

# Elektroķīmisko procesu izmantošana ūdens sagatavošanā

Madars Reimanis, Riga Technical University, Juris Malers, Riga Technical University,  
Jurijs Ozolins, Riga Technical University

**Kopsavilkums:** Daudzos tehnoloģiskajos procesos ūdens kvalitāte ir atkarīga no dzelzs jonu koncentrācijas un cietības. Darbā tika pētīta elektrolīzes un elektrodialīzes procesa ietekmi uz dzelzs un kalcija jonu koncentrācijas izmaiņām un mikroorganismu attīstību ūdenī. Eksperiments tika veikts laboratorijas apstākļos, izmantojot dzelzs un kalcija jonu saturošus modeļšķīdumus. Lai raksturotu ūdens apstrādes ietekmi uz mikroorganismu vairošanās intensitātes izmaiņām, izmantoja baktērijas *Pseudomonas fluorescens*.

Darbā tika noskaidrots, ka šķīduma elektrolīze ar tai sekojošu filtrēšanu caur kvarca smilšu slānim kopējo dzelzs jonu koncentrāciju samazina no 40 līdz 50 reizēm. Pieaugot kopējai dzelzs jonu koncentrācijai izejas šķīdumos, elektrolīzes procesā patērētais īpatnējais darbs pēc strāvas samazinās. Palielinot elektrolīzes šūnai pielikto strāvas stiprumu, kopējā dzelzs jonu koncentrācija elektrolizētajā šķīdumā samazinās, bet procesa veikšanai nepieciešamais īpatnējais darbs pieaug.

Veicot  $\text{CaCO}_3$  un  $\text{FeSO}_4$  saturošu šķīdumu elektrodialīzi cirkulācijas režīmā, ir novērojama gan kalcija, gan kopējās dzelzs jonu koncentrācijas samazināšanās, pieaugot procesa laikam. Straujākas koncentrācijas izmaiņas novērojamas procesa sākumā.

Realizējot šķīduma, kas satur vismaz 1 mmol/L hlorka jonu, atdzelžošanu ar elektrolīzes palīdzību, tiek ievērojami uzlabots tā mikrobioloģiskais stāvoklis. Elektrolizētajā ūdenī piecu dienu laikā nav novērojama baktērijas *Pseudomonas fluorescens* koloniju veidojošo vienību attīstība. Veicot ūdens elektrodialīzi, iespējams efektīvi atsāļot šķīdumu. Atsāļotajā ūdenī ievērojami samazinās (līdz pat 1500 reizēm) baktērijas *Pseudomonas fluorescens* koloniju veidojošo vienību attīstības intensitāte.

**Atslēgas vārdi:** demineralizācija, kalcija un dzelzs joni, *Pseudomonas fluorescens*

## I. IEVADS

Ūdens kvalitātei ir būtiska nozīme izmantojot to dažādos tehnoloģiskajos procesos. Augsta mineralizācija, cietība un dzelzs jonu saturs, kas raksturīgs arī Latvijas ūdeņiem [1], var veicināt izsēdumu veidošanos uz cauruļvadu un iekārtu sienām [2]. Tas nedrīkst būt korozijs, saturēt organiskas un neorganiskas vielas, kuras veicina bioplēvju attīstību. Attīstoties bioplēvē mainās arī ūdens fizikālās (smarža, garša, krāsa), ķīmiskās un bioloģiskās īpašības (pieaug biomasa un palielinās mikroorganismu daudzums), bioplēves veidošanās ūdensapgādes sistēmā var veicināt daļēju cauruļvadu sistēmas aizaugšanu [3].

Ūdens sagatavošanai izmanto dažādas metodes tādas kā: filtrācija, nogulsnešana, adsorbēcija, fotokatalīze, ķīmiskā dezinfekcija u.c. Perspektīvas ir elektroķīmiskās metodes, tai skaitā elektrolīze (EL) un elektrodialīze (ED), kas var tikt kombinētas ar citām ūdens apstrādes tehnoloģijām [4, 5]. Tai

pašā laikā nepietiekami ir pētīta šo metožu izmantošana, lai samazinātu ūdens cietību, dzelzs jonu un mikroorganismu attīstībai nepieciešamo vielu saturu ūdenī. Pie tam, EL procesā var veidoties dezinficējošas vielas, kuras var samazināt mikroorganismu tālāku attīstību [6, 7, 8].

Darba mērķis bija noskaidrot elektrolīzes un elektrodialīzes procesa ietekmi uz dzelzs un kalcija jonu koncentrācijas izmaiņām un mikroorganismu attīstību ūdenī. Eksperiments tika veikts laboratorijas apstākļos izmantojot dzelzs un kalcija jonu saturošus modeļšķīdumus. Lai raksturotu ūdens apstrādes ietekmi uz mikroorganismu vairošanās intensitātes izmaiņām, izmantoja baktērijas *Pseudomonas fluorescens*.

## II. MATERIĀLI UN METODES

**Modeļšķīdumu pagatavošana.** Dzelzs modeļšķīdumu ar divvērtīgā metāla jonu koncentrāciju no 0 – 1,5 mg/L pagatavoja, izšķīdinot ūdenī  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , kas atbilst visbiežāk sastopamai dzelzs jonu koncentrācijai Latvijas ūdeņos [1].

Kalcija jonu modeļšķīdumu pagatavoja, izšķīdinot 0,596 mmol/L  $\text{CaCO}_3$  ūdenī, kurš piesātināts ar  $\text{CO}_2$  gāzi.

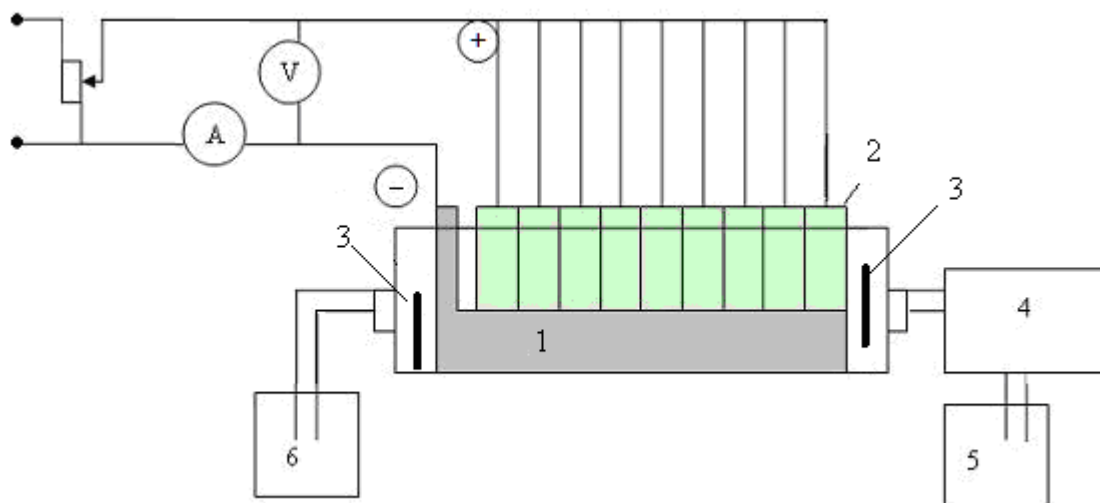
Lai novērtētu apstrādes ietekmi uz mikroorganismu vairošanās intensitāti ūdenī, tika izveidota barotne, kurā radīti labvēlīgi apstākļi mikroorganismu attīstībai [9]. Vispirms tika pagatavots koncentrēts sāļu šķīdums destilētā ūdenī ar sastāvu: 4,55 g/L  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 0,2 g/L  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , 0,1 g/L  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 0,1 g/L  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 0,1 g/L  $\text{NaCl}$ , 2,27 g/L  $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Iegūto sāļu šķīdumu atšķaidīja 1:1000 ar destilētu ūdeni un autoklavēja 45 min pie 122°C. Šķīdumu pirms izmantošanas atdzesē līdz istabas temperatūrai.

### Izmantotā baktērija un kultivēšanas apstākļi.

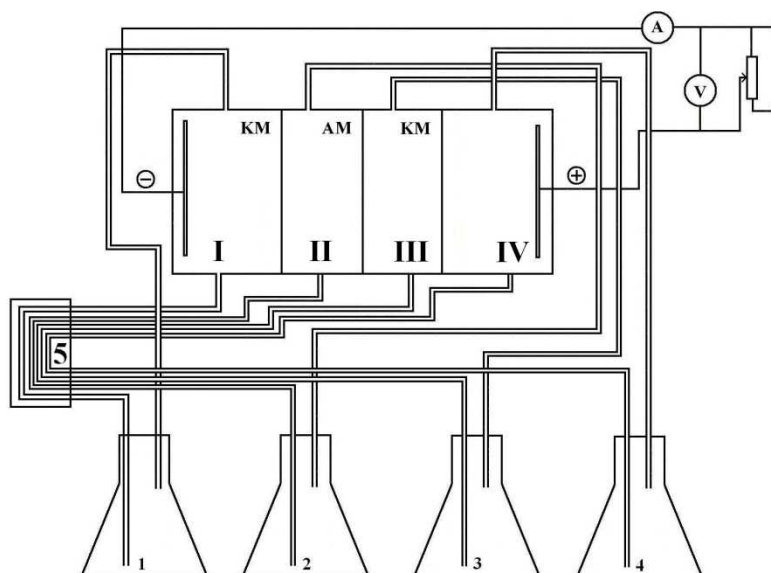
*Pseudomonas fluorescens* ir baktērija, kura ir plaši sastopama ūdens vidē un aktīvi piedalās bioplēves veidošanā. Baktērijas tika kultivētas uz R2A agara barotnes (LAB M, Lielbritānija) 2 dienas pie  $22 \pm 0,5^\circ\text{C}$ , izmantojot no Latvijas Universitātes Latvijas Mikroorganismu kultūru kolekcijas ņemto tīrkultūru.

**Baktēriju suspensijas pagatavošana.** Uz barotnes virsmas izaugušās *Pseudomonas fluorescens* baktērijas pārnesa nelielā daudzumā sterilā destilētā ūdenī un suspendēja.

**Parauga sagatavošana, lai noteiktu mikroorganismu attīstību.** Modeļšķīdumus ielej sterilos stikla trauciņos un ar mikropipeti pievienoja baktēriju suspensiju. Pēc tam paraugus pārklāj ar alumīnija foliju un inkubē  $22 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . Baktēriju skaitu šķīdumā noteica izmantojot baktēriju koloniju veidojošo vienību (KVV) skaitu.



1.att. Eksperimentālas EL iekārtas shēma dinamiskajā režīmā: 1 – nerūsējoša tērauda katods; 2 –  $\text{TiO}_{2n-1}$  saturošas keramikas anodi; 3 – starpsienas; 4 – sūkņis; 5 – trauks ar izejas šķīdumu, 6 – trauks ar EL šķīdumu



Mozilla Firefox.Ink

2.att. Eksperimentālā ED iekārtas shēma dinamiskos apstākļos cirkulācijas režīmā: 1,2,3,4 – trauki; 5 – peristaltiskie sūkņi; KM – katjonu apmaiņas membrāna; AM – anjonu apmaiņas membrāna; A – ampērmētrs; V – voltmetrs; I,II,III,IV – kameras

Mikroorganismu **KVV skaita noteikšana**. Mikroorganismu attīstības intensitātes izmaiņas noteica pēc baktēriju kolonijas veidojošo vienību skaita (KVV). KVV vienību daudzumu ūdenī noteica, izmantojot R2A barotni (LAB M, Lielbritānija) un inkubējot  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  temperatūrā 48h [10].

**Dzelzs jonu koncentrācijas noteikšana**. Veic atbilstoši spektrofotometriskajai dzelzs jonu koncentrācijas noteikšanas metodei [11].

**Kalcija jonu koncentrācijas noteikšana**. Veic atbilstoši titrimetriskajai kalcija jonu koncentrācijas noteikšanas metodei [12].

**Eksperimenta procedūra**. Ūdens EL tika veikta speciāli izveidotā elektrolīzes šūnā ūdens apstrādei dinamiskos apstākļos ar plūsmas ātrumu 0,01 m/s (skat. 1.att.).

EL šūnas tilpums  $126\text{ cm}^3$ . Šūnā ievietoti 9  $\text{TiO}_{2n-1}$  saturoši keramikas anodi ar kopējo virsmas laukumu  $112\text{ cm}^2$  un nerūsējošā tērauda katods ar virsmas laukumu  $190\text{ cm}^2$ . Par

strāvas avotu izmanto taisngriezi SGS, BCA-5A-K (0 – 65V, 0 – 12 A).

Dzelzs jonu saturošie modeļšķīdumi pēc apstrādes ar EL tika laisti caur kolonu, kas pildīta ar kvarca smiltīm (daļiņu izmērs 0,5 – 1,5 mm).

Ūdens apstrāde ar ED tika veikta speciāli izveidotā ED šūnā, kura sastāv no četrām kamerām starp kurām ievietotas katjonu apmaiņas membrānas (MK-40, OAO „Щекиноазот”) un anjonu apmaiņas membrāna (MK-41 И, OAO „Щекиноазот”). Šķīdums ar peristaltisko sūkņu palīdzību tiek padots visās kamerās no apakšas. Strāvas stiprums tiek mērīts ar virknē ieslēgtu ampērmētru, bet spriegums ar paralēli pieslēgtu voltmetru. Process tiek realizēts pie 25 V lielas strāvas sprieguma dinamiskos apstākļos (skat. 2.att.) cirkulācijas režīmā.

Analīzēm ņem paraugu no ED šūnas 3 kameras, šūnas konstrukcija nodrošina šķīduma atsāļošanu 2 un 3 kamerā un koncentrēšanu 1 un 4 kamerā.

### III. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Dzelzs divvērtīgā ( $\text{Fe}^{2+}$ ) vai trīsvērtīgā ( $\text{Fe}^{3+}$ ) metāla jonu veidā ūdenī var atrasties dažādās formās: izšķīdušā veidā, suspendētu daļiņu (koloīdu, nogulšņu un mikroorganismu izdalījumu), organisko un neorganisko savienojumu veidā [13]. Eksistē virkne paņēmieni ūdens atdzelžošanai [14], kas galvenokārt pamatojās uz  $\text{Fe}^{2+}$  oksidēšanu gaisa skābekļa vai cita oksidētāja klātbūtnē un radušos nešķīstošo  $\text{Fe}^{3+}$  savienojumu izdalīšanu no ūdens, filtrējot pēc šādas shēmas:



Jau pietiekami intensīva  $\text{Fe}^{2+}$  oksidēšana par  $\text{Fe}^{3+}$  ar ūdenī izšķīdušo skābekli novērojama, laižot dzelzs jonus saturošu šķīdumu caur kvarca smiltīm (skat. reakciju (1)). Ūdenim plūstot caur filtrējošo slāni uz kvarca graudiņu virsmas var veidoties dzelzs oksīdu un hidroksīdu kārtiņa, kas katalizē  $\text{Fe}^{2+}$  oksidēšanas procesus.

Kā redzams no 3.attēla, pieaugot filtrēšanas laikam, kopējā dzelzs jonu koncentrācija filtrātā pieaug. Šī tendence ir izteiktāka pieaugot dzelzs jonu koncentrācijai izejas šķīdumā, tas acīm redzot ir izskaidrojams ar pakāpenisku filtrējošā slāņa piesātināšanos.

$\text{Fe}^{2+}$  jonu oksidēšanos varētu intensificēt ūdens EL. Skābeklis, kas izdalās pie anoda ūdens EL procesā, var

darboties pēc līdzīga mehānisma kā minēts iepriekš (skat. reakciju (1)). Šķīduma EL ar tai sekojošu filtrāciju caur kvarca smiltīm būtiski samazina kopējo dzelzs jonu daudzumu analizējamā filtrāta paraugā (skat. 4.att.).

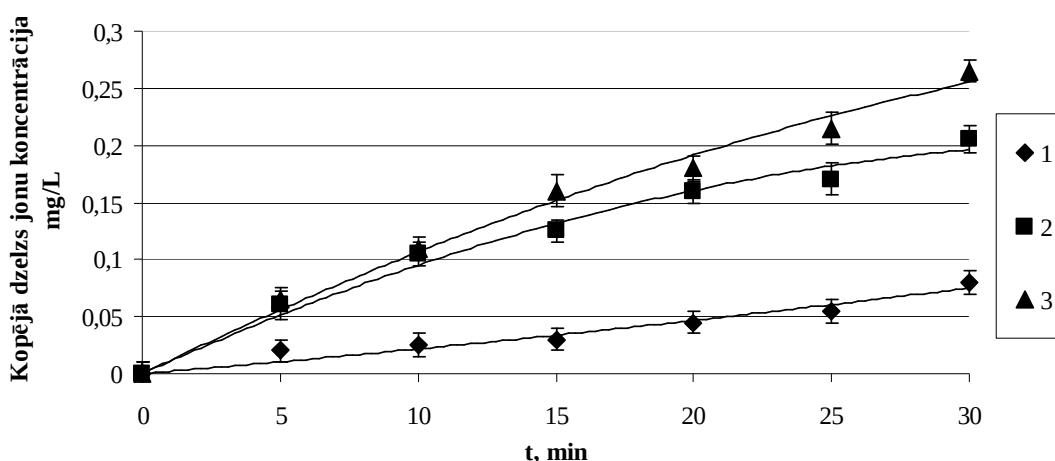
Kā redzams no 4.attēla filtrēšana caur kvarca smiltīm samazina dzelzs jonu daudzumu līdz 20 reizēm, bet šķīduma elektrolīze ar tai sekojošu filtrēšanu caur kvarca smilšu slānim kopējo dzelzs jonu koncentrāciju samazina no 40 – 50 reizēm. Tas ir izskaidrojams ar elektrolīzes procesā ūdens piesātināšanos ar skābekli, no kura tikai daļa tiek izmantota uzreiz dzelzs jonu oksidācijā. Pēc tam šķīdumam filtrējoties caur smilšu slāni paaugstinātā skābekļa koncentrācija veicina  $\text{Fe}^{2+}$  jonu oksidāciju. Pieaugot kopējai dzelzs jonu koncentrācijai izejas šķīdumos, to koncentrācijas izmaiņa elektrolīzes procesā samazinās.

Elektrolīzes procesa efektivitāti pēc strāvas var raksturot ar procesa veikšanai nepieciešamo īpatnējo darbu:

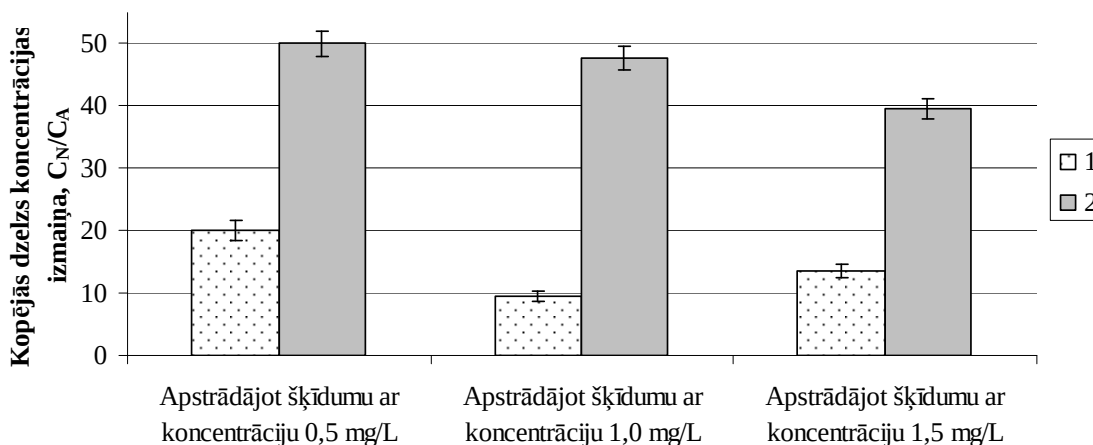
$$A = I \cdot U \cdot t / \Delta m, \quad (2)$$

Kur  $I$  – strāvas stiprums (A),  $U$  – strāvas piegums (V),  $t$  – laiks (s),  $\Delta m$  – izdalītā jona daudzums, mg (mmols).

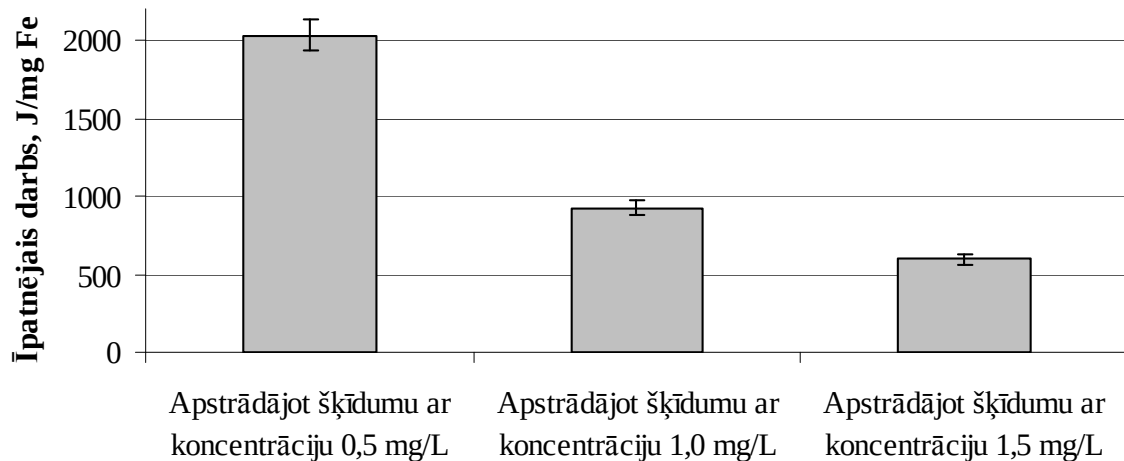
Pieaugot kopējai dzelzs jonu koncentrācijai izejas šķīdumos īpatnējais EL procesā patērētais darbs samazinās (skat. 5.att.).



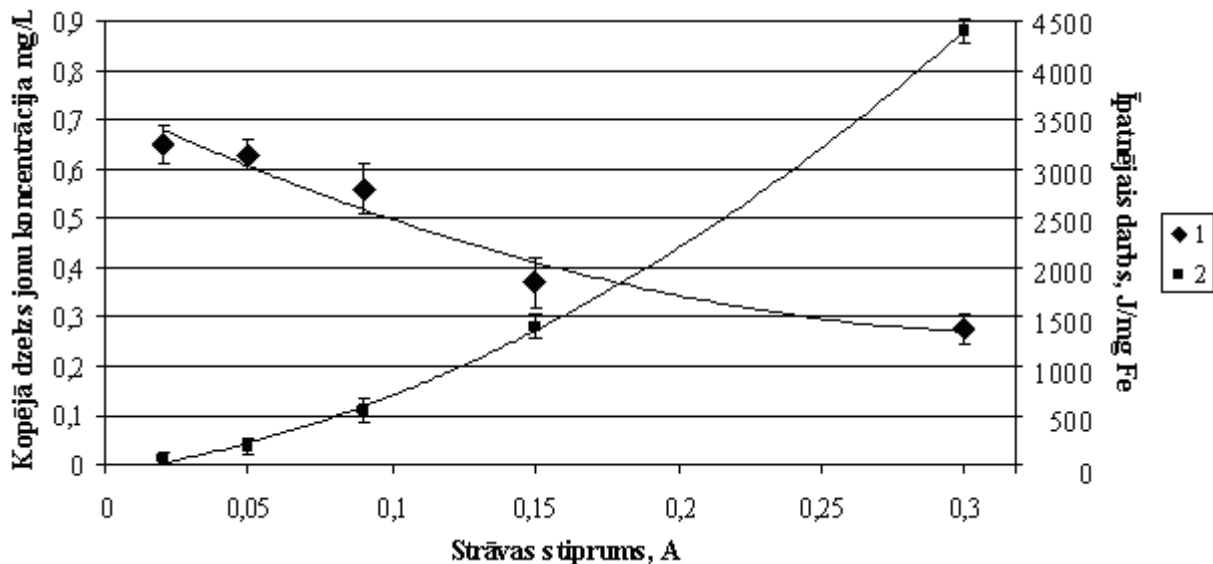
3. att. Kopējā dzelzs jonu koncentrācijas izmaiņa filtrātā atkarībā no filtrēšanas laikā pie dažādām dzelzs jonu koncentrācijām izejas šķīdumā: 1 – 0,5 mg/L; 2 – 1,0 mg/L; 3 – 1,5 mg/L



4. att. Kopējā dzelzs jonu koncentrācijas izmaiņa pētāmajos šķīdumos: 1 – filtrējot caur kvarca smiltīm; 2 – elektrolizējot ar tai sekojošu filtrēšanu caur kvarca smiltīm. Filtrācijas laiks 10 min;  $C_N$ ,  $C_A$  – dzelzs kopējā koncentrācija neapstrādātā un attiecīgi apstrādātā šķīdumā, mg/L



5. att. Īpatnējais darbs kopējās dzelzs jonu koncentrācijas samazināšanai elektrolīzes procesā pēc strāvas



6. att. Kopējās dzelzs jonu koncentrācijas izmaiņa un patērētā īpatnējā darba izmaiņa atkarībā no izmantotā strāvas stipruma elektrolīzes procesā: 1 – kopējās dzelzs jonu koncentrācijas izmaiņa; 2 – īpatnējais darbs kopējās dzelzs jonu koncentrācijas samazināšanai. Kopējā dzelzs jonu koncentrācija izejas šķīdumā 1,5 mg/L. Strāvas stiprums 0,09A

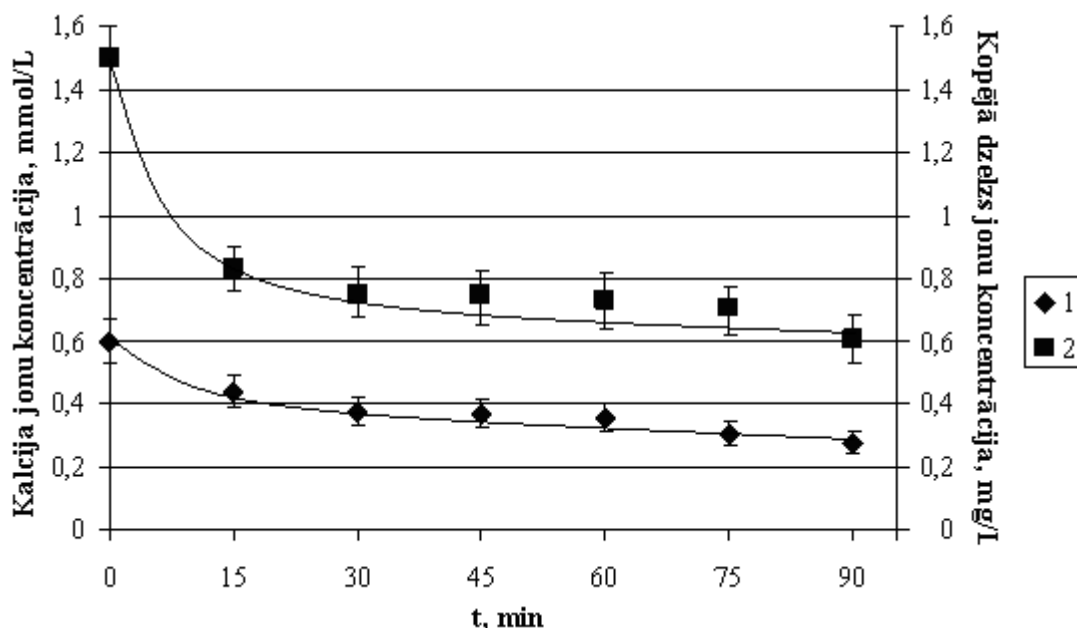
Ir svarīgi noskaidrot strāvas stipruma ietekmi uz dzelzs jonu koncentrācijas samazinājumu EL procesā. Palielinot EL šūnai pielikto strāvas stiprumu, pieaug pie anoda izdalītā skābekļa daudzums, kas intensificē oksidācijas procesus un kopējā dzelzs jonu koncentrācijas samazināšanos elektrolizētājā šķīdumā (skat. 6.att.). Tai pašā laikā procesa veikšanai nepieciešamais īpatnējais darbs, palielinot strāvas stiprumu, pieaug.

Interesi izraisa ūdens elektrodialīze, ar kuras palīdzību varētu ne tikai samazināt kopējo dzelzs jonu koncentrāciju, bet arī uzlabot ūdens cietības rādītājus [15].

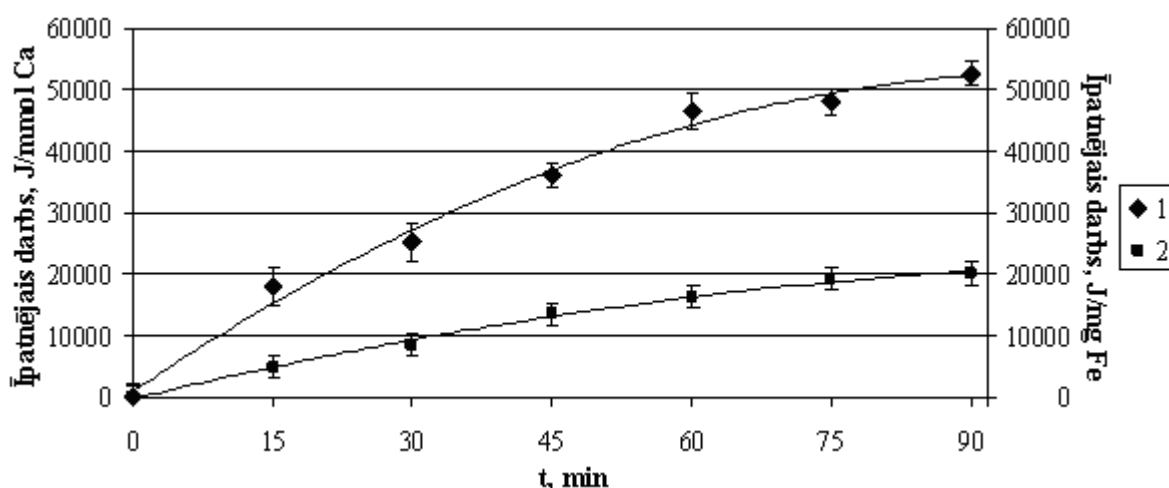
Veicot  $\text{CaCO}_3$  un  $\text{FeSO}_4$  saturošu šķīdumu ED cirkulācijas režīmā pie 25V ir novērojama gan kalcija, gan kopējās dzelzs jonu koncentrācijas samazināšanās pieaugot procesa laikam (skat. 7.att.) elektrodialīzes iekārtas 3 kamerā.

Procesa laikā  $\text{Ca}^{2+}$  jonu koncentrācija samazinās 2,2 reizes un kopējā dzelzs jonu koncentrācija 2,5 reizes. Straujākas procesa izmaiņas novērojamas procesa sākumā.

Līdzīgi kā elektrolīzes procesā arī ED gadījumā tika aprēķināts procesa realizācijai nepieciešamais īpatnējais darbs pēc strāvas. Kā redzam no 8.attēla, pieaugot ED procesa laikam, īpatnējais darbs pieaug.



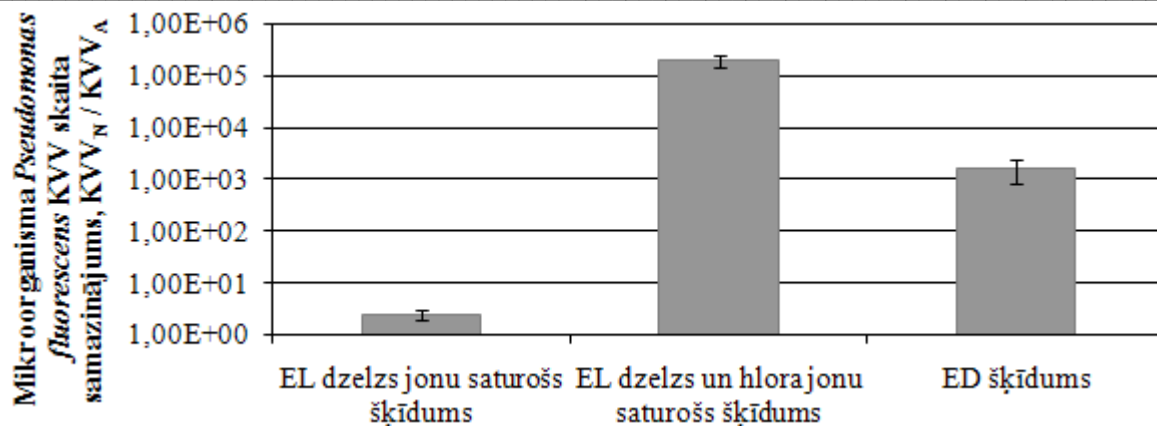
7.att. Kalcija jonu un kopējās dzelzs jonu koncentrācijas izmaiņa ED procesa laikā pie 25 V liela sprieguma: 1 – kalcija joni; 2 – dzelzs joni



8.att. Elektrodialīzes procesā patērētā īpatnējā darba izmaiņa atkarībā no procesa laika: 1 – kalcija jonu gadījumā; 2 – dzelzs jonu gadījumā. ED cirkulācijas režīmā pie 25 V liela sprieguma

Darbos [7, 8] tika konstatēts, ka veicot hlorīda jonu saturoša ūdens šķīduma elektrolīzi statiskos apstākļos, izmantojot  $Ti_nO_{2n-1}$  saturošu keramikas elektrodus, ievērojami samazinās mikroorganismu spēja vairoties. Tas tika izskaidrots ar hlora izdalīšanos EL procesā, kam ir baktericīda iedarbība. Mikroorganismu attīstību var ierobežot samazinot ūdenī barības vielas, kas limitētu mikroorganismu kopējās masas pieaugumu [16, 17]. Šai sakarā tika pētīta ūdens elektrolīzes procesa dinamiskos apstākļos caurteces režīmā un elektrodialīzes ietekme uz mikroorganismu spēju attīstīties. EL un ED tika pakļauts modeļšķīdums, kas saturēja baktērijas *Pseudomonas fluorescens* augšanai nepieciešamo barotni,  $Fe^{2+}$  jonus  $FeSO_4$  veidā un hlorīda jonus. Elektrolizētais šķīdums saturēja 1,5 mg/L dzelzs divvērtīgos jonus un 1 mmol/L hlorīda jonus (izmantojot KCl). Elektrodialīzes ietekme tika novērtēta, apstrādājot modeļšķīdumu elektrodializatorā 15 minūtes cirkulācijas režīmā (skat. 9.att.).

Kā redzams no 9.attēla, elektrolizējot hlorīda jonus nesaturošu modeļšķīdumus *Pseudomonas fluorescens* KVV skaits praktiski nemainās, pievienojot hlorīda jonus, novērojamas ļoti straujas mikroorganismu KVV skaita izmaiņas. Elektrolizētajā šķīdumā pēc 5 dienām mikroorganismu KVV skaits, salīdzinot ar neapstrādātu kontroles šķīdumu, samazinās vairāk nekā 100 000 reizes. Tika konstatēts, ka vismaz 0,09 A stipra strāva var izdalīt līdz 1 mg/L hloru, kas ir pietiekami, lai veiktu ūdens dezinfekciju. Realizējot ūdens šķīduma elektrodialīzi, novērojama ievērojama mikroorganismu augšanas tendences samazināšanās. Elektrodializētajā šķīdumā pēc 5 dienām mikroorganismu KVV skaits salīdzinājumā ar kontroles šķīdumu, ir samazinājies vairāk nekā 1500 reizes. Acīm redzot, tas ir izskaidrojams ar mikroorganismu augšanai nepieciešamo minerālvielu samazināšanos atsāļotajā šķīdumā



9.att. Mikroorganisma *Pseudomonas fluorescens* KVV skaita izmaiņa pēc šķīduma apstrādes (neapstrādāts / apstrādāts)

#### IV. SECINĀJUMI

1. Ūdens elektrolīze dinamiskos apstākļos ar tai sekojošu filtrāciju būtiski samazina dzelzs jonu daudzumu šķīdumā. Procesa realizācijai patērētais īpatnējais darbs pēc strāvas samazinās, pieaugot dzelzs jonu koncentrācijai apstrādājamā šķīdumā, palielinot elektrolīzes šūnai pielikto strāvas stiprumu, dzelzs jonu koncentrācija samazinās, bet īpatnējais darbs procesa veikšanai pieaug.
2. Realizējot šķīduma, kas satur vismaz 1mmol/L hlora jonu, atdzelžošanu ar elektrolīzes palīdzību tiek ievērojami uzlabots tā mikrobioloģiskais stāvoklis. Elektrolizētajā ūdenī piecu dienu laikā nav novērojama baktērijas *Pseudomonas fluorescens* koloniju veidojošo vienību attīstība.
3. Veicot ūdens elektrodialīzi, iespējams efektīvi atsāļot šķīdumu. Atsāļotajā ūdenī ievērojami samazinās (līdz pat 1500 reizēm) baktērijas *Pseudomonas fluorescens* koloniju veidojošo vienību attīstības intensitāte.

#### LITERATŪRA

1. Pārskats par dzeramā ūdens kvalitāti [Elektroniskais resurss] / Sabiedrības Veselības Aģentūra, 2008. – <http://www.sva.lv/>. – Resurss aprakstīts 2008.g. 1.aug.
2. Formation process of mixed fouling of microbe and  $\text{CaCO}_3$  in water systems / Liu T., Li X., Wang H., Sun X. – Chemical Engineering Journal. – 88 (2002), P.249–254.
3. The potential for biofilm growth in water distribution systems / Hallam N.B., West J.R., Forster C.F., and Simms J. – Wat. Res. – 35(17) (2001), P.4063–4071.
4. Water disinfection by electrochemical treatment / Feng C., Suzuki K., Zhao S., Sugiura N., Shimada S., Maekawa T. – Bioresource Technology. – 94 (2004), P.21–25.
5. Optimization of  $\text{Ti/SnO}_2\text{-Sb}_2\text{O}_5$  anode preparation for electrochemical oxidation of organic contaminants in water and wastewater / Watts R.J., Wyeth M.S., Finn D.D., Teel A.L. – J. Appl. Electrochem. – 38 (2008), P.31–37.
6. Drees K.P., Abbaszadegan M., Maier R.M. Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage // Water Research. – 37 (2003), P.2291–2300.
7. Reimanis M., Ozoliņš J., Mālers J. Ūdens bioloģiskā piesārņojuma samazināšana pielietojot elektrolīzes procesā  $\text{TiO}_2$  saturošu keramikas elektrodus // Rīgas Tehniskās universitātes zinātniskie raksti. 1.sēr., Materiālzinātne un lietišķā ķīmija. – 18.sēj. (2008), 90.-96.lpp.
8. Influence of various physical - chemical treatment methods on microbial growth in water/ Reimanis M., Ozolins J., Malers J., Nikolajeva V. // 7th International Conference "Environment. Technology. Resources", proceeding. – Rēzekne: Rēzeknes augstskolas izdevniecība, 2009. – [2], P. 71.-77.
9. A new sensitive bioassay for determination of microbially available phosphorus in water / Lehtola M.I., Miettinen I.T., Vartiainen T. and Martikainen P.J. – Appl. Environ. Microbiol. – 65 (1999), P.2032-2034.
10. Reasoner D.J., Geldrich E.E. A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water // Appl. Environ. Microbiol. – 49 (1985), P.1-7.
11. LVS ISO 6332:2000 „Ūdens kvalitāte - Dzelzs noteikšana - Spektrometriskā metode, lietojot 1,10-fenantroliņu.”
12. LVS ISO 6059:1984 „Ūdens kvalitāte - Summārā kalcija un magnija satura noteikšana - EDTA titrimetriskā metode.”
13. Ghosh D., Solanki H., Purkait M.K. Removal of Fe(II) from tap water by electrocoagulation technique // Journal of Hazardous Materials. – 155 (2008), P.135–143.
14. Removal of iron from groundwater by ash: A systematic study of a traditional method / Das B., Hazarika P., Saikia G., Kalita H., Goswami D.C., Das H.B., Dube S.N., Dutta R.K. – Journal of Hazardous Materials. – 141 (2007), P.834–841.
15. Removal of calcium and magnesium hardness by electrodialysis / Kabay N., Demircioglu M., Ersöz E., Kurucaovali I. – Desalination. – 149 (2002), P.343-349.
16. Kapellos G.E., Alexiou T.S., Payatakes A.C. Hierarchical simulator of biofilm growth and dynamics in granular porous materials // Advances in Water Resources. – 30 (2007), P.1648–1667.
17. Chu C., Lu C., Lee C. Effects of inorganic nutrients on the regrowth of heterotrophic bacteria in drinking water distribution systems // Journal of Environmental Management. – 74 (2005), P.255–263.

**Madars Reimanis**, researcher, Mg.sc.

Riga Technical University, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry  
Address: Azenes 14/24, LV 1048, Riga, Latvia  
Phone: 371 67089211  
E-mail: [madars.r@inbox.lv](mailto:madars.r@inbox.lv)

**Juris Malers**, Doc., Dr.sc.ing.

Riga Technical University, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry  
Address: Azenes 14/24, LV 1048, Riga, Latvia  
Phone: 371 67089211  
E-mail: [juris\\_malers@ktf.rtu.lv](mailto:juris_malers@ktf.rtu.lv)

**Jurijs Ozolins**, Prof., Dr.sc.ing.

Riga Technical University, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry  
Address: Azenes 14/24, LV 1048, Riga, Latvia  
Phone: 371 67089211  
E-mail: [juris\\_oz@inbox.lv](mailto:juris_oz@inbox.lv)

**Madars Reimanis, Juris Malers, Jurijs Ozolins. Water preparation using electrochemical process.**

In many technological processes the quality of water is determined by iron ion concentration and hardness.

The effect of electrolysis and electro dialysis processes on iron and calcium ion concentration and the development of microorganisms in water were studied in this work. The experiment was conducted under laboratory conditions using model solutions containing iron and calcium ions. Bacteria *Pseudomonas fluorescens* were used as model organism for disinfection experiments.

In this work it was found that the solution electrolysis with successive filtration through quartz sand reduces total iron ion concentration 40 - 50 times. If the current intensity applied to the electro dialysis cell is increased, the total amount of iron ion concentration reduced in the solution and the specific work of the process increases.

It was found that calcium and total iron ion concentration in  $\text{FeSO}_4$  and  $\text{CaCO}_3$  containing solution decreased during electro dialysis. Rapid concentration decrease is observed at the beginning of the process.

Electrolysis (to remove iron) of water solution containing at least 1 mmol/L of chlorine ions also significantly improves the microbiological situation. No bacteria *Pseudomonas fluorescens* colony forming unit development in electrolyzed water within five days was found. Using water electro dialysis it is possible to efficiently desalinate solution. The development intensity of bacteria *Pseudomonas fluorescens* colony forming units in desalinated water is significantly reduced (as far as 1500 times).

**Мадарс Рейманис, Юрис Малерс, Юрис Озолинш. Использование электрохимических процессов в подготовке воды.**

Качество воды для многих технологических процессов определяется концентрацией ионов железа и жесткостью. В работе исследовали влияние процессов электролиза и электро диализа на изменение концентраций ионов железа и кальция, а также развитие микроорганизмов в воде. Эксперименты проводили в лабораторных условиях на модельных растворах, содержащих определенные концентрации ионов железа и кальция. Для исследования влияния электрохимических процессов на микробиологическое состояние воды использовали бактерию *Pseudomonas fluorescens*. В работе было установлено, что электролиз воды с последующей фильтрацией через кварцевый песок уменьшает общую концентрацию ионов железа в 40 – 50 раз. С ростом концентрации ионов железа в исходном растворе удельная работа процесса электролиза по току уменьшается. При увеличении силы тока концентрация ионов железа уменьшается, а удельная работа процесса растет.

При электро диализе растворов воды, содержащих  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{FeSO}_4$ , наблюдается существенное уменьшение концентрации ионов кальция и ионов железа с увеличением времени проведения электро диализа, более резкое изменение концентрации происходит в начале процесса.

Осуществляя обезжелезивание воды, содержащей хотя бы 1 ммоль/л ионов хлора, методом электролиза, существенно улучшается микробиологическое состояние воды, в обработанной воде в течении пяти дней не наблюдается развитие колоний бактерий *Pseudomonas fluorescens*. В обессоленной методом электро диализа воде также наблюдается снижение интенсивности развития ( до 1500 раз ) единиц образования колоний бактерий *Pseudomonas fluorescens*.