

## AKUSTINIO LAUKO ĮTAKA DALELIŲ SUKIBIMUI SKYSTYJE

Ramūnas Vilkišius<sup>1</sup>, Andrius Styra<sup>2</sup>, Vladas Vekteris<sup>3</sup>

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštai: <sup>1</sup>ramunas.vilkisius@gmail.com; <sup>2</sup>andriusstyra@yahoo.com; <sup>3</sup>vekteris@vgtu.lt

**Santrauka.** Lietuvos požeminiame vandenyje geležis yra svarbiausias komponentas, pažeidžiantis geriamojo vandens kokybės normatyvinius reikalavimus, todėl tiriamas akustinio lauko naudojimas šioms dalelėms sukibti skystyje. Šiuo metu garso virpesiai yra plačiai taikomi įvairiose pramonės šakose: metalurgijoje, chemijos ir maisto pramonėje, gaminant įrenginius ir medicinoje. Akustikos naudojimas oksidacijos procesui vandenyje sustiprinti, nusodinant stambiausias priemaišas, dar labiau išplečia šio fizikinio metodo taikymo sritį.

**Reikšminiai žodžiai:** akustinis laukas, garso dažnis, koaguliacija.

## Įvadas

Geležies koncentracijai vandenyje viršijus 0,3 mg/l, atsiranda drumstumas, metalo skonis. Didelė dalis individualaus naudojimo modernių geležies šalinimo įrenginių neužtikrina reikiamų geriamojo vandens valymo rodiklių. (Styra *et al.* 2010).

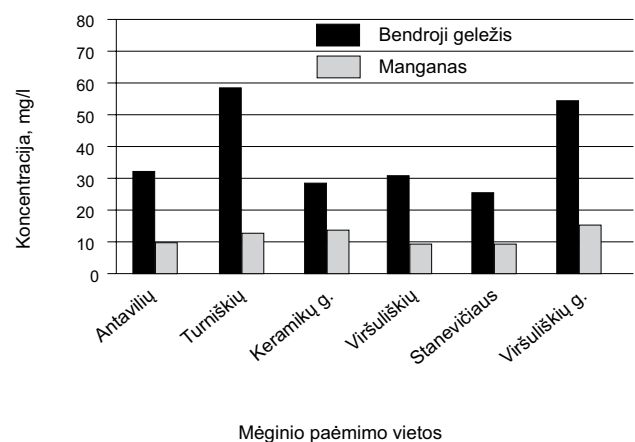
Vilniaus miesto gyventojai turi unikalią galimybę gerti požeminį vandenį iš gręžtinių šulinių, kurie yra 40–150 m gylyje. Požeminis vanduo nėra užterštas pramonės įmonių ir įvairių kitų taršos šaltinių. Tačiau šiame gręžtinių šulinių vandenyje yra dideli kiekiai gamtinės geležies ir mangano, kurių netirpios formos didina vandens drumstumą. Šie elementai veikia vandens organoleptines savybes (spalvą, skonį), nemalonaus skonio vanduo sukelia neigiamą fiziologinę reakciją net ir tada, kai nėra tiesioginės grėsmės sveikatai (Albrektienė *et al.* 2009).

Lietuvos higienos norma HN 24:2003 „Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai“ reglamentuoja, kad bendrosios geležies koncentracija geriamajame vandenyje neviršytų 200 µg/l, o drumstumas – 4 DV (HN 24:2003). Todėl UAB „Vilniaus vandenys“ bendrovėje įdiegti vandens gerinimo įrenginiai, kurie šalina iš geriamojo vandens geležį ir manganą ir mažina vandens drumstumą (HN 24:2003).

Siekiant išanalizuoti bendrosios geležies (LST ISO 6332:1998) koncentracijų kitimą vandentiekio tinkluose, buvo surinkti 2008 metų geriamojo vandens tyrimų duomenys (pateikti 1 pav.) (Albrektienė *et al.* 2009).

Akustinio lauko naudojimas, siekiant, kad geležies dalelės sukibtų vandenyje, yra aktualus, nes šiuo metu garso

virpesiai plačiai taikomi įvairiose pramonės šakose: metalurgijoje, chemijos ir maisto pramonėje, įrenginių gamyboje ir medicinoje. Akustinių virpesių naudojimas vandenyje yra nepakankamai ištirtas, todėl svarbu nustatyti, ar geležies dalelių sukibimas skystyje yra efektyvesnis veikiant garso bangą. Ištirti akustinio lauko poveikį įvairiose terpėse yra labai sudėtinga, nes vienu metu vyksta skirtingi procesai: kavitacijos, smūgio bangos, mažų srautų, liuminescencijos, kurie gali turėti abipusę įtaką. Akustikos lauko naudojimas oksidacijos procesui vandenyje sustiprinti, nusodinant stambiausias priemaišas, dar labiau išplečia šio fizikinio metodo taikymo sritį (Викунин 2009).

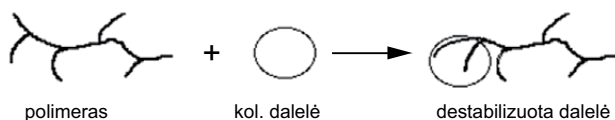


1 pav. UAB „Vilniaus vandenys“ bendrosios geležies ir mangano koncentracijos 2008 metais

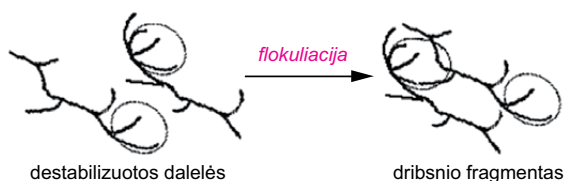
Fig. 1. The total concentration of iron and manganese in 2008

Fizikocheminiai efektai akustiniame lauke atsiranda veikiami tamprųjų vibracijų, t. y. dėl mechaninių reakcijų.

Ultragarsinis poveikis suintensyvina organinių ir neorganinių junginių skilimo reakcijas (Bergmanas *et al.* 1957) (2, 3 pav.).



**2 pav.** Polimero adsorbcija ant koloidinės dalelės  
**Fig. 2.** Polymer adsorption on colloidal particles



**3 pav.** Dribsnių susidarymas  
**Fig. 3.** The formation of flakes

Cheminės reakcijos, atsirandančios veikiant akustiniam laukui, yra skirstomos į tokius tipus:

- 1) Oksidacijos-redukcijos reakcijos tirpaluose;
- 2) Ištirpusių dujų kavitacija (burbuliukų susidarymas);
- 3) Makromolekulių, sukeliančių polimerizacijos efektą, skilimas;
- 4) Stereoizomerizacijos grandininės reakcijos.

Cheminių reakcijų aktyvinimas akustinėmis bangomis yra susijęs su akustinės kavitacijos reiškiniu, kurio metu susidaro oro burbuliukai iš submikroskopinių dujų, garų branduolių, vandenyje esančių iki milimetro skersmens dalelių, kurios pradeda pulsuoti, kai yra akustinis dažnis, ir susijungia teigiamo slėgio fazėje (Эльпинер 1973).

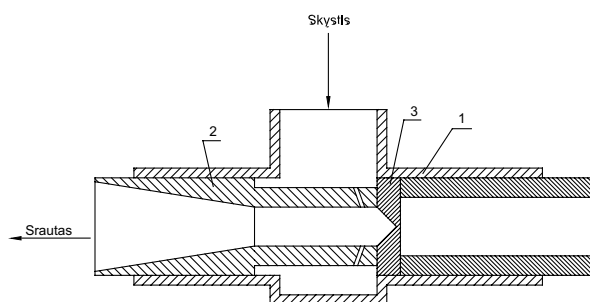
Naudojant intensyvesnes nei  $1 \cdot 10^4$  W/m<sup>2</sup> akustines bangas skystyje įvyksta kietosios terpės sproginimas. Tuščia erdvė, prisipildžiusi skysčio garų ir ištirpusių skystyje difuzinių dujų, virsta dvifaze sistema. Skysčiuose, kuriuose yra pakankamai daug ištirpusių dujų, kavitacijos procesas visada suaktyvina degazacijos procesą. Daugeliu atvejų ultragarso sukelta cheminė reakcija yra lydima dalelių emisijos, kuriai turi įtakos įvairios vandenyje esančios medžiagos (Розенберга 1967).

### Tyrimo objektas

Ežektorius – įrenginys, kuriame darbinio srauto kinetinė energija perduodama esant ežekcijos srauto betarpiško kontakto būsenai. Šie įrenginiai skirstomi pagal darbinio ir ežekcijos srauto agregatinį būvį.

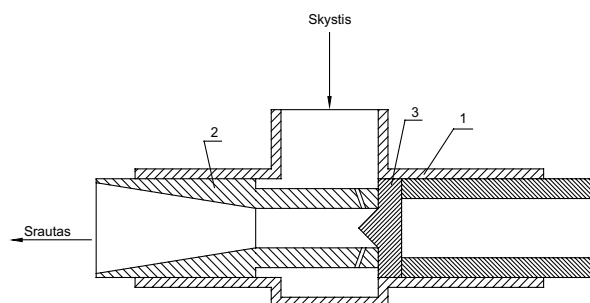
Įrenginiams, kuriuose susidaro akustinis laukas, tirti buvo sukurtos naujos ežektorių konstrukcijos.

Pirmajame specialios paskirties ežektoriuje kūgis yra plokštelės viduje (4 pav.). Jis susideda iš korpuso 1, difuzoriaus 2, kuriame tangentine kryptimi 20° kampu yra išgręžtos 2 skylutės, ir plokštelės 3, kurios viduje yra kūgio formos įdubimas. Plokštelė įtvirtinama įveržiant difuzorių 2.



**4 pav.** Pirmasis specialios paskirties ežektorius  
**Fig. 4.** The first ejector of special purpose

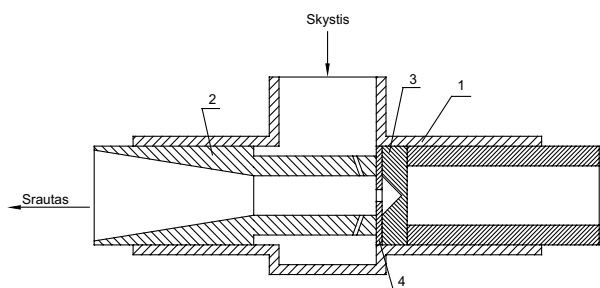
Antrajame specialios paskirties ežektoriuje kūgis yra plokštelės išorėje (5 pav.). Jis susideda iš korpuso 1, difuzoriaus 2, kuriame tangentine kryptimi yra išgręžtos 2 skylutės 20° kampu, ir plokštelės 3, kurios išorėje yra kūgio formos iškilimas. Plokštelė įtvirtinama įveržiant difuzorių 2.



**5 pav.** Antrasis specialios paskirties ežektorius  
**Fig. 5.** The second ejector of special purpose

Trečiajame specialios paskirties ežektoriuje kūgis yra plokštelės viduje, o šalia jos yra dar viena plokštelė, kurios centre yra išgręžta skylė (6 pav.). Jis susideda iš korpuso 1, difuzoriaus 2, kuriame tangentine kryptimi 20° kampu yra išgręžtos 2 skylutės, plokštelės, kurios viduje yra kūgio formos įdubimas, ir šalia jos esančios kitos plokštelės 4, kurios centre yra išgręžta skylė. Abi plokštelės įtvirtinamos įveržiant difuzorių 2.

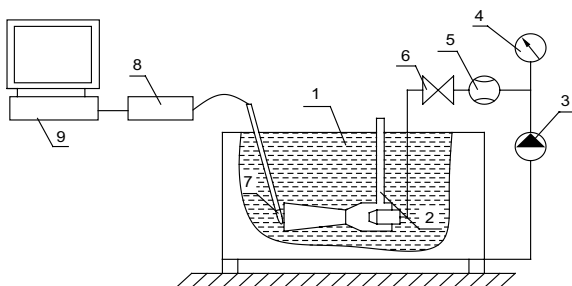
Visos šios konstrukcijos yra panašios, tik eksperimento metu keičiasi difuzoriaus vidinis skersmuo ir skylučių atstumas nuo difuzoriaus krašto.



6 pav. Trečiasis specialios paskirties ežektorius  
Fig. 6. The third ejector of special purpose

### Ekspimentiniai stendai ir tyrimo metodika

Norint ištirti šiuos specialios paskirties ežektorius buvo sukonstruotas bandymo stendas (8 pav.). Jo schema pa-vaizduota 7 paveiksle. Stendas susideda iš talpyklos 1, pripildytos vandentiekio vandens. Iš talpyklos siurbliu 3 darbinis skystis tiekiamas į ežektorių 2. Darbinio skysčio slėgis matuojamas manometru 4. Debitmačiu 5 matuojamas darbinio skysčio debitas. Vanduo tiekiamas per sklendę 6. Sklindančios akustinės bangos parametrams išmatuoti buvo naudojamas hidrofonas (Bruel &Kjaer) 7, o duomenys kaupiami duomenų kaupiklyje 8 ir apdorojami kompiuteriu 9.



7 pav. Ekspimentinio stendo schema: 1 – talpykla; 2 – ežektorius; 3 – vandens siurblys; 4 – manometras; 5 – debitmatis; 6 – reguliuojama sklendė; 7 – hidrofonas (Bruel &Kjaer); 8 – duomenų kaupiklis; 9 – kompiuteris

Fig. 7. Scheme for an experimental stand: 1 – tank; 2 – ejector; 3 – water pump; 4 – manometer; 5 – flowmeter; 6 – adjustable valve; 7 – hydrophone (Bruel &Kjaer); 8 – data collection; 9 – PC



8 pav. Ekspimentinis stendas

Fig. 8. Experimental stand

Atliekant eksperimentinius tyrimus buvo naudoti tokie parametrai:

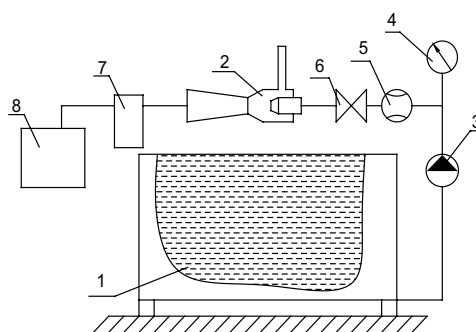
- vandens slėgis  $P = 8$  bar;
- vandens debitas  $Q = 0,24$  l/s;
- vandens temperatūra  $t = 18$  °C.

Ekspimentas atliekamas tokia tvarka:

- Įjungus vandens siurbli, pagal monometro rodmenis nustatomas vandens slėgis  $P = 6$  bar. Panardintu į vandenį hidrofonu, kaip parodyta eksperimentinio stendo schemoje (6 pav.), matuojama ežektoriuje susidariusi akustinė banga;
- Nustatomas vandens slėgis  $P = 7$  bar. Vėl panardinamas į vandenį hidrofonas ir matuojama susidariusi akustinė banga;
- Nustatomas vandens slėgis  $P = 8$  bar. Vėl panardinamas į vandenį hidrofonas ir matuojama susidariusi akustinė banga;
- Nustatomas vandens slėgis  $P = 9$  bar. Panardintu į vandenį hidrofonu matuojama susidariusi akustinė banga;
- Nustatomas vandens slėgis  $P = 10$  bar. Panardintu į vandenį hidrofonu matuojama susidariusi akustinė banga.

Tokių principu bandymas kartojamas visoms naujai sukurtooms ežektorių konstrukcijoms. Iš jų buvo parinkta keletas konstrukcijų, kuriose akustinės bangos rodmenys yra didžiausi.

Antrasis eksperimentas buvo atliekamas toms pačioms ežektorių konstrukcijoms, esant jau gautiems didžiausiems akustinės bangos rodmenims. Tikslas – išvalyti iš vandens geležį pagal sukonstruotą antrąjį stendą (9 pav.).

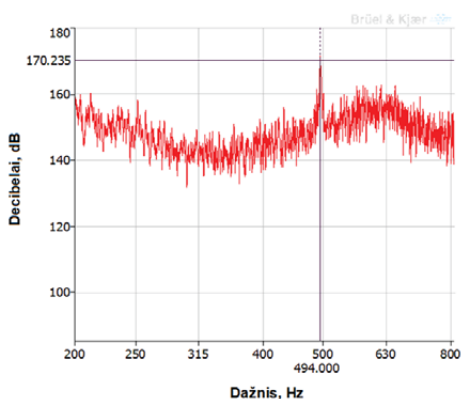


9 pav. Geležies valymo iš vandens eksperimentinio stendo schema: 1 – talpykla; 2 – ežektorius; 3 – vandens siurblys; 4 – manometras; 5 – debitmatis; 6 – reguliuojama sklendė; 7 – vandens filtras; 8 – išvalyto vandens talpykla

Fig. 9. Scheme for iron treatment from the experimental stand of water: 1 – tank; 2 – ejector; 3 – water pump; 4 – manometer; 5 – flowmeter; 6 – adjustable valve; 7 – water filter, 1µm; 8 – tank of treated water

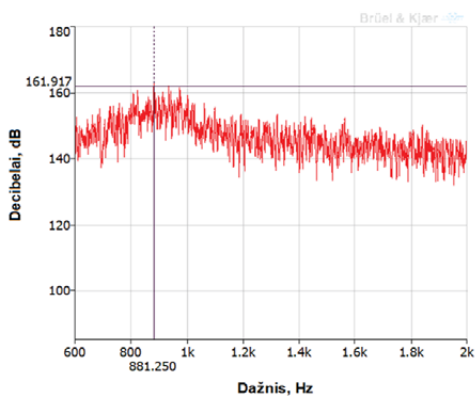
## Eksperimentų rezultatai

Akustinio lauko rezultatai pateikti 10–14 paveiksluose.



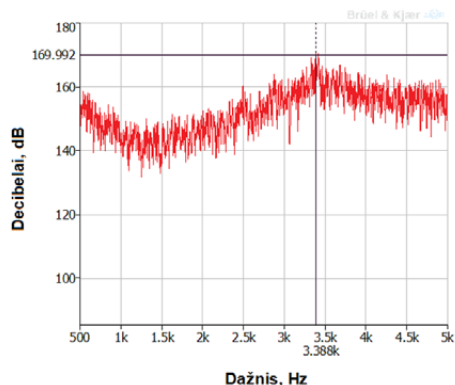
**10 pav.** Garso slėgio 170,235 dB priklausomybė nuo dažnio 494,000 Hz

**Fig. 10.** The dependence of sound pressure of 170,235 dB on the frequency of 494,000 Hz



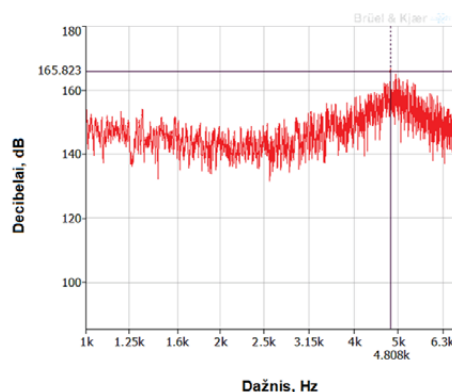
**11 pav.** Garso slėgio 161,917 dB priklausomybė nuo dažnio 881,250 Hz

**Fig. 11.** The dependence of sound pressure of 161,917 dB on the frequency of 881,250 Hz



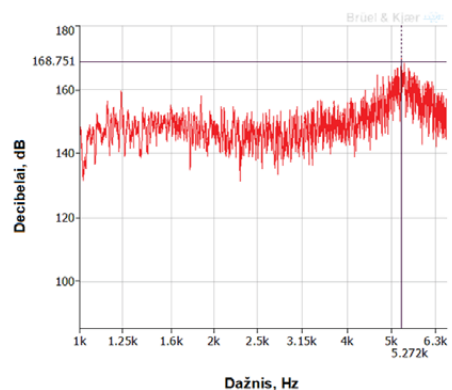
**12 pav.** Garso slėgio 169,992 dB priklausomybė nuo dažnio 3,388 kHz

**Fig. 12.** The dependence of sound pressure of 169,992 dB on the frequency of 3,388 kHz



**13 pav.** Garso slėgio 165,823 dB priklausomybė nuo dažnio 4,808 kHz

**Fig. 13.** The dependence of sound pressure of 165,823 dB on the frequency of 4,808 kHz

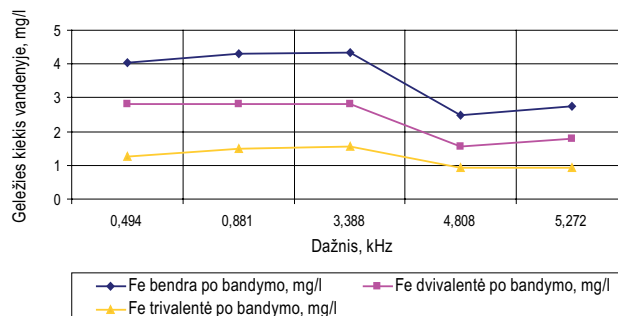


**14 pav.** Garso slėgio 168,751 dB priklausomybė nuo dažnio 5,272 kHz

**Fig. 14.** The dependence of sound pressure of 168,751 dB on the frequency of 5,272 kHz

Per antrąjį eksperimentinį tyrimą buvo nustatomas divalentės ir trivalentės geležies junginių kiekio kitimas naudojant skirtingus akustinio lauko dažnius.

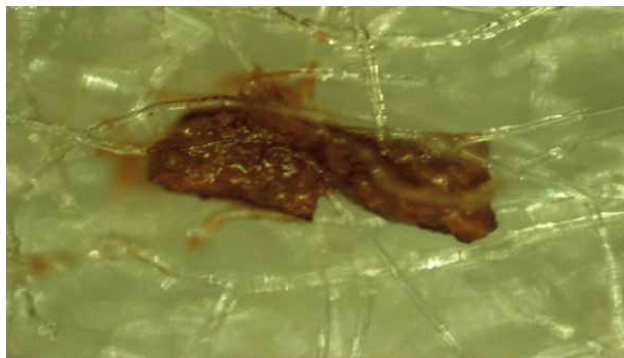
Gauti rezultatai pavaizduoti 15 paveiksle.



**15 pav.** Bendrosios, divalentės ir trivalentės geležies kiekio kitimo vandenyje, esant skirtingiems akustinio lauko dažniams, grafikas

**Fig. 15.** Diagram of changes in the amount of general ferrous and ferric flow in water under different frequencies of the acoustic field

Iš 15 paveikslo matyti, kad esant skirtingiems dažniams geležies išvalymas iš vandens yra skirtingas. Tai rodo, kad esant didesniai akustinio lauko dažniui geležies dalelės sukimba į didesnius agregatus, kurie filtruojant mechaniniu filtru lengviau pasišalina iš vandens (16 pav.).



**16 pav.** Eksperimento metu koaguliavusios dvi geležies dalelės (padidinta 50 kartų)

**Fig. 16.** Two iron particles coagulated during the experiment (increased 50 times)

### Išvados

1. Aukštesnis akustinio lauko dažnis skystoje terpėje sukelia dalelių koaguliaciją.
2. Akustinio lauko panaudojimas sustiprina oksidacijos procesą vandenyje, todėl divalentės geležies jonų pavertimas netirpia trivalentės geležies junginiais greitėja.
3. Didinant akustinio lauko dažnį vandenyje, greitėja dalelių koaguliacija ir jų nusodinimas.

### Literatūra

- Albrektienė, R., *et al.* 2009. Geležies, mangano ir drumstumo kitimas Vilniaus miesto vandentiekyje, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 1(1): 5–9.
- Bergmanas, L. 1957. *Ultragarso naudojimas pramonėje*. Oksfordas. 726 p.
- HN 24:2003 Lietuvos higienos norma „Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai“. Patvirtinta 2003 m. liepos 23 d. įsakymu Nr.V-455. 15 p.
- Styra, A.; Striška, V.; Mokšin, V. 2010. Geriamojo vandens aeravimo sistemų efektyvumo tyrimas, *Mokslas – Lietuvos ateitis* 2(4): 50–52.
- Викулин, П. Д. 2009. *Интенсификация процессов седиментации взвешенных веществ в сточных водах с использованием ультразвука*. Москва.
- Эльпинер, И. Е. 1973. Биофизика ультразвука, *Наука* 1(3): 384–400. Москва.
- Розенберга, Л. Д. 1967. Физика и техника мощного ультразвука, *Наука* 1(3): 70–166. Москва.

### RESEARCH ON THE INFLUENCE OF AN ACOUSTIC FIELD ON PARTICLE COHESION IN LIQUID

R. Vilkišius, A. Styra, V. Vekteris

#### Abstract

Iron is one of the most common natural elements. When iron concentration in water is more than 0,3 mg/l, it causes the formation of rust drain tag or changes the colour of the fabric during washing. Thus, the use of the acoustic field to improve water quality is a very relevant topic. Acoustic oscillations are currently widely used in various industrial sectors, including water treatment, metallurgy, chemical and food industry, equipment manufacturing and medicine. When materials are affected by acoustic fields, physical-chemical processes begin. Acoustic fields cause material dispersion, emulsification, coagulation and degassing (gas removal) as well as influence the crystallization and melting processes. Acoustic vibrations may also cause various chemical transformations such as oxidation, polymerization processes and depolymerisation. The utilization of acoustics to enhance water oxidation and precipitation of coarse impurities further extends the scope of the use of this physical method.

**Keywords:** acoustic field, sound frequency, coagulation.