

Ūdens cietības ietekme uz ūdens elektrolīzes procesu, izmantojot titāna oksīda keramikas elektrodus

Madars Reimanis¹, Jurijs Ozolins², Juris Malers³, Lidija Ece⁴, ¹⁻⁴Rīga Technical University

Kopsavilkums. Modernās ūdens apgādes inženiersistēmās aktuāla ir ūdens sagatavošana, īpašu uzmanību pievēršot ūdens mikrobioloģiskajam stāvoklim. Starp daudzajām metodēm, kuras izmanto ūdens dezinfekcijai, jāizdala ūdens elektroķīmiskā apstrāde. Elektrolīzes procesā var veidoties dezinficējošas vielas, kas iznīcina ūdenī esošos mikroorganismus, kā arī samazina to spēju vairoties.

Darbā pētīta ūdens cietības ietekme uz ūdens elektrolīzes procesu, izmantojot titāna oksīda keramikas elektrodus.

Augsta ūdens mineralizācija var veicināt blakus reakciju norisi uz elektrodu virsmas, kā arī nogulšņu veidošanos, kas samazina elektriskās strāvas plūsmu elektrolīzes šūnā.

Elektrolīzes laikā, ja šķīdums satur kalcija un hidrogēnkarbonāta jonus, uz titāna oksīda keramikas elektrodziem un šķīdumā izgulsnējas CaCO₃ nogulsnes. Ūdens plūsmas turbulence un kalcija hidrogēnkarbonāta koncentrācijas pieaugums stimulē CaCO₃ izgulsnēšanos, kas skaidrojama ar masas apmaiņas procesu intensificēšanos pie elektrodu virsmas. Nogulšņu pieaugums uz katoda elektroda atkarībā no kalcija hidrogēnkarbonāta koncentrācijas izmaiņām pie dažādiem plūsmas režīmiem aprakstāms pēc lineāra vienādojuma. Darbā konstatēts, ka ūdens cietība var ietekmēt kopējo izdalītā hlora daudzumu elektrolīzes laikā, kas skaidrojama ar blakus reakcijām uz elektrodu virsmas, un izdalītā hlora blakus reakcijām. Cietā ūdens gadījumā hlora izdalīšanos var konstatēt tikai pēc pirmajām desmit procesa minūtēm.

Atslēgas vārdi: titāna oksīda keramika, elektrolīzes, ūdens cietība, dezinfekcija.

I. IEVADS

Modernās ūdens apgādes inženiersistēmās aktuāla ir ūdens sagatavošana, īpašu uzmanību pievēršot ūdens mikrobioloģiskajam stāvoklim [1]. Starp daudzajām metodēm, kuras izmanto ūdens dezinfekcijai, jāizdala ūdens elektroķīmiskā apstrāde [2, 3]. Elektrolīzes (EL) procesā var veidoties dezinficējošas vielas, kas iznīcina ūdenī esošos mikroorganismus, kā arī samazina to spēju vairoties [4, 5, 6]. Procesā efektivitāti lielā mērā var ietekmēt pielietoto elektrodu materiālu spēja izdalīt no ūdenī esošajiem joniem pietiekamā daudzumā aktīvos savienojumus [7, 8, 9, 10]. Bez tradicionāli izmantotajiem elektrodu materiāliem pēdējos gados pastiprināta uzmanība ir pievērsta titāna oksīda keramikai. Augstās temperatūrās reducējošā ūdeņraža atmosfērā no TiO₂ iegūst nestehiometriskā titāna oksīda keramiku [11, 12, 13], kas ir ķīmiski izturīga un elektrību vadoša. Elektrovadītspēja šādām materiālam ir salīdzināma ar grafitu vadītspēju. Darbā [14] pētīta elektrību vadoša titāna oksīda keramika ar pietiekamu mehānisku un ķīmisku izturību, kas iegūta, neizmantojot apstrādi reducējošā vidē. No šāda materiāla izgatavoti elektrodus var tikt izmantoti ūdens dezinfekcijai ar elektrolīzes metodi [15, 16, 17, 18], Dezinfekcijas efektivitāti

elektrolīzes procesā lielā mērā var ietekmēt ūdens ķīmiskais sastāvs. Augsta ūdens mineralizācija var veicināt blakus reakciju norisi uz elektrodu virsmas, tai skaitā nogulšņu veidošanos, kas samazina elektriskās strāvas plūsmu elektrolīzes šūnā [19]. Ja elektrolizējamais ūdens satur Mg²⁺, Ca²⁺ un CO₃²⁻ jonus, uz elektrodziem veidojas nogulsnes [19]. Darba mērķis bija noskaidrot ūdens cietības un elektrolizējamā ūdens plūsmas režīma ietekmi uz nogulšņu veidošanās intensitāti un elektrolīzes procesā izdalītā hlora daudzumu. Lai pātrināti noteiktu šķīduma cietības ietekmi, elektrolīzes eksperiments tika veikts laboratorijas apstākļos, apstrādājot ar kalcija joniem piesātinātus modeļšķīdumus, izmantojot no vakuumā aktivētas titāna oksīda keramikas izgatavotus elektrodus [14].

II. MATERIĀLI UN METODES

Modeļšķīdumu pagatavošana. Hlorīda jonu modeļšķīdumu ar koncentrāciju 1 mmol/L pagatavoja, izšķīdinot dejonizētā ūdenī KCl; izvēlēta maksimālā koncentrācija nepārsniedza dzeramajā ūdenī pieļaujamo hlora jonu koncentrāciju [20].

Kalcija jonu koncentrācija tika noteikta titrimetriski [21]. Nosakot Ca²⁺ jonus paraugos, kas noskaloti ar skābi no elektrodziem, lai sasniegtu analīzei nepieciešamo vides pH, izmantoja palielinātu buferšķīduma daudzumu

Kalcija hidrogēnkarbonāta šķīdumu pagatavoja, ūdens suspensiju, saturošu 4,5 mmol/L CaCO₃, piesātinot ar CO₂ gāzi. Piesātināšana turpinājās 2 dienas un ilgāk līdz eksperimenta sākuma brīdim, lai sasniegtu pilnīgu piesātinājumu. Dzidro šķīdumu tieši pirms izmantošanas dekantēja no trauka apakšā esošajām neizšķīdušajām CaCO₃ nogulšņu paliekām.

Kopējo hlora koncentrāciju ūdenī noteica, izmantojot titrēšanas un kolorimetrijas metodes [22, 23].

Šķīduma sārmainība tika noteikta titrimetriski [24].

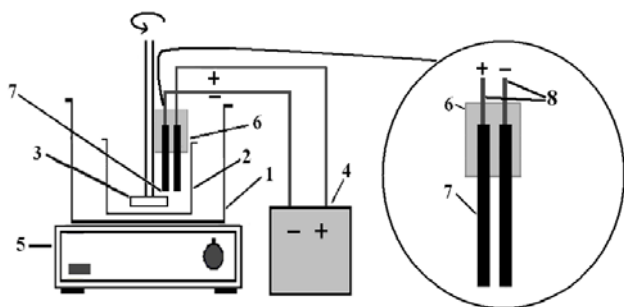
Nogulšņu mikrostruktūru pētīja ar skenējošo elektronu mikroskopu (SEM) *Tescan Mira/LMM*.

Parauga kristālisko fāžu analīzei izmantoja rentgenstaru difraktometru (XRD) *Pananalytical X'pert PRO* ar CuKα lampas starojumu 2 θ diapazonā no 10 līdz 70°.

Eksperimenta procedūra. Ūdens elektrolīzi veica speciāli izveidotā elektrolīzes šūnā ar tilpumu 0,5 L. Elektrolizējamā ūdens plūsmas režīmu modelēja traukā ar maisītāju; mainot maisītāja apgrieziena skaitu, noteica bezdimensionālo centrālās Reynoldsas kritēriju:

$$Re_c = \frac{n \cdot \rho \cdot d^2}{\mu}, \quad (1)$$

kur n – apgrieziena skaits, s⁻¹, ρ – ūdens blīvums kg/m³, d – maisītāja diametrs, m, μ – ūdens viskozitāte, Pa*s (skat. 1.att.).



1.att. Eksperimentālās iekārtas shēma: 1 – termostats, 2 – trauks ar elektrolizēto šķīdumu, 3 – maisītājs, 4 – līdzstrāvas avots, 5 – sildītājs, 6 – epoksīda sveķi, 7 – titāna oksīda keramikas elektrodi, 8 – strāvas vads

Izveidotajā elektrolīzes iekārtā kā anods un katods tika izmantoti vienādi titāna oksīda keramikas elektrodi stienīša formā ar laukumu $12,4 \text{ cm}^2$. Par līdzstrāvas avotu izmantoja *Rectifier HQ Power, PS5005* (0 – 50 V DC, 0 – 5 A). Elektrolīzes process tika veikts pie strāvas stipruma $0,05 \text{ A}$ ($4,2 \text{ mA/cm}^2$), temperatūras $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, ar kontrolētu maisīšanas režīmu 2 h.

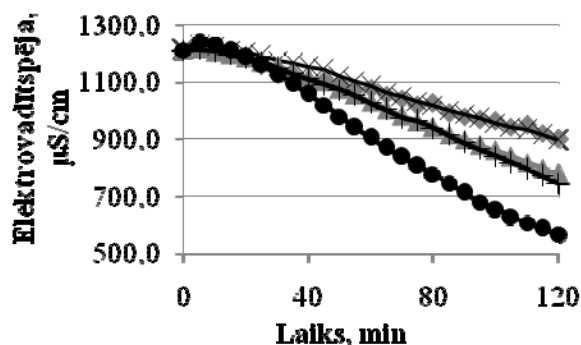
III. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Elektrolīzes iekārtas darbības efektivitāti nosaka plūsmas režīms iekārtā, kas veicina jonu nokļūšanu pie elektrodu virsmas, pieliktais strāvas stiprums, kas nosaka dezinficējošo vielu izdalīšanās intensitāti, un ūdens ķīmiskais sastāvs, kas var izraisīt blakus reakcijas un nosēdumu veidošanos uz elektrodiem cietā ūdens gadījumā. Energoefektīvā elektrolīzes šūnā, kam raksturīga zema elektriskā pretestība, attālumi starp elektrodiem parasti ir mazi. Nogulsnes, kas veidojas uz elektrodiem, palielina šūnas elektrisko pretestību, un traucē ūdens plūsmai starp elektrodiem. Svarīgi noskaidrot, kā cietību veidojošie joni un plūsmas raksturs iespaido elektrodu apaugšanu, un kā šis process ietekmē dezinficējošo vielu veidošanās intensitāti.

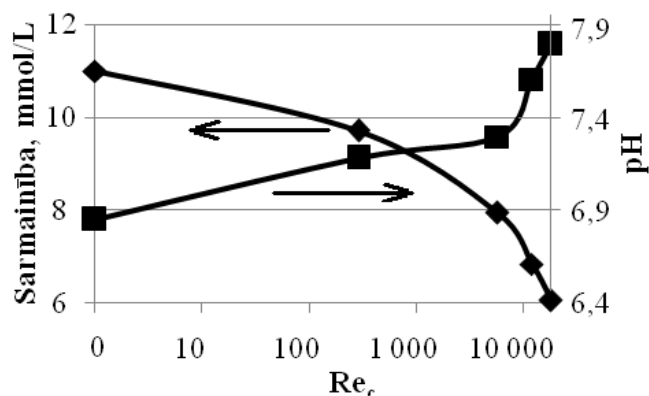
Nogulšņu veidošanās uz elektrodiem ir saistīta ar Ca^{2+} un HCO_3^- jonu koncentrācijas samazināšanos elektrolizējamā ūdenī, kas var izsaukt sistēmas elektrovadītspējas izmaiņas.

Kā redzams no 2. att., šķīduma elektrovadītspēja, pieaugot elektrolīzes laikam, samazinās. Krasāks samazinājums novērojams, apstrādājot šķīdumu ilgāk par 15–20 min. Palielinoties elektrolīzes laikam, pieaug caurplūdušās strāvas lādiņš un tā izraisītās reakcijas uz elektrodu virsmas. Pieaugot plūsmas turbulencei, šie procesi pastiprinās.

Elektrolīzes laikā pie elektrodiem izdalījušās gāzes var samazināt CO_2 šķīdību ūdenī, kas izsauc kalcija hidroģēnkarbonāta pāreju nešķīstošā CaCO_3 formā. Minēto apgalvojumu apstiprina šķīduma sārmainības samazināšanās un pH pieaugums elektrolīzes procesā (skat. 3.att.). Arī šajā gadījumā plūsmas turbulence izsauc šo lielumu straujākas izmaiņas.



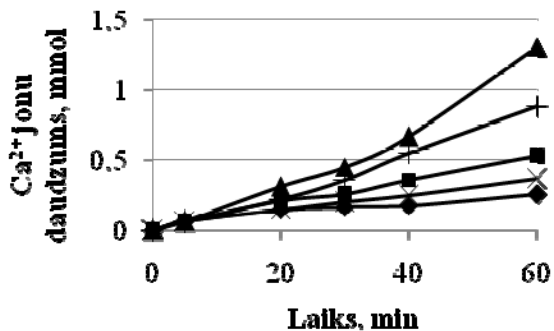
2.att. Šķīduma elektrovadītspējas izmaiņas atkarībā no elektrolīzes laika pie dažādiem plūsmas režīmiem: ♦ – $Re_c = 0$; X – $Re_c = 288$; ▲ – $Re_c = 5760$; + – $Re_c = 11880$; ● – $Re_c = 18000$



3.att. Šķīduma sārmainības un pH izmaiņas pēc elektrolīzes atkarībā no plūsmas režīma. Apstrādi veic 1h

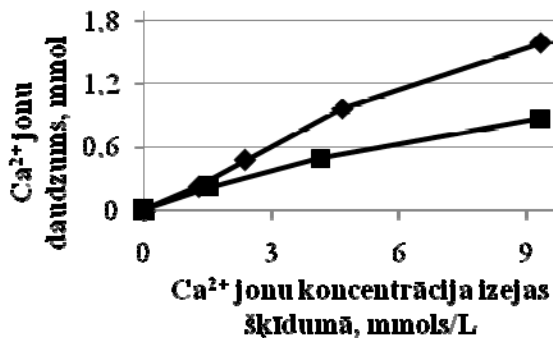
Otrs apstākļi, kas var izsaukt kalcija hidroģēnkarbonāta pāreju nešķīstošā CaCO_3 formā, veidojot uz elektrodu virsmas blīvas nogulsnes, ir elektrolīzes procesā pie katoda izdalītais ūdeņradis, kas samazina H^+ jonu koncentrāciju un palielina šķīduma bāziskumu.

Izstrādājot elektrolīzes iekārtas ūdens dezinfekcijai, ir svarīgi noskaidrot apstākļus, kas ietekmē elektrodu apaugšanas ātrumu, kas, savukārt, var samazināt šķīduma plūsmu starp elektrodiem un līdz ar to iespējamo dezinfekcijas efektivitāti. Nogulšņu veidošanos uz elektrodiem modelēja, veicot $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ šķīduma elektrolīzi, mainot plūsmas režīmus. Nogulšņu pieaugumu uz katoda elektrolīzes laikā kvantitatīvi raksturoja, izšķīdinot tās sālsskābē un nosakot Ca^{2+} jonu daudzumu tajā (skat. 4. att.).



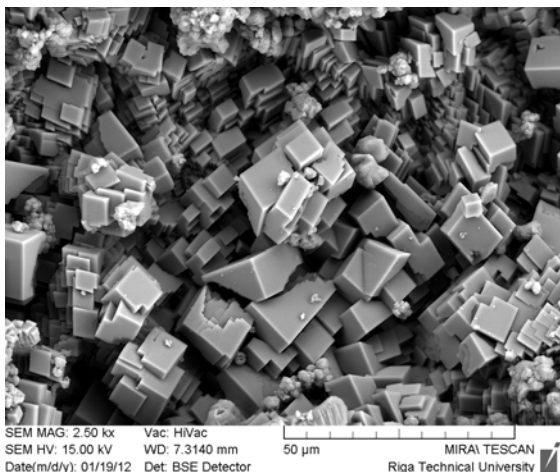
4.att. Ca^{2+} jonu daudzuma pieaugums uz elektrodiem atkarībā elektrolīzes laika pie dažādiem plūsmas režīmiem: ♦ – $Re_c = 0$; X – $Re_c = 288$; ■ – $Re_c = 5760$; + – $Re_c = 11880$; ▲ – $Re_c = 18000$

Kā redzams no 4. att., palielinoties elektrolīzes laikam, nogulšņu daudzums uz katoda pieaug, pie tam plūsmas turbulence veicina šo procesu. Acīmredzot intensīva elektrolīzējamā šķīduma sajaukšanās veicina aprakstīto reakciju norisi. Pretēji eksperimentāli noteiktam Ca^{2+} jonu daudzuma pieaugumam uz elektrodu virsmas, atlikušā kalcija jonu koncentrācija šķīdumā, pieaugot elektrolīzes laikam un plūsmas turbulencei, samazinās.



5.att. Ca^{2+} jonu daudzuma izmaiņas uz elektrodiem atkarībā no Ca^{2+} jonu koncentrācijas izejas šķīdumā pie dažādiem plūsmas režīmiem: ■ – $\text{Re}_c = 288$; ◆ – $\text{Re}_c = 18000$. Apstrādi veic 1h

Tā kā dabas ūdeņu cietība ir ļoti mainīga, bija svarīgi noskaidrot, kā kalcija jonu koncentrācija izejas šķīdumā iespaido nogulšņu veidošanos uz katoda elektrolīzes laikā. Pieaugot kalcija jonu koncentrācijai elektrolīzējamā šķīdumā, nogulšņu veidošanās intensitāte uz elektroda virsmas palielinās (skat. 5. att.). Intensīva šķīduma sajaukšanās veicina šo procesu. Nogulšņu veidošanās intensitāte atkarībā no kalcija jonu koncentrācijas, pie dažādiem plūsmas režīmiem ir aprakstāma ar lineāru vienādojumu. Pievienojot kalcija hidroģēnkarbonāta modeļšķīdumam 1 mmol/L KCl, bija novērojamas analogas nogulšņu veidošanās likumsakarības elektrolīzes procesā; Cl^- jonu klātbūtne CaCO_3 izgulsnēšanās kinētiku neietekmē.

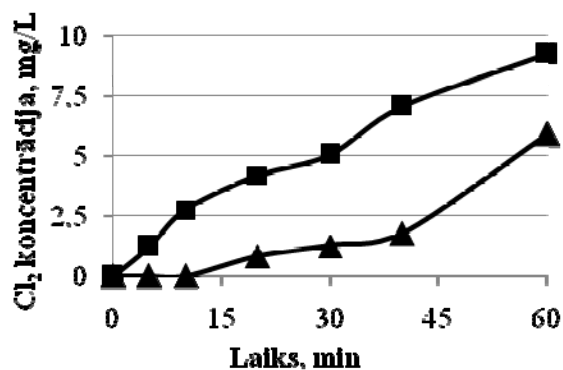


6.att. Uz elektrodu virsmas elektrolīzes laikā izveidojušo nogulšņu SEM mikrofotogrāfija

Radušos nogulšņu virsmas morfoloģiju un struktūru noteica, izmantojot rentgenstruktūranalīzi un skenējošo elektronu mikroskopiju (SEM). Kā redzams, elektrolīzes

procesā uz katoda elektroda nogulsnējies CaCO_3 veido izteiktu kalcīta kristālisko modifikāciju (skat. 6. att.). Paraugu XRD difraktogrammās novērojami CaCO_3 kalcīta kristāliskajai fāzei raksturīgie difrakcijas maksimumi.

Nogulšņu veidošanās uz elektrodiem elektrolīzes procesā var ietekmēt izdalītā hlora daudzumu un līdz ar to arī dezinfekcijas efektivitāti. Ūdens cietības ietekmi uz izdalītā hlora daudzumu elektrolīzes procesā novērtēja, pievienojot kalcīta hidroģēnkarbonāta modeļšķīdumam 1 mmol/L KCl (skat. 7. att.).



7.att. Hlora izdalīšanās šķīdumā no apstrādes laika pie dažādām Ca^{2+} jonu koncentrācijām: ■ – 0 mmol/L; ▲ – 4.5 mmol/L

Kā redzams, hlora izdalīšanās kinētika elektrolīzes procesā no šķīduma, kas nesatur kalcija jonus, un šķīduma, kas satur 4,5 mmol/L Ca^{2+} (atbilst ļoti cietam šķīdumam), būtiski atšķiras.



Cieta ūdens gadījumā hlora izdalīšanos var konstatēt tikai pēc pirmajām desmit procesa minūtēm. Tas ir izskaidrojams ar dažādām blakus reakcijām uz elektroda virsmas, kurās var būt iesaistīts arī elektrolīzes procesā producētais hlors (skat. 2 vienādojumu).

IV. SECINĀJUMI

1. Elektrolīzes laikā uz titāna oksīda keramikas elektrodiem un šķīdumā veidojas CaCO_3 nogulsnes, ja šķīdums satur kalcija un hidroģēnkarbonāta jonus.
2. Plūsmas turbulence un kalcija hidroģēnkarbonāta koncentrācija šķīdumā stimulē CaCO_3 izkrišanu nogulsnēs uz katoda elektroda un šķīdumā, kas skaidrojams ar masas apmaiņas palielināšanos pie elektrodu virsmas.
3. Ūdens cietība var ietekmēt kopējo izdalītā hlora daudzumu elektrolīzes laikā, kas skaidrojams ar blakus reakcijām uz elektrodu virsmas un izdalītā hlora blakus reakcijām. Cieta ūdens gadījumā hlora izdalīšanos var konstatēt tikai pēc pirmajām desmit procesa minūtēm.

PATEICĪBA

This work has been supported by the European Regional Development Fund within the project "Development of innovative water procession technology using nanostructured ceramic", No. 2010/0257/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/012.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- G.E. Kapellos, T.S. Alexiou, A.C. Payatakes. Hierarchical simulator of biofilm growth and dynamics in granular porous materials. *Advances in Water Resources*. 2007, **30**: 1648–1667.
- M.I. Kerwicka, S.M. Reddy, A.H.L. Chamberlain, D.M. Holta. Electrochemical disinfection, an environmentally acceptable method of drinking water disinfection? *Electrochimica Acta*. 200, **50**: 5270–5277.
- A. Kraft, M. Blaschke, D. Kreysig, B. Sandt, F. Schröder, J. Rennau. Electrochemical water disinfection. Part II: Hypochlorite production from potable water, chlorine consumption and the problem of calcareous deposits. *J. Appl. Electrochem.* 1999, **29**: 895-902.
- W.K. Kwang, K. In-Take, I.P. Geun, H.L. Eil. Electrolytic decomposition of ammonia to nitrogen in a multi-cell-stacked electrolyzer with a self-pH-adjustment function. *Journal of Applied Electrochemistry*. 2006, **36**: 1415–1426.
- H.X. Shi, J.H. Qu, A.M. Wang, J.T. Ge. Degradation of microcystins in aqueous solution with in situ electrogenerated active chlorine. *Chemosphere*. 2005, **60**: 326–333.
- M.E.H. Bergmann, A.S. Kopalal. Studies on electrochemical disinfectant production using anodes containing RuO₂. *Journal of Applied Electrochemistry*. 2005, **35**: 1321–1329.
- J. Jeong, C. Kim, J. Yoon. The effect of electrode material on the generation of oxidants and microbial inactivation in the electrochemical disinfection processes. *Water Research*: 2009, **43**, 895–901.
- Joonseon Jeong, Choonsoo Kim, Jeyong Yoon. The effect of electrode material on the generation of oxidants and microbial inactivation in the electrochemical disinfection processes. *Water Research*, 2009, **43**, 895-901.
- C.A. Martinez-Huitle, E.Brillas. Electrochemical Alternatives for Drinking Water Disinfection. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2008, **47**, 1998-2005.
- D. Ghernaout, M.W. Naceur, A. Aouabed. On the dependence of chlorine by-products generated species formation of the electrode material and applied charge during electrochemical water treatment. *Desalination*, 2011, **270**, 9-22.
- P.C.S. Hayfield. Development of a New Material – monolithic Ti₄O₇ Ebonex[®] Ceramic. RSC, UK, 2002, 97 p.
- A.A. Gusev, E.G. Avvakumov, A.Zh. Medvedev, A.I. Masliy. Ceramic Electrodes Based on Magneli Phases of Titanium Oxides. *Science of Sintering*, 2007, **39**, 51-57.
- J.R. Smith, F.C. Walsh, R.L. Clarke. Electrodes based on Magneli phase titanium oxides: the properties and applications of EbonexR materials, 1998, **28** (10), 1021-1033.
- A.Pavlova, L.Berzina-Cimdina, J.Locs, J.Barloti, V.Teters, Investigation of the electrical properties of vacuum annealed titanium oxide-containing ceramics, *Processing and Application of Ceramics*, 2009, **3** (4), 187-190.
- L. Mezule, M. Reimanis, J. Malers, J. Ozolins, T. Juhna. Application of electrolysis with Ti_nO_{2n-1} ceramic electrodes for disinfection of drinking water. *The Scientific Proceedings of Riga Technical University, Material science and applied chemistry*. 2009, **20**: 123–131.
- M. Reimanis, J. Malers, J. Ozolins. Preparation of water using Electrochemical Processes. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering, World Academy of research and publication Press*. 2010, **1**(1): 35–39.
- M. Reimanis, L. Mezule, J. Malers, L. Berzina-Cimdina, T. Juhna, J. Ozolins. Preparation of water with electrolysis method using ceramic electrodes. In: *IWA Specialist Conference "Water and Wastewater Treatment Plants in Towns and Communities of the XXI Century: Technologies, Design and Operation"*, [electronic resource], Moscow, Russia on 2-4 June, 2010, 1-8.
- Madars Reimanis, Jurijs Ozolins, Juris Malers, Janis Locs and Talis Juhna. Water disinfection using Ti_nO_{2n-1} electrodes. *2011 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications. International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 2011, **17**, 265-270.
- A. Kraft, M. Stadelmann, M. Blaschke, D. Kreysig, B. Sandt, F.Schroder, J. Rennau. Electrochemical water disinfection Part I: Hypochlorite production from very dilute chloride solutions. *J. Appl Electrochemistry*. 1999, **29**: 861-868.
- Anonymous (1998) Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption, Official Journal of European Community 5(12).
- Anonymous (1984) Water quality - Determination of the sum of calcium and magnesium - EDTA titrimetric method (1984), ISO 6059:1984, International Standard Organisation, Geneva, Switzerland.
- Anonymous (1985) Water quality - Determination of free chlorine and total chlorine - Part 1: Titrimetric method using N, N-diethyl-1, 4-phenylenediamine (1985), ISO 7393-1:1985, International Standard Organisation, Geneva, Switzerland.
- Anonymous (1990) Water quality - Determination of free chlorine and total chlorine - Part 3: Iodometric titration method for the determination of total chlorine (1990). ISO 7393-3:1990, International Standard Organisation, Geneva, Switzerland.
- Anonymous (1994) Water quality - Determination of alkalinity - Part 1: Determination of total and composite alkalinity (1994). ISO 9963-1:1994, International Standard Organisation, Geneva, Switzerland.

Madars Reimanis, *Mg.sc.ing.*, Researcher at Riga Technical University, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Institute of General Chemical Engineering. He is the author of more than 30 scientific publications in the branch of water preparation chemistry, microbiology and technology. Over the last 5 years his research interests are related to electrochemical water treatment method improvement for microbiological contaminated water disinfection and treatment.
Address: 14/24 Azenes Street, Riga, LV-1048, Latvia
Phone: 371 67089211
E-mail: madars.r@inbox.lv

Juris Mālers, *Dr.sc.ing.(1992), Asoc.Prof., Leading Researcher* at Riga Technical University, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Institute of General Chemistry Technology. He is the author and co-author of more than 75 publications in the branch of polymer technology and environmental engineering (soil and groundwater remediation, microbiological contamination of drinking water). He delivers such lecture courses as: Environmental Engineering; Contaminated Site Assessment; Contaminated Soil Treatment Technologies; Groundwater Treatment Technologies; Environmental Engineering (selected topics), for Bachelor's and Master's degree students.
Address: 14/24 Azenes Street, Riga, LV-1048, Latvia
Phone: + 371 67089228
E-mail: juris_malers@ktf.rtu.lv

Jurijs Ozoliņš, *Dr.sc.ing., Prof., Leading Researcher* at Riga Technical University, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Institute of General Chemical Technology. He is the author and co-author of more than 95 publications in the branch of polymer technology and environmental engineering (mass transfer processes, titanium oxide ceramic properties and use, microbiological contamination of drinking water). He delivers such lecture courses as: Fluid Flow, Heat and Mass Transfer, Unit Operation of Chemical Engineering, Heat Transfer Processes and Equipment, Special Processes and Equipment, Processes in the Material Technology.
Address: 14/24 Azenes Street, Riga, LV-1048, Latvia
Phone: +37167089228
E-mail: juris_oz@inbox.lv

Lidija Ēce, *Assistant Lecturer* at Riga Technical University, Faculty of Materials Science and Applied Chemistry, Institute of General Chemical Engineering. Her current field of professional interests includes water electrolysis processes using titanium oxide ceramic electrodes.
Address: 14/24 Azenes Street, Riga, LV-1048, Latvia
Phone: 371 67089211
E-mail: ecelidija@gmail.com

Madars Reimanis, Jurijs Ozolins, Juris Malers, Lidija Ece. The Effect of Water Hardness on the Water Electrolysis Process Using Titanium Oxide Ceramic Electrodes

Nowadays in water supply engineering systems, water preparation is very topical, especially paying attention to water biological condition. Among numerous methods used for water disinfection, electrochemical water treatment must be singled out. During the electrolysis process generation of specific disinfectants is possible, which are able to eliminate the microorganisms present in water, as well as decrease their ability to reproduce.

In the research, the influence of water hardness on water electrolysis has been investigated using titanium oxide ceramic electrodes. High water mineralization can facilitate by-reactions on the surface of electrodes, as well as the formation of sediments that reduces the current of electricity in the electrolytic cell.

If the solution contains calcium and hydrocarbonate ions, then during the electrolysis process CaCO_3 sediments precipitate on the electrodes and in the solution. The turbulence of water flow and the increase of concentration of calcium hydrocarbonate facilitate the precipitation of CaCO_3 , which can be explained with the intensification of mass exchange process at the surface of electrodes. The increase of sediments on cathode depending on the changes of calcium hydrocarbonate concentration at different flow conditions can be described with the help of a linear equation. It has been detected that water hardness can affect the total amount of produced chlorine during electrolysis, which can be explained by the by-reactions on the electrode surface and the produced chlorine by-reactions. In case of hard water, the production of chlorine can be detected only after the first ten minutes.

Мадарс Реиманис, Юрий Озолинш, Юрис Малерс, Лидия Эце. Влияние жесткости воды на процесс электролиза воды с применением керамических электродов на основе окиси титана.

В современных инженерных системах водоснабжения при подготовке воды особое внимание уделяется микробиологическому состоянию воды. Среди множества методов дезинфицирования воды надо выделить электрохимическую обработку воды. В процессе электролиза возникают дезинфицирующие вещества, уничтожающие в воде находящиеся микроорганизмы, а также снижают их способность размножаться.

В работе исследовалось влияние жесткости воды на процесс электролиза с применением керамических электродов на основе окиси титана. Высокая минерализация воды может способствовать возникновению побочных реакций на поверхности электродов, возникновению осадка и уменьшению электрического тока в электролизной ячейке.

Если раствор содержит ионы кальция и гидрогенкарбоната, то в процессе электролиза на поверхности керамических электродов и в растворе выделяется CaCO_3 в виде осадка. Увеличение турбулентности потока и повышенные концентрации гидрогенкарбоната кальция способствуют осаждению CaCO_3 , что объясняется интенсификацией процессов массообмена у поверхности электродов. Прирост осадка на катоде в зависимости от концентрации гидрогенкарбоната кальция при разных режимах потока описывается уравнением прямой. Установлено, что жесткость воды влияет на выделение хлора в процессе электролиза, что объясняется побочными реакциями на поверхности электродов а также побочными реакциями выделенного хлора. В случае жесткой воды выделение хлора можно обнаружить только после первых десяти минут процесса электролиза.