

SKYSTYJE ESANČIŲ KIETŪJŲ DALELIŲ SAŲVEIKOS AKUSTINIAME LAUKE
TYRIMASEgidijus Mykolaitis¹, Andrius Styra², Vladas Vekteris³

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštai: ¹egimyk@gmail.com; ²andrius.styra@dok.vgtu.lt; ³vekteris@vgtu.lt

Santrauka. Geležis – dažniausiai požeminiuose vandenyse aptinkama priemaiša, kuri prastina geriamojo vandens savybes, todėl būtina bendrosios geležies koncentraciją sumažinti iki 0,2 mg/l. Vienas iš geležies šalinimo būdų yra parentas ultragarso panaudojimu. Straipsnyje glaustai aptarti bendrosios geležies būviai vandenyje, jos šalinimo metodai ir pateikta eksperimentinė metodika. Eksperimentas atliktas naudojant skirtingų dažnių garso bangas nuo 8 kHz iki 20 kHz diapazone. Akustinio lauko daromai įtakai nustatyti, naudojant skirtingų dažnių garso bangas, buvo panaudoti trys skirtingi vandens debitai. Iš gautų rezultatų suformuluotos išvados.

Reikšminiai žodžiai: ultragarsas, koaguliacija, akustinis laukas, geriamasis vanduo, valymas, geležis.

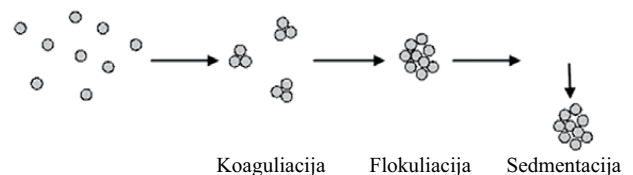
Įvadas

Lietuva – vienintelė Europoje šalis, geriamajam vandeniui išgauti naudojanti vien tik požeminį vandenį. Tinkamo geriamojo vandens Lietuvoje yra beveik 10 kartų daugiau nei dabar suvartojame. Tačiau beveik neturime tokio požeminio vandens, kuris dar būdamas požemyje ar jau pakeltas į žemės paviršių atitiktų visus geriamojo vandens higienos normos reikalavimus. Jame beveik visada yra per daug geležies, todėl jis, žemės paviršiuje gavęs deguonies, drumsčiasi, rudoja, iš jo krinta rudos ar juodos (jei tokiame vandenyje yra dar ir mangano) nuosėdos. Su šia problema palyginti nesunkiai susidoroja beveik visi geriamojo vandens tiekėjai (*Vandentvarka* 41: 20).

Lietuvos higienos norma HN 24:2003 *Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai* reglamentuoja, kad bendrosios geležies koncentracija geriamajame vandenyje neviršytų 200 µg/l, mangano koncentracija – 50 µg/l, o drumstumas – 4 DV. Todėl visoje Lietuvoje yra vandens gerinimo įrenginiai, kurie šalina iš geriamojo vandens geležį ir manganą, mažina vandens drumstumą (HN 24: 2003).

Požeminiame vandenyje geležis aptinkama divalentės geležies jonų Fe²⁺ arba hidratuotų jonų – nuo Fe(OH)⁺ iki Fe(OH)²⁺ – pavidalo. Šarmingesniame požeminiame vandenyje geležis dažnai esti kaip geležies hidrokarbonatas, o esant vandenyje vandenilio sulfido – kaip divalentės geležies sulfidas. Be to, divalentė ir trivalentė geležis aptinkama ir kompleksinių junginių su neorganinės (sulfatai, silikatai, fosfatai ir kt.) ir organinės (humuso, fulvo ar tanino rūgštys) kilmės ligandais pavidalo (Jankauskas *et al.* 2007).

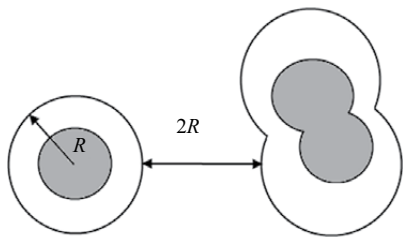
Vandenį veikiant ultragarsu, jame vyksta fizikiniai cheminiai procesai. Ultragarso vibracijos sukelia medžiagų dispersiją, koaguliaciją ir degazaciją (dujų šalinimas) bei daro įtaką kristalizacijos ir tirpsmo procesams, taip pat ultragarso virpesiai sukelia įvairių cheminių medžiagų transformacijas, įskaitant oksidacijos, polimerizacijos ir depolimerizacijos procesus (Викунин 2009).



1 pav. Geležies dalelių koaguliacija, flokuliacija ir sedimentacija (Викунин 2009)

Fig. 1. Iron particles coagulation, flocculation and sedimentation (Викунин 2009)

Vykstant koaguliacijos procesui, iš pradžių junginys susiformuoja iš dviejų pirminių dalelių, vėliau prie šių dviejų dalelių junginio prisijungia dar po vieną pirminę dalelę. Nenutraukiant proceso, jis progresuoja ir jungiantis dalelėms prie junginio susidaro trijų, keturių ir t. t. dalelių junginiai. Sprendžiant bet kurios dalelės difuzinį suartėjimą su tam tikra nejudančia erdvėje dalele, nejudančios dalelės susidūrimas su kita dalele vyksta kiekvieną kartą, kai dalelės suartėja iki atstumo $R = 2r$ (Смолуховский 1916).



2 pav. Geležies dalelių koaguliacijos procesas (Смолуховский 1916)

Fig. 2. Process of iron particles coagulation (Смолуховский 1916)

Daugelio mokslininkų, kurie tyrė ultragarso poveikį cheminiams procesams, buvo įrodyta, kad, veikiant garso bangomis, oksidacijos reakcijos vyksta daug intensyviau. Suintensyvėja taip pat ir skilimo, organinių bei neorganinių junginių reakcijos, makromolekulių polimerizacija ir depolimerizacija, galiausiai – molekuliniai persigrupavimai.

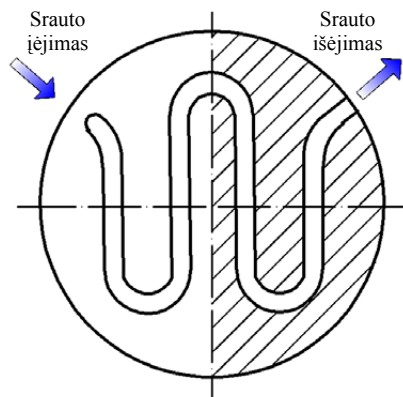
Suintensyvėjusios cheminės reakcijos, veikiant ultragarso, yra skirstomos į tipus:

- 1) oksidacijos ir redukcijos reakcijos tirpaluose;
- 2) ištirpusių dujų kavitacija (burbuliukų susidarymas);
- 3) makromolekulių skilimo, kurios sukelia polimerizacijos efektą;
- 4) stereoizomerizacijos grandininės reakcijos (Викулин 2009).

Tyrimo objektas

Tyrimo objektas – vandens valymo sistema, naudojant pjezokeraminį ultragarso keitiklį. Eksperimento esmė – nustatyti, kokį poveikį geležies dalelių koaguliacijai daro ultragarso bangos.

Bendraja geležimi prisotintas vanduo siauru kanalu tekės specialiaja pjezokeramikos dalimi (3 pav.), kur bus veikiamas aukštojo dažnio ultragarso bangomis.



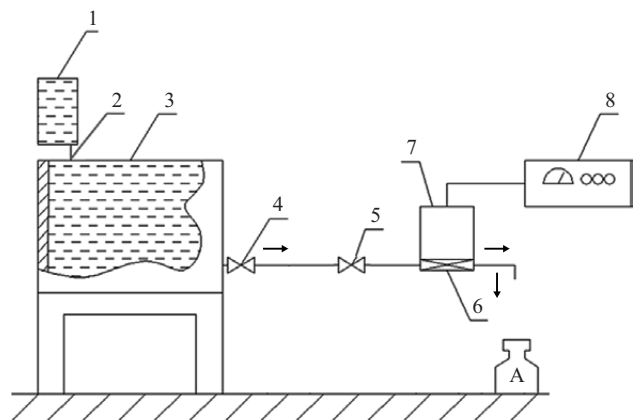
3 pav. Pjezokeraminio elemento specialioji dalis
Fig. 3. Special part of piezoceramic element

Eksperimentas bus kartojamas 16 kartų, keičiant bangų dažnį intervalu nuo 8 iki 20 kHz. Taip bus nustatyta akustinio lauko įtaka geležies dalelių oksidacijai ir koaguliacijai. Kadangi vanduo bus minimaliai paveiktas oksidacijos procesų, tai leis nustatyti ultragarso fizikinių ir cheminių procesų įtaką geležies dalelių koaguliacijai.

Vanduo sąlytį su oru turės talpykloje, iš kurios tekės į pjezokeraminio keitiklio specialiąją dalį, ir ištekėdamas į mėgintuvėlius.

Eksperimentinis stendas ir tyrimo metodika

Garso daromai įtakai ištirti vandenyje ištirpusios bendrosios geležies koaguliacijos procesams buvo sukonstruotas eksperimentinis stendas (4 pav.), kurį sudaro vandens talpykla 1, skirta pastoviam vandens lygiui palaikyti, kad išliktų pastovus debitas. Ji panardinta į pagrindinę vandens talpyklą 3, iš kurios išteka skystis, atsukus sklendę 4. Pirmasis mėginys, dar nepaveiktas garso bangų, bus paimtas į mėgintuvėlį A. Šio mėgintuvėlio turinys bus ištirtas ir nustatyta divalentės, tivalentės geležies ir bendroji geležies koncentracija vandenyje. Kiti mėginiai bus veikiami garso bangomis. Vanduo pratekės pro specialiąją pjezokeraminio ultragarso keitiklio dalį 6, kur bus paveiktas pjezokeraminio ultragarso keitiklio 7, kuris bus prijungtas prie dažnių generatoriaus 8. Galiausiai paveiktas vanduo ištekės į mėgintuvėlį A.



4 pav. Eksperimentinio stendo schema: 1 – vandens talpa pastoviam lygiui palaikyti; 2 – vamzdis; 3 – pagrindinė vandens talpykla; 4, 5 – sklendės; 6 – specialioji dalis; 7 – ultragarsinis keitiklis; 8 – stiprintuvas, A – mėgintuvėliai
Fig. 4. Scheme of test stand: 1 – Water tank for stable liquid level; 2 – tube; 3 – Main water tank; 4,5 – Valve; 6 – special piezoceramic part; 7 – ultrasound transducer; 8 – amplifier; A – test tubes

Siekiant nustatyti, kokį poveikį divalentėi ir trivalentėi geležiai daro akustinės bangos, buvo naudojami skirtingi garso dažniai nuo 8 iki 20 kHz. Iš vandens talpy-

klos 3 specialiai parinktais skirtingais debitais 0,083 l/min, 0,350 l/min ir 0,850 l/min vanduo tekėjo sukonstruotu standu. Eksperimento tikslumui užtikrinti vandens tyrimų laboratorijoje buvo paruošti plastmasiniai mėgintuvėliai su druskos rūgštis (HCl) tirpalu. Tokiu būdu buvo užfiksuotas divalentės (Fe^{2+}) ir trivalentės geležies (Fe^{3+}) kiekis, kuriam nustatyti buvo pilama 0,1 l mėginio. Po eksperimento mėginiai buvo pristatyti į vandens tyrimų laboratoriją.

Pirmasis vandens mėginys, dar nepaveiktas garso bangomis, buvo paimtas į mėgintuvėlį A, siekiant nustatyti geležies kiekį prieš bandymą. Kiti vandens mėginiai, jau paveikti garso bangomis, buvo paimti į 15 likusių mėgintuvėlių. Eksperimento metu laboratoriniams tyrimams buvo paimta 16 skirtingų mėginių:

- 1) pirmasis mėginys prieš pradėdant eksperimentą; vanduo nepaveiktas ultragarso bangomis;
- 2) penki mėginiai – po garso poveikio 8, 11, 14, 16, 20 kHz dažnio bangomis, naudojant vandens debitą 0,083 l/min;
- 3) antrasis tyrimo punktas pakartojamas su tais pačiais garso dažniais, tik naudojant didesnius vandens debitus 0,350 l/min ir 0,850 l/min.

Eksperimentinio tyrimo darbo eiga:

I. Atliekami tyrimai su minimaliu debitu 0,083 l/min

- 1) sureguliuojamas debitas, atsukamas kranelis, matuojamas debitas;
- 2) neužsukant kranelio, paimamas 1-as mėginys, nepaveiktas ultragarso bangu;
- 3) nustatomas 8 kHz garso dažnis, paimamas 2-as mėginys;
- 4) nustatomas 11 kHz garso dažnis, paimamas 3-as mėginys;
- 5) nustatomas 14 kHz garso dažnis, paimamas 4-as mėginys;
- 6) nustatomas 16 kHz garso dažnis, paimamas 5-as mėginys;
- 7) nustatomas 20 kHz garso dažnis, paimamas 6-as mėginys;
- 8) užsukamas kranelis.

II. Atliekami tyrimai su vidutiniu debitu 0,350 l/min

- 1) sureguliuojamas debitas, atsukamas kranelis, matuojamas debitas;
- 2) nustatomas 8 kHz garso dažnis, paimamas 7-as mėginys;
- 3) nustatomas 11 kHz garso dažnis, paimamas 8-as mėginys;
- 4) nustatomas 14 kHz garso dažnis, paimamas 9-as mėginys;

- 5) nustatomas 16 kHz garso dažnis, paimamas 10-as mėginys;
- 6) nustatomas 20 kHz garso dažnis, paimamas 11-as mėginys;
- 7) užsukamas kranelis.

III. Atliekami tyrimai su maksimaliu debitu 0,850 l/min

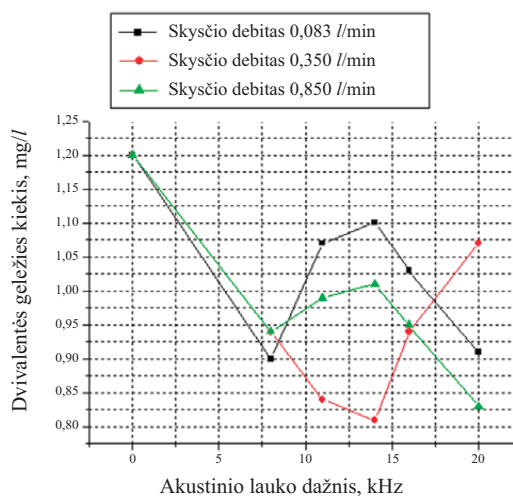
- 1) sureguliuojamas debitas, atsukamas kranelis, matuojamas debitas;
- 2) nustatomas 8 kHz garso dažnis, 12-as mėginys;
- 3) nustatomas 11 kHz garso dažnis, 13-as mėginys;
- 4) nustatomas 14 kHz garso dažnis, 14-as mėginys;
- 5) nustatomas 16 kHz garso dažnis, 15-as mėginys;
- 6) nustatomas 20 kHz garso dažnis, 16-as mėginys;
- 7) užsukamas kranelis.

Mėgintuvėliai buvo ištirti laboratorijoje ir nustatyti bendrosios, divalentės ir trivalentės geležies kiekiai. Bendrosios geležies kiekis sudarė 2,44 mg/l.

Eksperimento rezultatai

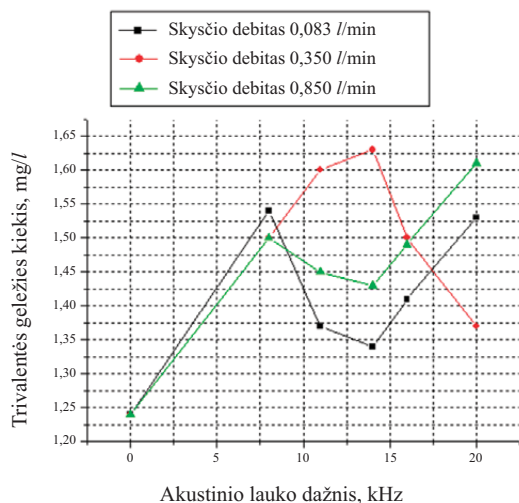
Eksperimento metu buvo nustatytas divalentės Fe^{2+} ir trivalentės geležies Fe^{3+} kiekis vandenyje, esant skirtingam skysčio tekėjimo greičiui ir garso dažniui.

Iš eksperimente gautų rezultatų matyti, kad divalentės geležies Fe^{2+} virsmą į trivalentės geležies Fe^{3+} netirpiąsias nuosėdas lemia skysčio debito ir akustinio dažnio santykis. Didžiausias oksidacijos efektas pasiektas, kai skysčio debitas yra 0,350 l/min ir esant 14 kHz dažniui. Taip pat matyti (5, 6 pav.), kad, esant kitiems skysčio debitams, geležies



5 pav. Divalentės geležies kiekio kitimas vandenyje, esant skirtingam skysčio greičiui ir garso dažniui

Fig. 5. Bivalent iron emission change in water under different water flow speed and sound frequency



6 pav. Trivalentės geležies kiekio kitimas vandenyje, esant skirtingam skysčio greičiui ir garso dažniui

Fig. 6. Trivalent iron emission change in water under different water flow speed and sound frequency

junginių virsmas nuo 14 kHz proporcingai didėja, didinant akustinio lauko dažnį. Todėl galima daryti prielaidą, kad, didinant akustinio lauko dažnį, esant 0,850 l/min vandens debitui, galima tikėtis efektyvesnės oksidacijos.

Išvados

1. Lyginant geležies pokyčius vandenyje, esant skirtingam skysčio tekėjimo greičiui ir garso dažniui, matomas dalelių oksidacijai daromas poveikis.
2. Iš gautų rezultatų matyti, kad, pradėjus veikti vandeni garso bangomis, divalentės geležies kiekio kreivė nukrito žemiau 1,2 mg/l ribos ir aukščiau nepakilo. Tai rodo, jog neįvyko kavitacijos efektas.
3. Efektyviausias oksidacijos procesas pasireiškė naudojant vidutinį vandens greitį, kai garso dažnis – 14 kHz. Nustatyta, kad divalentės geležies kiekis sumažėjo iki 0,39 mg/l.
4. Nuo vidutinio vandens greičio pradeda vykti efektyvesnis dalelių virsmas. Taigi, didinant vandens greitį ir garso dažnį, galima tikėtis efektyvesnio oksidacijos efekto.

Literatūra

- HN 24:2003 Lietuvos higienos norma „Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai“. Patvirtinta 2003 m. liepos 23 d. įsakymu Nr.V-455. 15 p.
- Sakalauskas, A.; Šulga, V.; Jankauskas J., et al. 2007. *Vandentieka. Vandens ruošimas*. Vilnius: Technika. 575 p.

Vandentvarka 41. 2012. Lietuvos vandens tiekėjų asociacijos inf. leidinys.

Викулин, П. Д. 2009. *Интенсификация процессов седиментации взвешенных веществ в сточных водах с использованием ультразвука*. Москва.

Смолюховский, М. 1916. *Теория быстрой коагуляции*. Москва. 7 с.

INVESTIGATION OF SOLID PARTICLES UNDER THE ACTION OF AN ACOUSTIC FIELD

E. Mykolaitis, A. Styra, V. Vekteris

Abstract

Iron is one of the most common elements in ground water. By the HN 24:2003 iron concentration in water can't be higher than 200 µg/l. Water treatment with an acoustic field is a very relevant topic. Acoustic field is widely used in industry, medicine, chemical industry and manufacturing. When water is affected by ultrasound, physical-chemical processes begin. Ultrasound vibrations lead to dispersion, degasation and coagulation. Iron particles connect to each other when distance between them is two times bigger than their own radius. $R = 2R$. And if this process continues particles connect one by one. In this article test stand and methods using ultrasonic piezoceramic are shown.

Keywords: coagulation, iron, metal, water treatment, ultrasound, acoustic field.