¹	5262	4692	4334	3693
TDS/mg ^L ⁻¹	2629	2345	2166	1844
T/°C	20,04	23,31	28,83	34,72
KPK/mg ^L ⁻¹	234	201	204	199

Tablica 21: Rezultati P19

P19	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		20	20	20
pH	9			
I/A		7,1	11,1	63
U/V		15,5	15,5	9,1
DO/mg ^L ⁻¹	4,56	4,87	3,82	2,24
EC/ μ Scm ⁻¹	2787	2716	2537	2500
TDS/mg ^L ⁻¹	1393	1358	1268	1247
T/°C	20,71	23,26	25,73	33,08
KPK/mg ^L ⁻¹	261	256	229	179

Tablica 22: Rezultati P20

P20	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		20	20	20
pH	8			
I/A		13,9	26,4	63
U/V		15,4	15,3	8,9
DO/mg ^L ⁻¹	3,64	3,73	3,98	6,8
EC/ μ Scm ⁻¹	26,61	2420	2103	2317
TDS/mg ^L ⁻¹	1328	1210	1053	1161
T/°C	18,91	24,33	30,62	33,91
KPK/mg ^L ⁻¹	222	201	167	131

Tablica 23: Rezultati P21

P21	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		20	20	20
pH	7			
I/A		5,7	14,1	62,8
U/V		15,5	15,4	8,9
DO/mgL ⁻¹	3,52	3,61	3,95	4,07
EC/ μ Scm ⁻¹	2886	2754	2724	2536
TDS/mgL ⁻¹	1444	1377	1365	1349
T/°C	21,02	22,97	26,51	33,21
KPK/mgL ⁻¹	222	210	181	137

Tablica 24: Rezultati P22

P22	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		20	20	20
pH	6			
I/A		6	16,6	62,9
U/V		14,6	15,4	7,9
DO/mgL ⁻¹	1,51	2,16	1,26	2,04
EC/ μ Scm ⁻¹	3122	2978	3068	2795
TDS/mgL ⁻¹	1567	1501	1536	1397
T/°C	21,35	23,21	27,84	32,44
KPK/mgL ⁻¹	241	231	204	160

Tablica 25: Rezultati P23

P23	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		20	20	20
pH	5			
I/A		6,6	19,6	63
U/V		15,5	15,4	8
DO/mgL ⁻¹	3,94	3,2	2,45	1,91
EC/ μ Scm ⁻¹	3011	2884	3170	2776
TDS/mgL ⁻¹	1506	1443	1584	1389
T/°C	20,94	22,73	27,42	33,53
KPK/mgL ⁻¹	214	234	209	150

Tablica 26: Rezultati P24

P24	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		20	20	20
pH	4			
I/A		6,9	25,5	62,9
U/V		15,5	15,4	7,5
DO/mgL ⁻¹	4,77	4,27	2,75	1,42
EC/μScm ⁻¹	4605	3087	3630	3344
TDS/mgL ⁻¹	2302	1544	1815	1680
T/°C	21,18	23,71	31,29	34,1
KPK/mgL ⁻¹	249	225	215	269

Tablica 27: Rezultati P25

P25	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		15	15	15
pH	9			
I/A		5,8	11,7	62,7
U/V		15,5	15,5	9,7
DO/mgL ⁻¹	2,81	2,66	3,07	2,32
EC/μScm ⁻¹	2755	2720	2481	2333
TDS/mgL ⁻¹	1378	1360	1244	1167
T/°C	20,8	22,47	25,02	31,72
KPK/mgL ⁻¹	217	220	185	153

Tablica 28: Rezultati P26

P26	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		15	15	15
pH	8			
I/A		10,2	24,1	62,9
U/V		15,4	15,4	9,8
DO/mgL ⁻¹	3,98	3,82	3,87	6,93
EC/μScm ⁻¹	2448	2344	2350	2209
TDS/mgL ⁻¹	1219	1169	1096	1105
T/°C	19,44	22,44	27,08	31,09
KPK/mgL ⁻¹	222	213	178	149

Tablica 29: Rezultati P27

P27	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		15	15	15
pH	7			
I/A		6,4	17,6	62,9
U/V		15,5	15,4	8,3
DO/mgL ⁻¹	4,3	3,46	3,18	4,37
EC/μScm ⁻¹	2970	3030	2865	2830
TDS/mgL ⁻¹	1486	1514	1434	1415
T/°C	21,66	23,25	26,01	31,2
KPK/mgL ⁻¹	218	206	190	147

Tablica 30: Rezultati P28

P28	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		15	15	15
pH	6			
I/A		5,9	18,2	63
U/V		15,5	15,4	8,5
DO/mgL ⁻¹	2,49	2,8	2,85	3,62
EC/μScm ⁻¹	2872	2931	2943	2946
TDS/mgL ⁻¹	1430	1499	1474	1431
T/°C	20,7	22,23	26,12	31,35
KPK/mgL ⁻¹	216	209	184	145

Tablica 31: Rezultati P29

P29	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		15	15	15
pH	5			
I/A		9,9	23,4	63
U/V		15,5	15,3	7,8
DO/mgL ⁻¹	3,6	3,3	2,04	2,56
EC/μScm ⁻¹	3267	3075	3536	3304
TDS/mgL ⁻¹	1634	1538	1750	1651
T/°C	21,31	23,45	28,74	32,52
KPK/mgL ⁻¹	247	245	229	179

Tablica 32: Rezultati P30

P30	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		15	15	15
pH	4			
I/A		11,9	27,9	63
U/V		15,5	15,3	7,4
DO/mgL ⁻¹	2,84	2,54	2,21	2,88
EC/μScm ⁻¹	4631	3963	2693	3610
TDS/mgL ⁻¹	2314	1846	1981	1809
T/°C	21,3	24,03	29,93	32,8
KPK/mgL ⁻¹	243	234	218	179

Tablica 33: Rezultati P31

P31	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		10	10	10
pH	9			
I/A		5,1	12,1	63
U/V		15,4	15,5	9,2
DO/mgL ⁻¹	2,11	2,26	2,59	3,96
EC/μScm ⁻¹	2759	2690	2561	2462
TDS/mgL ⁻¹	1378	1346	1283	1232
T/°C	20,95	21,95	23,79	28,44
KPK/mgL ⁻¹	224	208	197	169

Tablica 34: Rezultati P32

P32	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		10	10	10
pH	8			
I/A		7,9	10,3	62,8
U/V		15,2	15,2	9,4
DO/mgL ⁻¹	2,71	2,94	3,23	2,55
EC/μScm ⁻¹	2613	2586	2539	2712
TDS/mgL ⁻¹	1379	1296	1268	1360
T/°C	20,72	21,74	23,42	28,23
KPK/mgL ⁻¹	250	249	229	190

Tablica 35: Rezultati P33

P33	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		10	10	10
pH	7			
I/A		6,1	16,1	63,1
U/V		15,3	15,4	9,3
DO/mgL ⁻¹	5,03	4,04	3,5	4,01
EC/μScm ⁻¹	2814	2961	3007	2887
TDS/mgL ⁻¹	1405	1483	1503	1444
T/°C	21,35	22,38	24,67	28,2
KPK/mgL ⁻¹	229	215	204	178

Tablica 36: Rezultati P34

P34	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		10	10	10
pH	6			
I/A		5,5	18,4	62,9
U/V		15,4	15,4	8,5
DO/mgL ⁻¹	3,86	3,8	2,64	4,14
EC/μScm ⁻¹	2939	3079	3135	2935
TDS/mgL ⁻¹	1469	1432	1580	1468
T/°C	20,91	21,75	24,71	27,75
KPK/mgL ⁻¹	225	214	207	169

Tablica 37: Rezultati P35

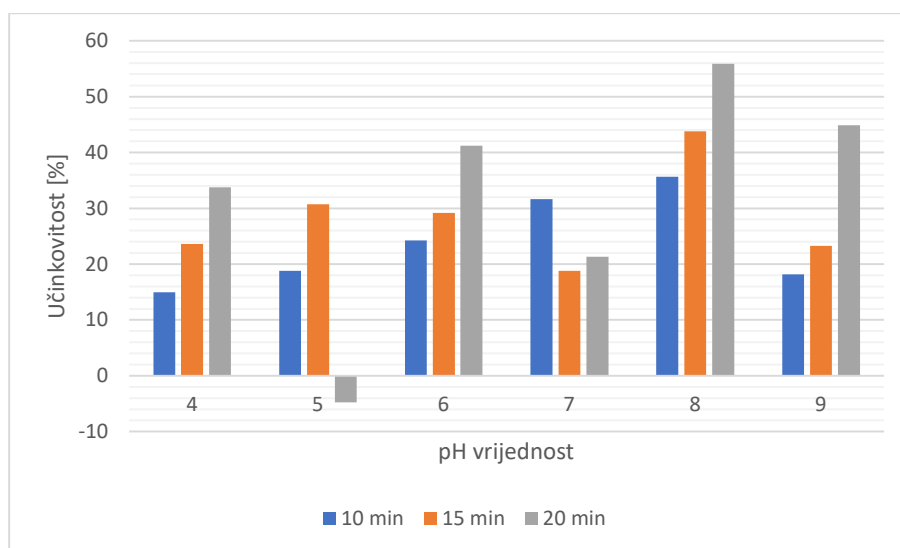
P35	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		10	10	10
pH	5			
I/A		8,9	23,2	62,8
U/V		15,5	15,3	8,4
DO/mgL ⁻¹	3,26	3,11	2,26	2,75
EC/μScm ⁻¹	3136	3184	3491	3154
TDS/mgL ⁻¹	1568	1583	1687	1578
T/°C	21,27	22,78	26,13	29,72
KPK/mgL ⁻¹	234	225	233	194

Tablica 38: Rezultati P36

P36	Ulaz	Al	Fe	SS
t/min		10	10	10
pH	4			
I/A		10,1	32,5	63
U/V		15,4	15,3	7,6
DO/mgL ⁻¹	3,53	3,81	3,06	3,53
EC/ μ Scm ⁻¹	3863	3461	3778	3539
TDS/mgL ⁻¹	1931	1728	1873	1759
T/°C	21,51	23,02	27,95	31,11
KPK/mgL ⁻¹	249	231	224	195

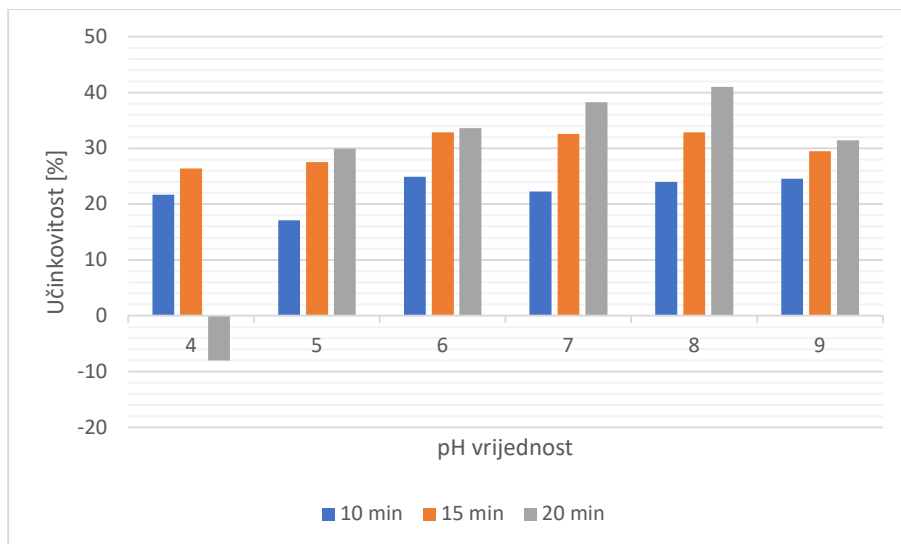
4.4.1. Kemijska potrošnja kisika (KPK)

Promatran je utjecaj vremena trajanja reakcije na učinkovitost uklanjanja KPK. Produljenjem trajanja procesa dolazi do učinkovitosti procesa. Većina pokusa je to i potvrdila i najveće učinkovitosti su postignute pri trajanju reakcije na sve tri elektrode u iznosu 20 min. Također, u obje skupine pokusa, najveća učinkovitost postignuta je pri pH vrijednosti 8. U dva su pokusa izlazne vrijednosti KPK bile veće od ulaznih vrijednosti. Razlog tomu možemo naći u mogućoj grešci u korištenju spektrofotometra kao npr. korištenje krivog testa.

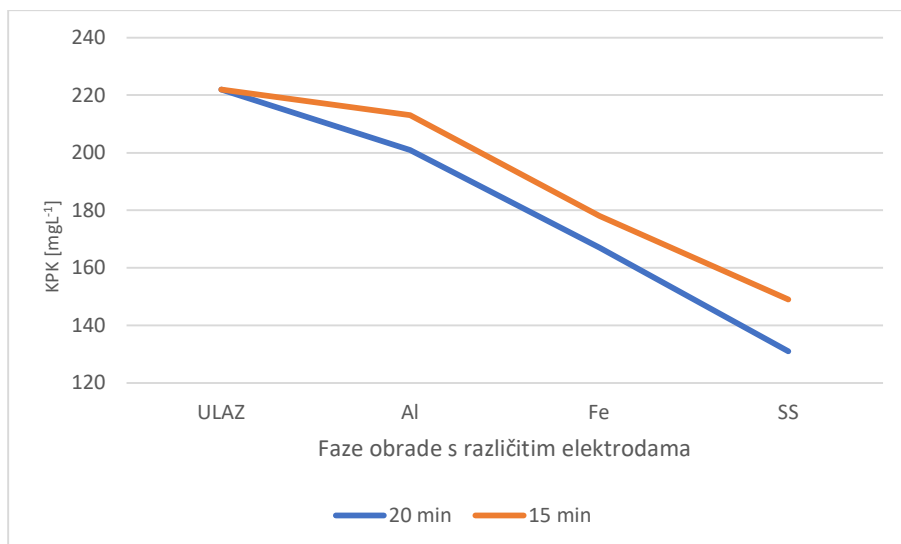


Slika 10: Učinkovitost uklanjanja KPK za redoslijed elektroda: SS, Fe i Al, u ovisnosti s početnom pH vrijednosti i trajanju reakcije elektrode

Druga skupina pokusa je bila vjerodostojnija teoretskoj pretpostavci. Osim u pokusu gdje je početna pH vrijednost 4 i gdje je učinkovitost bila negativna, ostali pokusi su jasno pokazali trend da učinkovitost raste s trajanjem reakcije na svakoj elektrodi.



Slika 11: Učinkovitost uklanjanja KPK za redosljed elektroda: AL, Fe i SS, u ovisnosti s početnom pH vrijednosti i trajanju reakcije elektrode



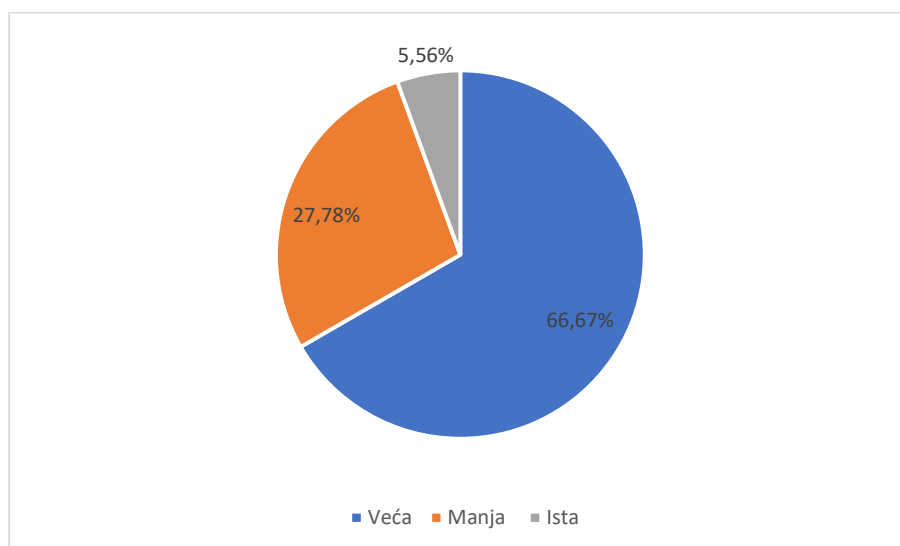
Slika 12: Učinkovitost uklanjanja KPK za pokuse s početnom koncentracijom KPK u iznosu od oko 220 mg/L, iste početne pH vrijednosti 8 i različitih vremena reakcije elektroda

Na slici 12. jasno se vidi da povećanjem trajanja reakcije na svakoj elektrodi, učinkovitost pročišćavanja KPK.

4.4.2. Otopljeni kisik

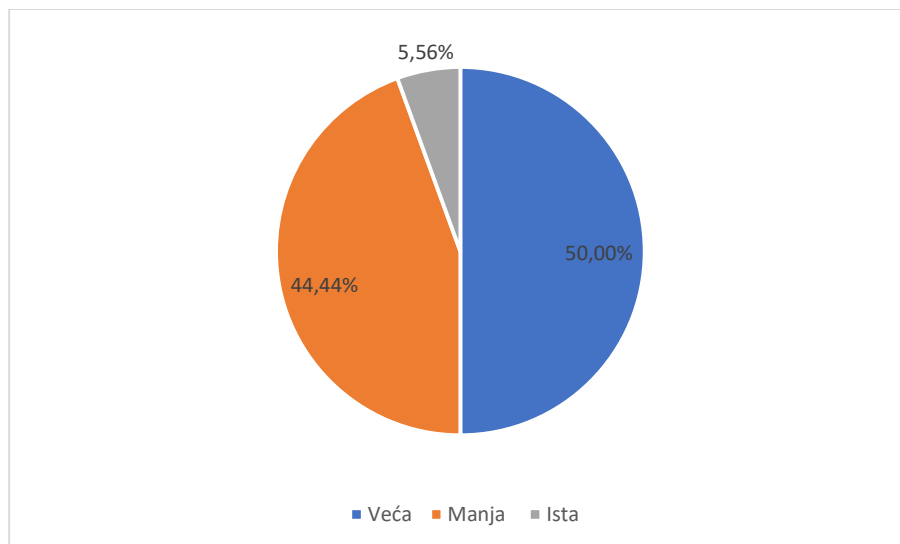
Ulazna koncentracija otopljenog kisika ,za skupinu pokusa gdje je redosljed elektroda bio: SS, Fe te Al, kretala se u rasponu od 0,06 – 8,42 mg/L, a izlazna u rasponu od 0,07 – 5,94 mg/L. Razlog velike varijacije kod koncentracija otopljenog kisika je činjenica da se voda morala više puta dovesti u laboratorij zbog velikog broja pokusa.

Teoretski, koncentracija otopljenog kisika trebala bi se povećavati pročišćavanjem. Eksperimentalno, u 12 pokusa izlazna koncentracija kisika bila je veća nego ulazna, u 5 pokusa izlazna koncentracija bila je manja od ulazne, a u 1 pokusu izlazna i ulazna koncentracija su iste.



Slika 13: Raspodjela pokusa po promjeni koncentraciji otopljenog kisika nakon pročišćavanja s redosljedom elektroda: SS, Fe i Al

Ulazna koncentracija otopljenog kisika ,za skupinu pokusa gdje je redosljed elektroda bio: Al, Fe te SS, kretala se u rasponu od 1,51 – 5,03 mg/L, a izlazna u rasponu od 1,42 – 6,93 mg/L.



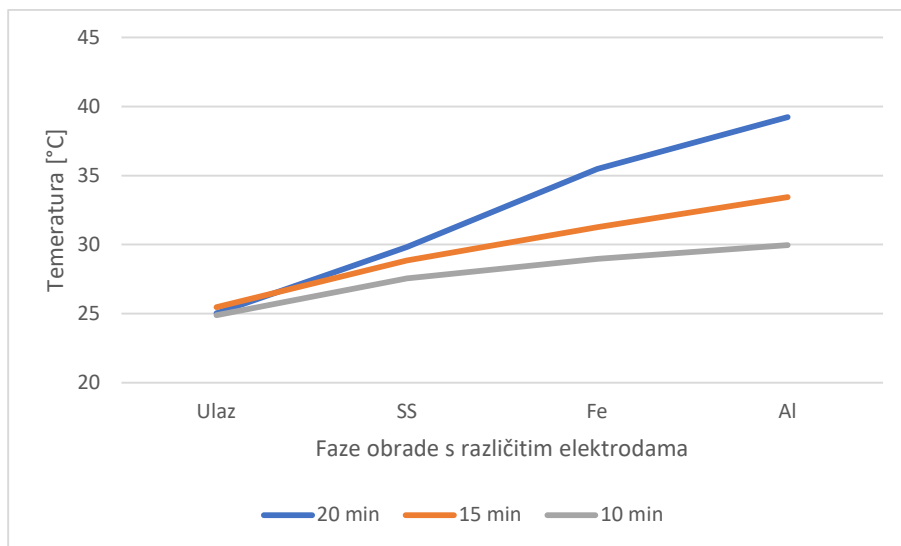
Slika 14: Raspodjela pokusa po promjeni koncentraciji otopljenog kisika nakon pročišćavanja s redosljedom elektroda: Al, Fe i SS

Pokusi prve skupine su se pokazali vjerodostojnijima teoretskom znanju.

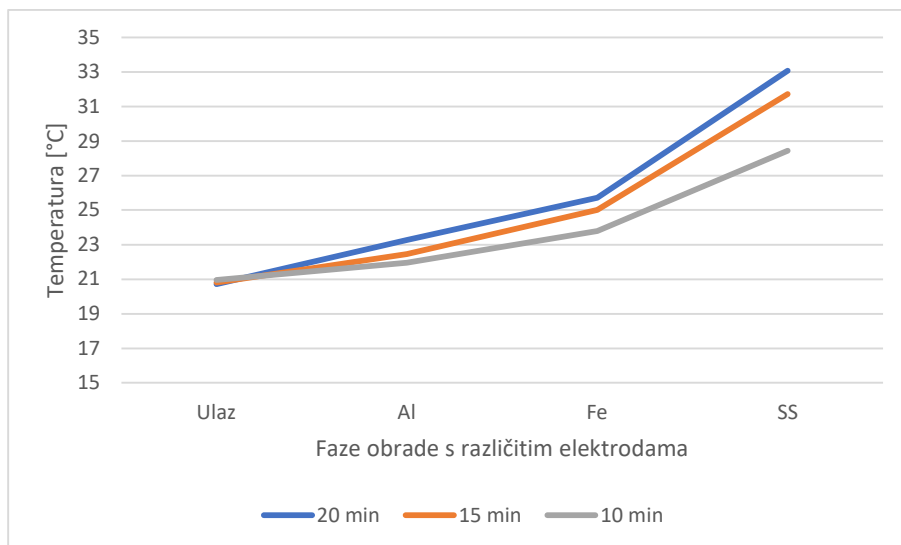
4.4.3. Temperatura

Uzorci otpadne vode čuvani su u laboratoriju na sobnoj temperaturi pa ulazne vrijednosti temperature uzoraka ovise o temperaturi zraka prostorije. Svi uzorci su imali ulaznu temperaturu u rasponu od oko 20 – 25 °C, osim pokusa 5 i 17 koji su imali nešto nižu temperaturu ulaza: 12,6°C odnosno 13,98°C.

Temperatura vode raste s vremenom trajanja pročišćavanja. Najveća temperatura izmjerena je u pokusu 6, pri trajanju reakcija svake elektrode od 20 min i početnoj pH vrijednosti od 4. Temperature dobivene na kraju prve skupine, redosljeda elektroda SS, Fe i Al, dosta su veće od temperatura dobivenih na kraju pokusa druge skupine, redosljeda elektroda Al, Fe i SS. Najveća temperatura pokusa druge skupine zabilježena je u pokusu 24, gdje je trajanje reakcije svake elektrode 20 min i početna pH vrijednost je 4. Temperatura je iznosila 34,1 °C. Oba maksimuma izmjerena su u najkiselijim vodama. Kod pokusa prve skupine, izraženija je razlika izlaznih temperatura nakon različitih trajanja pokusa.



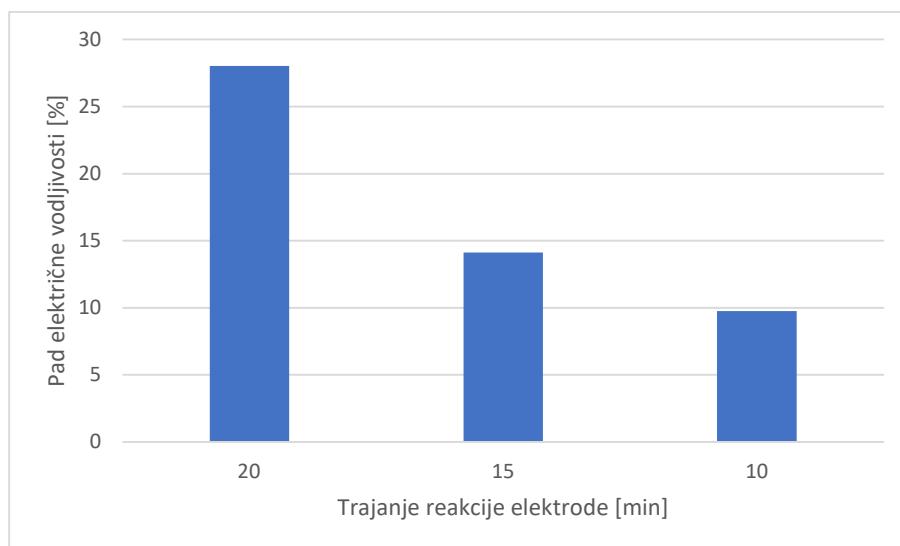
Slika 15: Prikaz rasta temperature za pokuse početne pH vrijednosti od 9, različitih vremena trajanja pročišćavanja



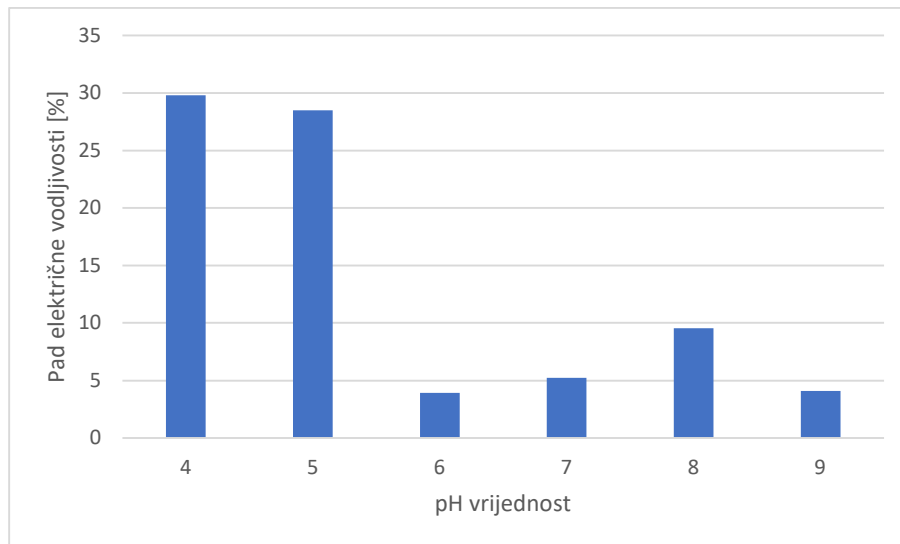
Slika 16: Prikaz rasta temperature za pokuse početne pH vrijednosti od 9, različitih vremena trajanja pročišćavanja

4.4.4. Električna vodljivost i ukupna otopljena tvar (TDS)

Kako bi se uspješno proveo proces pročišćavanja otpadne vode elektrokoagulacijom, potrebna je dobra električna vodljivost vode. Svih 36 pokusa je imalo zadovoljavajuću električnu vodljivost i nije trebalo dodavati sol. Električna vodljivost smanjuje se dužim trajanjem pročišćavanja. Najveći pad električne vodljivosti izmjereno je u pokusu 5, gdje je pad iznosio 29,8%. U 4 pokusa izlazna vrijednost bila je veća od ulazne.

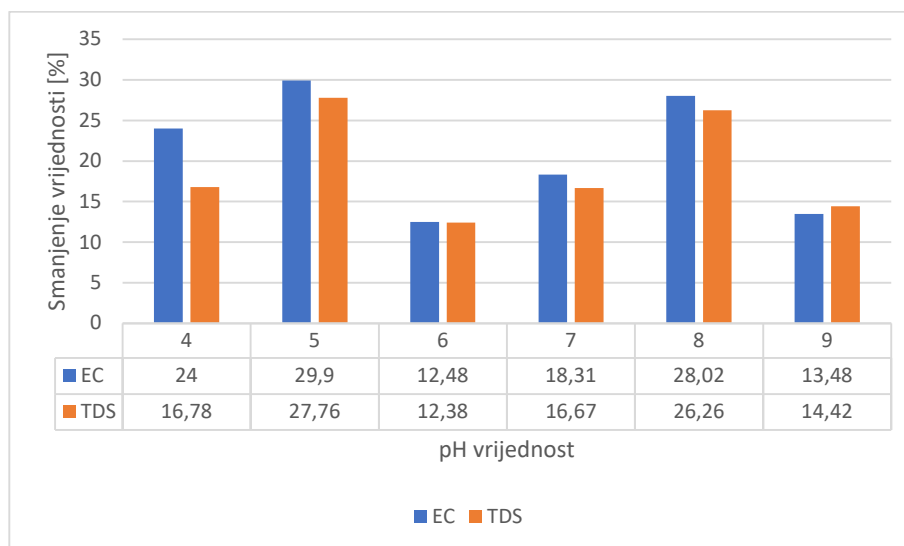


Slika 17: Postotni pad električne vodljivosti vode u pokusima s istom početnom vrijednosti pH od 8 i s redoslijedom elektroda: SS, Fe i Al

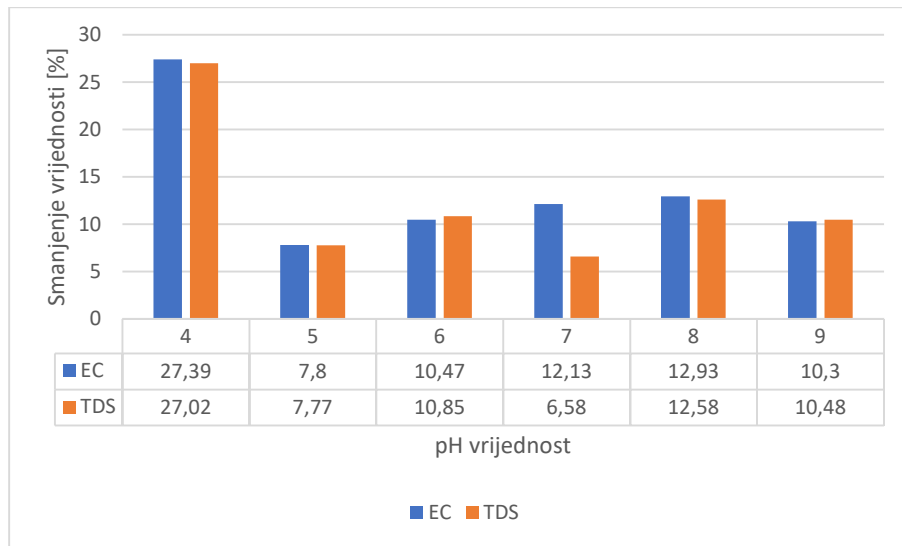


Slika 18: Postotni pad električne vodljivosti pokusa trajanja reakcije elektroda od 10 minuta i redoslijedom elektroda: SS, Fe i Al

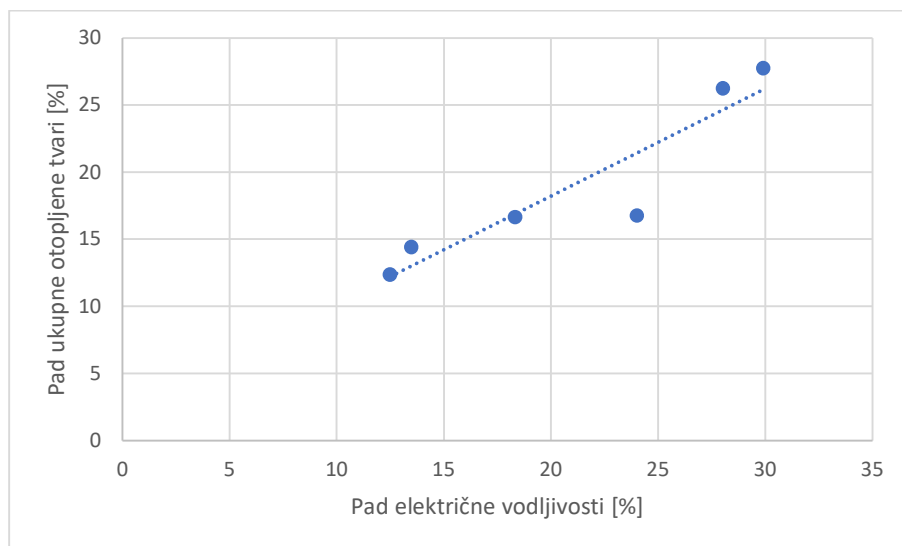
Na slici 18. može se vidjeti da se dogodio veliki skok u padu električne vodljivosti pri početnim pH vrijednostima od 4 i 5 u odnosu na vrijednosti 6, 7, 8 i 9. Potrebno je obaviti veći broj pokusa kako bi se dodatno utvrdilo kako pH vrijednost utječe na električnu vodljivost.



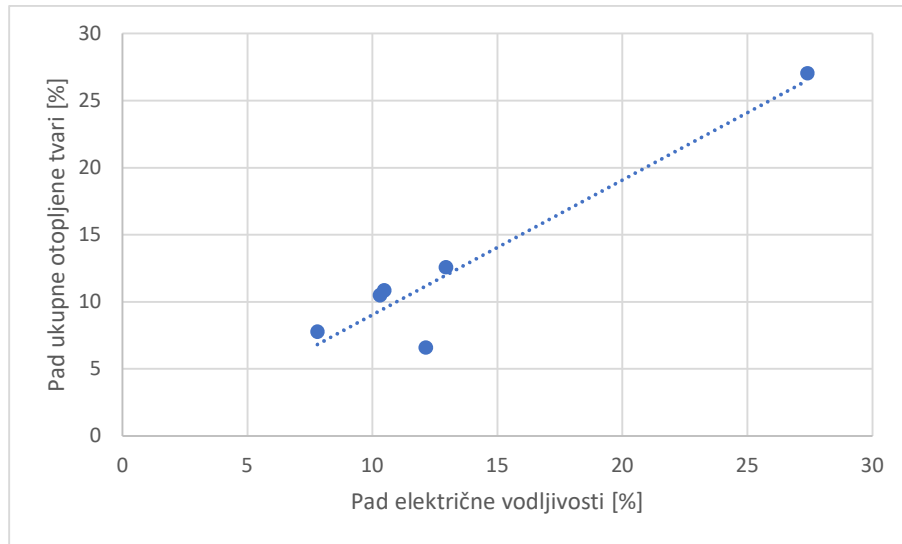
Slika 19: Postotni pad električne vodljivosti i ukupne otopljene tvari za različite početne vrijednosti pH, redoslijed elektroda: SS, Fe i Al, i vrijeme trajanja reakcije elektrode 20 min



Slika 20: Postotni pad električne vodljivosti i ukupne otopljene tvari za različite početne vrijednosti pH, redosljed elektroda: Al, Fe i SS, i vrijeme trajanja reakcije elektrode 20 min



Slika 21: Korelacija pada električne vodljivosti i pada ukupne otopljene tvari za različite početne vrijednosti pH, redosljed elektroda: SS, Fe i Al, i vrijeme trajanja reakcije elektrode 20 min



Slika 22: Korelacija pada električne vodljivosti i pada ukupne otopljene tvari za različite početne vrijednosti pH, redoslijed elektroda: AL, Fe i SS, i vrijeme trajanja reakcije elektrode 20 min

Na slikama 19. i 20. uočava se da pad električne vodljivosti i pad ukupne otopljene tvari, izraženi u postotcima, imaju skoro identične vrijednosti. To možemo prikazati i grafom gdje je pad električne vodljivosti na x-osi, a pad ukupne otopljene tvari na y-osi. Na slikama 21. i 22. jasno se iščitava težnja prema linearnoj zavisnosti između ta dva parametra iako postoje odstupanja. Kako bi se potvrdila korelacija između ta dva parametra, potrebno je provesti još pokusa.

5. ZAKLJUČAK

Voda je osnovni uvjet života svakog živog organizma. Razvojem društva i sve većim potrebama čovjeka u odnosu na vodu, te nastupanjem klimatskih promjena, pojavila se i veća potreba i dužnost za zaštitom voda.

Razvoj tehnologije proizvodnje električne struje, razvoj obnovljivih izvora energije te pad cijene električne struje, omogućili su veću primjenu elektrokemijskih procesa u pročišćavanju otpadnih voda. Elektrokoagulacija je zbog svoje složenosti područje mnogih znanstvenih istraživanja.

Cilj provedenih pokusa je bio pokazati razine učinkovitosti pročišćavanja zauljenih otpadnih voda koje se generiraju u postupku pročišćavanja dimnih plinova pomoću elektrokoagulacije. Uspoređivala se učinkovitost procesa u odnosu na trajanje reakcija elektroda te ulaznih pH vrijednosti. Utvrđene su visoke učinkovitosti pri uklanjanju KPK (oko 60%) koji je glavni pokazatelj onečišćenja vode.

U budućim istraživanjima, moguće je razmatrati dobivene rezultate u odnosu na druge parametre kako bi upotpunili dobivenu sliku učinkovitosti pročišćavanja zauljenih otpadnih voda.

POPIS LITERATURE

- [1] Zakon o vodama, članak 58, čl. 4 stavak 1. točka 58., čl. 70 (Narodne novine br. 66/2019)
- [2] Jurac, Zlatko, *Otpadne vode*, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac 2009.
- [3] Ivan Mijatović, Marin Matošić (2019) *Tehnologija vode*, interna skripta
- [4] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda
- [5] Malenica, Katarina, *Primjena elektrokoagulacije u pročišćavanju zauljenih otpadnih voda*, magistarski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2020.
- [6] Glavač, Vjekoslav, *Uvod u globalnu ekologiju*, Hrvatska sveučilišna naklada, Zagreb, 2001.
- [7] WBGU – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung, *Globale Umweltveränderungen, Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch – Umwelt – Beziehungen*, Economica Verl., Bonn 2015.
- [8] Yu, L., Han, M., He, F., *A review of treating oily wastewater*, Arabian Journal of Chemistry 10, (2) 1913 – 1922, 2013.
- [9] Coca J., Gutierrez G., Benito J., *Treatment of oily wastewater*, In: Coca – Prados J., Gutierrez – Carvello G. (eds) *Water purification and management*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, 2011.
- [10] Oreščanin V., Kollar R., Nađ K., Mikelić Lovrenčić I., Findri Guštek S. *Treatment of winery wastewater by electrochemical methods and advanced oxidation processes*, Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 48 (12), 1543-1547, 2013.
- [11] Chen, G.H. *Electrochemical technologies in wastewater treatment*, Sep. Purif. Technol., 38, 11–41, 2004.
- [12] Nađ, K., *Razvoj sustava za pripremu pitke vode primjenom elektrokemijskih metoda i naprednih oksidacijskih procesa*, doktorska disertacija, Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2015.
- [13] Antonela Musa, Mateo Pandžić, Ante Vekić (2019) *Pročišćavanje žutih otpadnih voda (urina) naprednim elektrokemijskim procesima*, Rektorova nagrada, Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet

[14] Vouk, Dražen; Majić, Mislav; Drušković, Morana; Šiljeg, Mario; Posavčić, Hana
Učinkovitost hibridnog elektrokemijskog postupka u uklanjanju KPK iz otpadnih voda koje
nastaju pročišćavanjem dimnih plinova // Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji.
Ičići: Revelin, 2023. str. 151-161

POPIS SLIKA

Slika 1: Peć Mlini, Drinovci, Bosna i Hercegovina.....	1
Slika 2: Shema bipolarne ćelije s procesima izravne i neizravne anodne oksidacije na aluminijskoj elektrodi (Izvor: [12])	6
Slika 3: Raspored elektroda: a) monopolarni raspored elektroda; b) bipolarni raspored elektroda (Izvor: [13]).....	8
Slika 4: Izgled uređaja za elektrokoagulaciju: a) s horizontalnim tokom; b) s vertikalnom tokom (Izvor: [13]).....	9
Slika 5: Zauljena otpadna voda.....	10
Slika 6: Laboratorijski ispravljač marke MC Power LBN – 1990.....	11
Slika 7: Termoblok za zagrijavanje uzoraka NANOCOLOR 500 D, Macherev Nagel	12
Slika 8: Pročišćavanje vode s uronjenom elektrodom od nehrđajućeg čelika	13
Slika 9: Pročišćavanje vode s uronjenom elektrodom od aluminijska.....	13
Slika 10: Učinkovitost uklanjanja KPK za redosljed elektroda: SS, Fe i Al, u ovisnosti s početnom pH vrijednosti i trajanju reakcije elektrode.....	26
Slika 11: Učinkovitost uklanjanja KPK za redosljed elektroda: Al, Fe i SS, u ovisnosti s početnom pH vrijednosti i trajanju reakcije elektrode.....	27
Slika 12: Učinkovitost uklanjanja KPK za pokuse s početnom koncentracijom KPK u iznosu od oko 220 mg/L, iste početne pH vrijednosti 8 i različitih vremena reakcije elektroda	27
Slika 13: Raspodjela pokusa po promjeni koncentraciji otopljenog kisika nakon pročišćavanja s redosljedom elektroda: SS, Fe i Al.....	28
Slika 14: Raspodjela pokusa po promjeni koncentraciji otopljenog kisika nakon pročišćavanja s redosljedom elektroda: Al, Fe i SS.....	29
Slika 15: Prikaz rasta temperature za pokuse početne pH vrijednosti od 9, različitih vremena trajanja pročišćavanja	30
Slika 16: Prikaz rasta temperature za pokuse početne pH vrijednosti od 9, različitih vremena trajanja pročišćavanja	30
Slika 17: Postotni pad električne vodljivosti vode u pokusima s istom početnom vrijednosti pH od 8 i s redosljedom elektroda: SS, Fe i Al.....	31
Slika 18: Postotni pad električne vodljivosti pokusa trajanja reakcije elektroda od 10 minuta i redosljedom elektroda: SS, Fe i Al.....	32
Slika 19: Postotni pad električne vodljivosti i ukupne otopljene tvari za različite početne vrijednosti pH, redosljed elektroda: SS, Fe i Al, i vrijeme trajanja reakcije elektrode 20 min	32

Slika 20: Postotni pad električne vodljivosti i ukupne otopljene tvari za različite početne vrijednosti pH, redoslijed elektroda: Al, Fe i SS, i vrijeme trajanja reakcije elektrode 20 min	33
Slika 21: Korelacija pada električne vodljivosti i pada ukupne otopljene tvari za različite početne vrijednosti pH, redoslijed elektroda: SS, Fe i Al, i vrijeme trajanja reakcije elektrode 20 min	33
Slika 22: Korelacija pada električne vodljivosti i pada ukupne otopljene tvari za različite početne vrijednosti pH, redoslijed elektroda: AL, Fe i SS, i vrijeme trajanja reakcije elektrode 20 min	34

POPIS TABLICA

Tablica 1: Primjena različitih kemijskih koagulanata za izdvajanje ulja (Izvor: [8]).....	4
Tablica 2: Pročišćavanje zauljenih otpadnih voda flotacijom (Izvor: [8]).....	4
Tablica 3: Rezultati P1.....	14
Tablica 4: Rezultati P2.....	14
Tablica 5: Rezultati P3.....	15
Tablica 6: Rezultati P4.....	15
Tablica 7: Rezultati P5.....	15
Tablica 8: Rezultati P6.....	16
Tablica 9: Rezultati P7.....	16
Tablica 10: Rezultati P8.....	16
Tablica 11: Rezultati P9.....	17
Tablica 12: Rezultati P10.....	17
Tablica 13: Rezultati P11.....	17
Tablica 14: Rezultati P12.....	18
Tablica 15: Rezultati P13.....	18
Tablica 16: Rezultati P14.....	18
Tablica 17: Rezultati P15.....	19
Tablica 18: Rezultati P16.....	19
Tablica 19: Rezultati P17.....	19
Tablica 20: Rezultati P18.....	20
Tablica 21: Rezultati P19.....	20
Tablica 22: Rezultati P20.....	20
Tablica 23: Rezultati P21.....	21
Tablica 24: Rezultati P22.....	21
Tablica 25: Rezultati P23.....	21
Tablica 26: Rezultati P24.....	22
Tablica 27: Rezultati P25.....	22
Tablica 28: Rezultati P26.....	22
Tablica 29: Rezultati P27.....	23
Tablica 30: Rezultati P28.....	23
Tablica 31: Rezultati P29.....	23
Tablica 32: Rezultati P30.....	24
Tablica 33: Rezultati P31.....	24
Tablica 34: Rezultati P32.....	24

Tablica 35: Rezultati P33.....	25
Tablica 36: Rezultati P34.....	25
Tablica 37: Rezultati P35.....	25
Tablica 38: Rezultati P36.....	26