



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

VANDENTVARKOS KATEDRA

Vaida Verikienė

VAMZDYNŲ NUOGULŲ TYRIMAS IR APIBŪDINIMAS

THE RESEARCH AND CHARACTERIZATION OF PIPELINE SCALES

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62404T105

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

VANDENTVARKOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Mindaugas Rimeika
(Vardas, pavardė)

(Data)

Vaida Verikienė

VAMZDYNŲ NUOGULŲ TYRIMAS IR APIBŪDINIMAS

THE RESEARCH AND CHARACTERIZATION OF PIPELINE SCALES

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62404T105

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas doc. dr. Marina Valentukevičienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2010

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
VANDENTVARKOS KATEDRA

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 62404T105

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Mindaugas Rimeika

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

2009-09-30 Nr. M-10-51
Vilnius

Studentei Vaidai Verikienei

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Vamzdyno nuogulų tyrimas ir apibūdinimas

patvirtinta 2009 m. lapkričio 30 d. dekanų potvarkiu Nr. 341ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2010 m. birželio 8 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Techninės–mokslinės informacijos šaltinių apžvalga apie įvairiose šalyse nagrinėjamas vamzdynų nuogulų susidarymo priežastis. Parengti eksperimentinio tyrimo metodiką vamzdynų nuoguloms nagrinėti. Laboratorijoje sumontuotame stende atlikti eksperimentinius tyrimus. Nustatyti nuogulų kiekybinę (ChDS_{Cr} pokyčiai, esant skirtingai vandens išbūvimo trukmei vamzdyne) ir kokybinę sudėtį (geležies, mangano junginių, amonio jonų, nitritų ir nitratų koncentracijas vandenyje). Nustatyti vamzdyno nuogulų granulimetrinę sudėtį. Parengti išvadas bei siūlymus nuogulų susidarymo priežastims išvengti ir pasekmėms sutvarkyti.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: Regina Žukienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas

.....

(Parašas)

dr./doc. Marina Valentukevičienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....

(Parašas)

Vaida Verikiene

(Vardas, pavardė)

.....

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Vandentvarkos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk. 3
Data 2010-06-08

Antrosios pakopos studijų **Vandens ūkio inžinerijos** programos baigiamasis darbas

Pavadinimas **Vamzdyno nuogulų tyrimas ir apibūdinimas**

Autorius **Vaida Verikienė**

Vadovas doc. dr. **Marina Valentukevičienė**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Baigiamajame magistro darbe „Vamzdyno nuogulų tyrimas ir apibūdinimas“, apžvelgus mokslinės literatūros šaltinius, apibūdintas ant vamzdžių vidinių sienelių susidarančios nuogulos, kurių sudėtyje vyrauja geležies junginiai. Nagrinėjama, kokią įtaką vandens kokybei turi ant skirtingų medžiagų vamzdžių vidinių sienelių susidariusios nuogulos. Aptariama, kokios dėl nuogulų susidarymo iškyla problemos vandentiekio sistemoje.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto Vandentvarkos katedros laboratorijoje buvo atliktas eksperimentas, sumontavus du eksperimentinius standus. Juos sudarė skirtingų medžiagų (PE, cinkuoto plieno ir seno plieno) vamzdynų sistemos, kuriomis cirkuliavo skirtingos kokybės vanduo. Buvo nustatyta kiekybinė ir kokybinė nuogulų sudėtis. Kiekybinė sudėtis apibūdinta $ChDS_{Cr}$ pokyčiu, esant skirtingai vandens išbuvimo trukmei vamzdyne. Kokybinę sudėtį apibūdina geležies, mangano junginių, amonio jonų, nitritų ir nitratų koncentracijos vandenyje. Tai pat nustatyta vamzdyno nuogulų granulimetrinė sudėtis.

Atlikus tyrimus paaiškėjo, kad bendrosios geležies koncentracija mažiausia buvo PE, o didžiausia – seno plieno vamzdyno mėginiuose. PE vamzdyne mangano koncentracija didėjo ilgėjant vandens užsistovėjimo trukmei. Amonio jonų, nitritų ir nitratų kiekiai mėginiuose neviršijo higienos normų. PE vamzdynų nuogulų $ChDS_{Cr}$ rodikliai buvo mažiausi abiejuose stenduose. Palyginus eksperimentinių standų nuogulų mėginių rezultatus, paaiškėjo, kad $ChDS_{Cr}$ reikšmės priklauso nuo vandens kokybės, kuris tekėjo vamzdynais. Nustatyta, kad tiek ketaus, tiek plieninio vamzdyno nuogulų pagrindinę dalį sudaro dalelės, kurių dydis mažesnis už 0,2 mm.

Darbo rezultatai gali būti praktiškai taikomi įvairioms įmonėms, mokslo įstaigoms bei valstybinės institucijoms, kurių darbas yra susijęs su geriamojo vandens tiekimu.

Darbo apimtis – 54 p. teksto be priedų, 18 paveikslų, 3 lentelės, 38 moksliniai šaltiniai.

Atskirai pridedami darbo priedai.

Prasminiai žodžiai: vamzdyno nuogulos, korozija, bioplėvelė, bendroji geležis, manganas, drumstumas, vandens kokybė, granulimetrinė sudėtis.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Water Management

ISBN ISSN
Copies No. 3
Date 2010-06-08

Master Degree Studies **Water Economy Engineering** study programme Master's Thesis

Title: **The research and characterization of pipeline scales**

Author **Vaida Verikienė**

Academic supervisor **Assoc Prof Dr Marina Valentukevičienė**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

In the Master's Thesis "The research and characterization of pipeline scales" the literature review of scientific sources was described pipeline scales which contains predominantly iron compounds. The impact of water quality on the pipeline scales was investigated. Negative impact of the formation of pipeline scales on water distribution system was analysed.

Experimental investigation was carried out in the laboratory scaled equipment at Water Management Department of VGTU. Experimental pipelines consist of different materials (galvanized steel, old steel and polyethylene (PE)) pipe system with circulated different water quality. The quantitative and qualitative composition of the scales was measured. The quantitative composition was described of the change of COD under different water age in to the different pipelines. The qualitative composition was described by iron, manganese compounds, ammonium, nitrite and nitrate concentrations in water. It was also set the particle size content of pipeline scales.

Results showed that the lowest iron concentration was in PE pipe samples and the highest in an old steel pipe samples. The concentration of manganese increased with increasing duration of water age in PE pipe. Ammonium ions, nitrite and nitrate levels didn't exceed the requirements of hygiene norm. The lowest COD rates were in PE pipe scales in both laboratory scaled equipments. It was found that COD values depend on the quality of water that circulated in pipeline. It was found that the main part of particles size was less than 0.2 mm in the iron and steel pipe scales.

The generalized conclusions and results of the work can be useful for research institutions, enterprises and state institutions engaged in water distribution system.

Thesis consist of: 54 p. text without appendixes, 18 pictures, 3 tables, 38 scientific sources.

Appendixes included.

Keywords: pipeline scales, corrosion, biofilm, iron, manganese, turbidity, water quality, size distribution.

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS.....	7
LENTELIŲ SĄRAŠAS.....	7
ĮVADAS.....	8
PAGRINDINĖS SĄVOKOS IR SUTRUMPINIMAI.....	9
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	10
1.1. Vamzdyno nuogulų apibūdinimas.....	10
1.2. Vamzdyno nuogulų susidarymo priežastys.....	14
1.2.1. Ištirpusio deguonies koncentracija.....	14
1.2.2. Vandens pH ir šarmingumas.....	15
1.2.3. Sulfatai ir chloridai.....	15
1.2.4. Temperatūros įtaka.....	16
1.2.5. Vandens tekėjimo greitis.....	19
1.2.6. Bioplėvelės formavimosi ypatumai.....	19
1.3. Vamzdyno nuogulų poveikis vandentiekio tinklams.....	20
2. EKSPERIMENTINĖ DALIS.....	24
2.1. Eksperimentinių tyrimų metodika.....	24
2.2. Vandens kokybės analizių nustatymas.....	27
2.3. Vamzdynų nuogulų granulimetrinės sudėties nustatymo metodika.....	31
3. EKSPERIMENTINIAI DUOMENYS IR JŲ APTARIMAS.....	34
3.1. Skendinčių medžiagų koncentracija ir drumstumas.....	34
3.2. Vamzdyno nuogulų kaupimąsi įtakuojančiųjų analizių vertinimas.....	35
3.3. Vamzdynų nuogulų granulimetrinės sudėties rezultatai.....	47
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS.....	49
LITERATŪRA.....	51
PRIEDAI.....	55

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Skaitmeninis korozijos nuogulų vaizdas 90 metų senumo ketaus vamzdyje.	11
2 pav. Skersinis korozijos nuogulų gumburėlio pjūvis.	12
3 pav. Galimas vandens temperatūros poveikis geležies korozijai.	17
4 pav. Eksperimentiniai stendai	24
5 pav. Eksperimentinis stendas Nr.1	25
6 pav. Vandens mėginiai	26
7 pav. Eksperimentinis stendas Nr.2	27
8 pav. Nuogulos trinamos grūstuvėliu porcelianinėje lėkštelėje.	32
9 pav. Nuogulų dalelės, likusios ant kiekvieno sieto, supiltos į porcelianinius dubenėlius.	33
10 pav. Skendinčių medžiagų (SM) koncentracijos priklausomybė nuo drumstumo grafikas.	34
11 pav. Bendrosios geležies koncentracijos cinkuoto plieno vamzdyje (5) priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas.	39
12 pav. Bendrosios geležies koncentracijos priklausomybės nuo vandens drumstumo grafikas stendų Nr.1 ir Nr.2 vamzdynuose.	40
13 pav. Mangano koncentracijos PE vamzdyje (4) priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas.	41
14 pav. Mangano koncentracijos priklausomybės nuo vandens drumstumo grafikas stendų Nr.1 ir Nr.2 vamzdynuose.	42
15 pav. Mangano priklausomybės nuo bendrosios geležies grafikas stendų Nr.1 ir Nr.2 vamzdynuose.	43
16 pav. Amonio jonų koncentracijos priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas.	44
17 pav. ChDS_{Cr} priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas.	46
18 pav. Ketaus ir plieninio vamzdžio nuogulų granulimetrinė sudėtis.	48

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Metalų junginio su kitu junginiu tūrio santykio reikšmės.	18
2 lentelė. Eksperimentinių stendų mėginių analizės duomenys.	35
3 lentelė. Vamzdynų nuogulų granulimetrinė sudėtis.	47

IVADAS

Lietuvoje geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimus nustato Lietuvos higienos norma HN 24:2003 „Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai“. Daugelio eksploatuojamų vandenviečių požeminis vanduo neatitinka šios higienos normos reikalavimų, todėl turi būti gerinamas vandens ruošimo įrenginiuose. Tačiau vanduo, paruoštas vandens ruošimo įrenginiuose iki normos reikalavimų, tekėdamas vamzdynais gali pakeisti savo savybes dėl sąveikos su vamzdynu, dezinfekanto likutine koncentracija ir dėl reakcijų su vandenyje esančiais organiniais ir neorganiniais junginiais (Ramirez *et al.* 2009). Vandens kokybei didelę įtaką turi ant vamzdžių vidinių sienelių susidariusios nuogulos (Tang *et al.* 2006; Echeverria *et al.* 2009). Nuogulų susidarymo intensyvumą skirtingai įtakoja vamzdyno medžiaga, tiekiamo vandens kokybė, vandens vartojimo pobūdis ir kt. Nuogulų susidarymas vandentiekio tinkle yra didžiulė problema, ir ne tik techninė, bet ir ekonominė.

Darbo tikslas – apibūdinti ant vamzdyno vidinio paviršiaus susidarančias nuogulas ir nustatyti vamzdynų nuogulų pokyčius vienodo ilgio, bet skirtingų medžiagų vandentiekio vamzdynuose, atliekant tyrimus laboratorijoje eksperimentiniame stende.

Darbo uždaviniai:

1. Atlikti techninės–mokslinės literatūros apžvalgą apie įvairiose šalyse nagrinėjamas vamzdyno nuogulų susidarymo priežastis.
2. Parengti eksperimentinio tyrimo metodiką vamzdyno nuoguloms nagrinėti.
3. Laboratorijoje sumontuotame stende atlikti eksperimentinius tyrimus.
4. Nustatyti nuogulų kiekybinę ir kokybinę sudėtį. Kiekybinė sudėtis apibūdinama $ChDS_{Cr}$ pokyčiu per atitinkamą laiko tarpą. Kokybinę sudėtį apibūdina geležies, mangano junginių, amonio jonų, nitritų ir nitratų koncentracijos vandenyje.
5. Nustatyti vamzdyno nuogulų granuliometrinę sudėtį.
6. Parengti išvadas bei siūlymus nuogulų susidarymo priežastims išvengti ir pasekmėms sutvarkyti.

PAGRINDINĖS SĄVOKOS IR SUTRUMPINIMAI

Analitė – geriamojo vandens mėginyje nustatomas komponentas.

Cheminis deguonies suvartojimas (ChDS) – tai deguonies kiekis (arba oksidatoriaus kiekis, perskaičiuotas į deguonį), reikalingas visiškai suoksiduoti vandens mėginyje esančioms organinėms medžiagoms iki mineralinių komponentų.

Geriamasis vanduo – vanduo, kurio savybės atitinka Lietuvos higienos normą HN 24:2003 „Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai“.

Geriamojo vandens vartojimo vietos – vartotojams priklausančių pastatų vidaus vandentiekio čiaupai, vandens kolonėlės, geriamojo vandens naudojimo maisto tvarkymo įmonėse vietos ir talpyklų, skirtų geriamajam vandeniui gabenti, ištakiai.

Granulimetrinė sudėtis – kiekybinė mineralinių nuogulų dalelių sudėtis.

Korozija – tai metalų irimas dėl fizikinės ir cheminės sąveikos su aplinka, kai metalas pereina į oksiduotą būklę ir praranda jam būdingas savybes.

Mėginys – analizuojamoji medžiaga, paruošta ir skirta oficialiam tyrimui ar nustatymui.

PE – polietilenas.

PVC – polivinilchloridas.

Skendinčiosios medžiagos (SM) – tai netirpios vandenyje, pakibusios kietosios medžiagos, kurios yra sunkesnės už vandenį.

Vandentiekio tinklas – vamzdynas ir pagalbiniai statiniai išgautam ir (arba) paruoštam vandeniui paskirstyti po rūpinamąją teritoriją ir patiekti į vartotojų įvadus.

Vandentiekio vanduo – vandentiekiu patiektas vartojimui vanduo.

Vandentiekis – inžinerinių įrenginių kompleksas vandeniui išgauti, ruošti ir tiekti, aprūpinantis tam tikrą vartotojų grupę pageidaujamos kokybės vandeniu.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Vamzdyno nuogulų apibūdinimas

Geriamojo vandens tiekimo sistemoje nuolatos vyksta įvairūs fiziniai, cheminiai ir biologiniai procesai, kurių metu susidaro įvairios sudėties nuosėdos ir nuogulos (Verberk *et al.* 2009; Rubulis *et al.* 2008; Echeverria *et al.* 2009). Dalelės, kurių vidutinis dydis 0,01 mm, gali judėti vandentiekyje veikiant vandens srauto turbulencijos jėgai (Rubulis *et al.* 2008). Vandentiekio vamzdyne nuolat vyksta korozijos procesai, ypač plieniniuose ir ketiniuose vamzdžiuose, kurie neapsaugoti arba nepakankamai apsaugoti nuo korozijos (Nawrocki *et al.* 2010). Pagal susidarymo pobūdį nuogulos skirstomos į dugnines ir ištisines, pagal kilmę – į gurvulines ir biologines (Sakalauskas *et al.* 2007).

Vamzdynuose, kuriais teka kalcio karbonatu persotintas vanduo, susidaro ištisinės nuogulos. Tuo atveju, kai iš vandens dar nusėda ir drumzlių, kalcio karbonatas jas sucementuoja ir latake susidaro tvirtas sunkiai pašalinamas storesnis ištisinis nuogulų sluoksnis (Sakalauskas *et al.* 2007).

Kai vanduo teka nedideliu greičiu, pagreitėja dugninių nuogulų susidarymas. Dugninių nuogulų susidarymą sukelia ir trivalentės geležies hidroksidas. Geležies hidroksidas esant mažesniems vandens srauto greičiams, iškrenta į nuosėdas, sutankėja ir cementuojasi su kitomis iškritusiomis nuosėdomis (Sakalauskas *et al.* 2007).

Gurvulinės nuogulos susidaro ant plieninių ir ketinių vamzdžių vidinių neapsaugotų arba silpnai apsaugotų nuo korozijos paviršių, kuriais teka korozinių savybių turintis vanduo. Nuogulas sudaro netaisyklingos formos iki 20–30 mm aukščio kartais susiliejęntys vienas su kitu geležies junginių gurvolių (Sakalauskas *et al.* 2007). Pagrindinės gurvulinių nuogulų sudedamosios dalys: getitas, lepidokrokitas, magnetitas, sideritas, hematitas ir įvairovė grynų rūdžių su karbonatais, sulfatais ir chloridais (1 pav.) (Ramirez *et al.* 2009; Tang *et al.* 2006; Gerke *et al.* 2008; Nawrocki *et al.* 2010; Zhang *et al.* 2008; Baronaitė 2009; Sarin *et al.* 2003; Sarin *et al.* 2004b).



1 pav. Skaitmeninis korozijos nuogulų vaizdas 90 metų senumo ketaus vamzdyje.

G – getitas (α -FeOOH); L – lepidokrokitas (γ -FeOOH); M – magnetitas (Fe_3O_4); Q – kvarcas (SiO_2); D – dolomitas ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$); C – kalcitas (CaCO_3) (Gerke *et al.* 2008).

Vieno metro korodavusio 100 mm skersmens vamzdyje gali būti net 1–2 kg korozijos produktų (nuogulų). Tačiau tai nereiškia, kad tokie nuogulų kiekiai būna visuose korodavusiuose vamzdžiuose, tai priklauso nuo korozijos masto (Nawrocki *et al.* 2010).

Vamzdynuose, kurie pakloti tuo pačiu metu, nuogulos gali skirtis (Gerke *et al.* 2008). Gerke su kitais mokslininkais 2008 metais atlikto eksperimentą, kurio metu nagrinėjo ant ketaus vamzdžio vidinio paviršiaus susidariusias nuogulas. Buvo nagrinėjami tos pačios geriamojo vandentiekio sistemos vamzdžių segmentai, tačiau paimti iš skirtingų vietų. Tarp pirmųjų dviejų atstumas buvo 0,8 km, o trečiasis nutolęs 24 km. Iš trečiojo taško buvo gauta gyventojų nusiskundimų dėl vandens spalvos. Buvo paimti penki nuogulų mėginiai. Rezultatai parodė, kad morfologiškai korozijos nuogulas galima suskirstyti į dvi grupes: vienos branduolį sudaro minkšta rusvos spalvos medžiaga su kietomis juodos spalvos gyslomis, antra turi branduolį, daugiausia susidedantį iš kietos juodos spalvos medžiagos. Nustatyti trys pagrindiniai geležies mineralai: getitas, lepidokrokitas ir magnetitas. Šie trys mineralai nustatyti visuose mėginiuose, tačiau skiriasi jų proporcijos. Todėl galima teigti, kad vienoje geriamojo vandentiekio sistemoje vyrauja nuogulų įvairovė (Gerke *et al.* 2008).

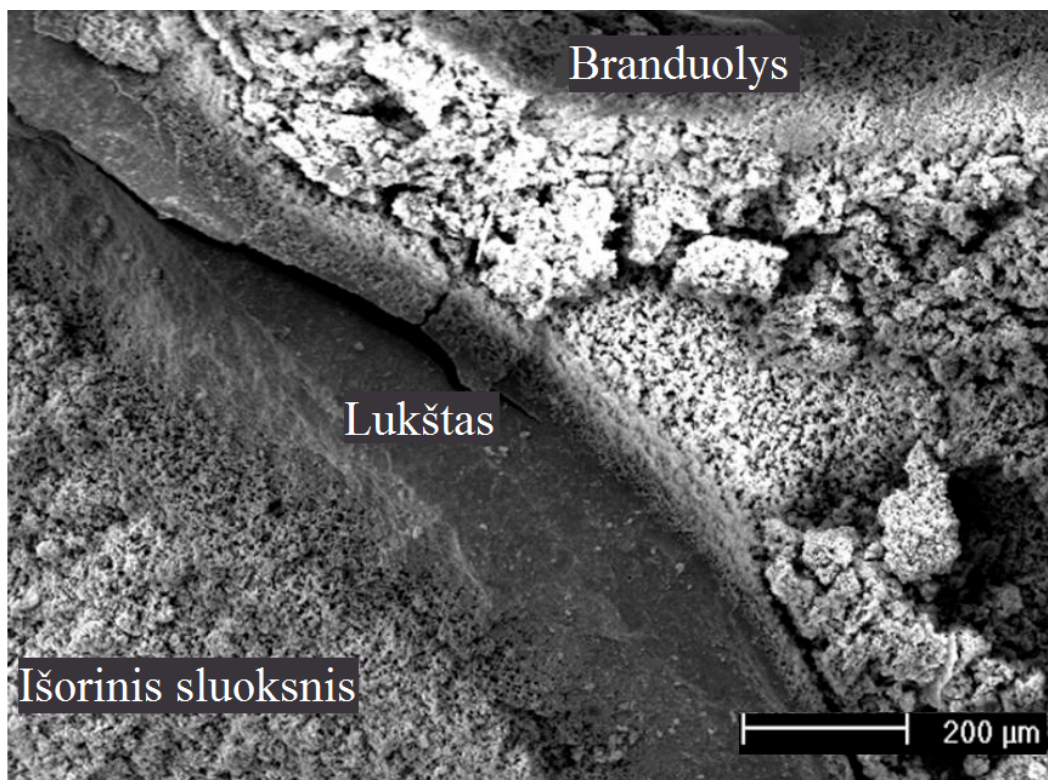
Eksperimentais taip pat nustatyta, kad skirtingų medžiagų vamzdynuose susidaro skirtingos kokybės ir kiekybės nuogulų sluoksniai (Tang *et al.* 2006; Christian *et al.* 2008; Echeverria *et al.* 2009; Gerke *et al.* 2008; Ramirez *et al.* 2009).

Echeverria su kitais mokslininkais 2009 metais nagrinėjo trijose skirtingose geriamojo vandentiekio sistemose susidariusius vamzdynų nuogulų sluoksnius. Nors vanduo į kiekvieną ruošimo įrenginį buvo tiekiamas iš dviejų skirtingų šaltinių, vandens ruošimo metodai buvo panašūs. Vandentiekio tinklą pagrinde sudarė gelžbetonis (apie 54 %), kalusis ketus (apie 27 %) ir plienas (10 %). Mėginiai buvo imti iškart po vandens ruošimo ir tose vietose, kur buvo nustatyta

bloga vandens kokybė. Mėginiai buvo džiovinami 48 valandas 40 °C temperatūroje, o po to sutrinami. Rezultatai parodė, kad vamzdyne susidaro trys pagrindinės nuogulų rūšys:

- rudosios nuogulos susidaro visame vamzdyne;
- nuogulų gumburėliai susidaro ant metalinio (plieno ir ketaus) vamzdžio paviršių;
- baltosios nuogulos susidaro tik tam tikrose vamzdžio vietose (Echeverria *et al.* 2009).

Atlikus elektroninę mikroskopinę analizę paaiškėjo, kad rudųjų nuogulų yra skirtinga morfologija ir sudėtis. Pagrindiniai jų komponentai daugumoje mėginių: anglis (C), deguonis (O), aliuminis (Al), silicis (Si), manganas (Mn), geležis (Fe), kalcis (Ca) ir magnis (Mg). Tuo tarpu nuogulų gumburėliai morfologiškai ir chemiškai vienodi visoje sistemoje. Taip pat nustatyta, kad nuogulas sudaro trys skirtingos dalys: branduolys, kietas ištisinis lukštas ir išorinis sluoksnis (2 pav.) (Echeverria *et al.* 2009).



2 pav. Skersinis korozijos nuogulų gumburėlio pjūvis (Echeverria *et al.* 2009).

Tang su kitais mokslininkais 2006 metais atliko eksperimentą, kurio metu naudojo skirtingo amžiaus ir medžiagų (PVC, kaliojo ketaus, ketaus ir cinkuoto plieno) vamzdžius. Vamzdžiai ilgą laiką buvo naudojami vandentiekyje, kuriuo buvo tiekiamas paruoštas požeminis vanduo. Jie nustatė, kad tarp tos pačios medžiagos vamzdžių mėginių nebuvo jokio akivaizdžiai matomo skirtumo. Ketaus vamzdžių paviršius buvo padengtas storu korozijos produktų sluoksniu, kiek plonesnis sluoksnis susidarė ant cinkuoto plieninio vamzdžio paviršiaus. Kaip ir buvo tikėtasi, mažiausi nuogulų sluoksniai susidarė ant kaliojo ketaus ir PVC vamzdžių paviršiaus.

Nustatyta, kad PVC ir metalinių (pvz., ketaus) vamzdynų medžiaga skirtingai veikia mangano nuosėdų susidarymą (Cerrato *et al.* 2006; Cerrato *et al.* 2008). Cerrato ir kiti mokslininkai 2008 metais nagrinėjo, kaip PVC (15 metų senumo) ir ketinių (30 metų senumo) vamzdžių medžiaga veikia mangano junginių koncentracijos padidėjimą geriamojo vandentiekio sistemoje. Jie nustatė, kad bendroji mangano koncentracija vandenyje buvo didesnė (net 35 kartus) ir vanduo buvo juodesnis PVC vamzdyne nei ketiniame. Tai galima paaiškinti tuo, kad PVC medžiaga yra nepolinė ir negali keistis elektronais su manganu, kuris prisitvirtina prie vamzdžio paviršiaus ir suformuoja nuogulas. Nuogulos iš PVC vamzdžių būna rudos spalvos ir lipnios struktūros, išdžiūvusios primena sudužusio kiaušinio lukštą. Vandens tekėjimo sukeltas slėgis tarp vandens ir vamzdžio paviršiaus skatina mangano išsiskyrimą iš vamzdžio nuogulų. Tuo tarpu ketinis vamzdis vidiniame paviršiuje turi daug elektronų, kuriais gali keistis su manganu. Elektroniniu mikroskopavimu Cerrato ir kiti mokslininkai 2006 ir 2008 metais nustatė, kad manganas įsiskverbia į geležies gumburėlius ir todėl ne taip lengvai patenka į vandens srovę. Tiek PVC, tiek ketinio vamzdžio vidinio paviršiaus plėvelėje jie aptiko mangano oksiduojančių bakterijų, tačiau jų kiekis didesnis buvo PVC vamzdžio nuogulose (Cerrato *et al.* 2008). Mangano koncentracija vandenyje gali padidėti ir vandeniui užsistovint vamzdyne. Pavyzdžiui, mangano koncentracija daug didesnė užsistovėjusiam vandenyje iš hidrantų nei tekančiame vandenyje (Nawrocki *et al.* 2010). Tyrimais nustatyta, kad geležies koncentracija didėja, o mangano koncentracija – mažėja didėjant nuotoliui nuo vandens ruošimo įrenginių (Gražulevičienė *et al.* 2009).

Dažnai vandentiekio vandenyje būna mikroorganizmų, kurie išlieka tiekiamame vandenyje po ruošimo proceso ar patenka iš aplinkos į vamzdyną. Daugelis šių mikroorganizmų gali prisitvirtinti prie vamzdžio sienelės ir sudaryti bioplėvelę (Bonadonna *et al.* 2009). Bioplėvelė būna plona – storis nuo 10 iki 30 μm (Srinivasan *et al.* 2008). Joje paprastai vyrauja heterotrofinės bakterijos, grybai, pirmuonys, nematodai (apvaliosios kirmėlės) ir vėžiagyviai (Payment *et al.* 2004). Bioplėvelėje gali vystytis ir patogeniniai mikroorganizmai (pvz., *Legionella* spp.) ir netgi virusai (pvz., enterovirusas ir adenovirusas) (Berry *et al.* 2006). Nustatyta, kad 100 mm skersmens 25 metų senumo vamzdžio bioplėvelėje aptinkama daugiau bakterijų ląstelių ilgio vienetui nei tekančiame vandenyje (Berry *et al.* 2006). Mikroorganizmai taip pat gali vystytis ir korodavusio vamzdžio gumburėliuose (Ramirez *et al.* 2009; Payment *et al.* 2004).

Bioplėvelė gali apsaugoti joje esančius mikroorganizmus nuo dezinfekantų poveikio (Berry *et al.* 2006; Szabo *et al.* 2009; Bonadonna *et al.* 2009; Geldreich *et al.* 1999). Lehtola ir kiti mokslininkai 2005 metais atliko eksperimentą, kurio metu analizavo, kaip vamzdžio medžiaga gali keisti ultravioletinių (UV) spindulių ir chloro dezinfekcijos efektyvumą geriamajame vandenyje ir bioplėvelėje. Eksperimentui buvo naudojami dviejų skirtingų medžiagų vamzdžiai: variniai ir PE. Jie nustatė, kad tiek PE, tiek variniuose vamzdynuose dezinfekuojuojant UV spinduliais gyvybingų

bakterijų skaičius geriamajame vandenyje sumažėjo vidutiniškai 79 %, tačiau bioplėvelei dezinfekanto poveikis buvo nedidelis. Chloras efektyviau sumažino mikroorganizmų skaičių PE vamzdžio vandenyje ir bioplėvelėje. Variniame vamzdyje chloravimo poveikis buvo silpnesnis, vandenyje per kelias dienas mikroorganizmų skaičius padidėjo iki tokio pat lygio, kaip ir buvo prieš chloravimą, o bioplėvelėje jų skaičius sumažėjo tik paviršiuje (Lehtola *et al.* 2005).

1.2. Vamzdyno nuogulų susidarymo priežastys

Gurvulinių nuogulų susidarymo priežastis – plieninių ir ketinių vamzdžių korozija. Geležies korozija gali būti elektrocheminė ir/ar biologinė (Nawrocki *et al.* 2010; Ramirez *et al.* 2009). Vamzdynų korozija dar vadinama kavitacine (smūgine) korozija, nes ją sukelia sūkurinis skysčio tekėjimas (Skučas 2007). Metalinių vamzdynų korozija geriamojo vandentiekio sistemoje intensyviausiai vyksta per pirmuosius kelerius metus, vėliau sulėtėja. Korozija gali paveikti visą vamzdyną arba tik kai kurias jo vietas (Gerke *et al.* 2008).

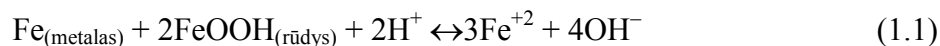
Nuo vandens kokybės priklauso vamzdynų nuogulų susidarymas (Gerke *et al.* 2008). Korozinį aktyvumą lemia vandens temperatūra, pH, šarmingumas, ištirpusio deguonies koncentracija, vandens tekėjimo greitis (Ramirez *et al.* 2009; Tang *et al.* 2006; Gerke *et al.* 2008; McNeill *et al.* 2002; Nawrocki *et al.* 2010; Šulčius 2006). Fosfatų kiekis vandenyje taip pat yra vienas iš pagrindinių parametru, lemiančių korozinį aktyvumą (Nawrocki *et al.* 2010; Gerke *et al.* 2008). Vandens kietumas, hidrokarbonatų (HCO_3^-), chloridų (Cl^-) ir sulfatų (SO_4^{2-}) jonų koncentracija vandenyje taip pat turi įtakos korozijos procesui (Tang *et al.* 2006; Šulčius 2006).

1.2.1. Ištirpusio deguonies koncentracija

Korozinį aktyvumą labiausiai lemia ištirpusio deguonies koncentracija, nes deguonis dalyvauja depoliarizacijos procese – katodinio proceso reakcijoje. Dauguma metalų druskų koroduoja esant deguoninei depoliarizacijai. Didėjant ištirpusio deguonies kiekiui, didėja ir korozijos greitis (Šulčius 2006). Neaeruotame vandenyje korozijos greitis yra nedidelis (Skučas 2007). Nustatyta, kad padidinus ištirpusio deguonies koncentraciją vandenyje, išsiskiria daugiau geležies iš korodavusio vamzdžio tuo metu, kai vanduo užsistovi vamzdyne, negu, kai teka (Sarin *et al.* 2004b).

Deguonies tirpumas mažėja aukštesnėje temperatūroje. Pavyzdžiui, esant 1 atm slėgiui, ištirpusio deguonies koncentracija yra 8,26 mg/l, esant 25 °C temperatūrai ir 12,77 mg/l, esant 5 °C temperatūrai. Šis skirtumas gali turėti trejopą poveikį korozijai. Pirma, deguonis yra pagrindinis elektronų akceptorius geležies korozijai. Aukštesnėje temperatūroje yra mažiau ištirpusio

deguonies, todėl ir korozijos greitis tikėtina, kad bus mažesnis. Antra, deguonis atlieka svarbų vaidmenį geležies junginių oksidacijos procesuose. Galiausiai deguonies išsikvojimas gali leisti įvykti *Kucho* reakcijai, kai esančios geležies rūdys veikia kaip elektronų akceptorius oksiduojant geležies metalą į divalentę geležį.



Ši reakcija yra egzoterminė, todėl ji gali veikti lėčiau aukštesnėje temperatūroje. Taigi, ištirpusio deguonies pokyčiai gali veikti korozijos greitį, geležies šalutinių produktų atsiradimą ir koncentraciją bei rūdžių formavimąsi (McNeill *et al.* 2002).

1.2.2. Vandens pH ir šarmingumas

Vandens pH turi įtakos korozijos procesui (Agatemor *et al.* 2008; Sarin *et al.* 2003; Sarin *et al.* 2004a; Nawrocki *et al.* 2010). Jei $\text{pH} < 8$, korozijos proceso greitis padidėja, nes tik tuomet, kai $\text{pH} > 7$ korozijos produktai (oksidai, hidroksidai, bazinės druskos) gali sudaryti apsaugines dangas (Skučas 2007), kurios yra mažiau porėtos (Sarin *et al.* 2003; Sarin *et al.* 2004a). Vandens šarmingumas yra vienas iš parametrų, lėtinančių korozijos procesus (Sarin *et al.* 2004a; Nawrocki *et al.* 2010).

Kai vandens temperatūra normali, terpės pH artimos 7, geležies turinčios medžiagos (plienas, ketus) vandenyje koroduoja tik tuomet, kai jame yra ištirpusio deguonies. Didinant tirpalo pH, kuriame yra sunkiųjų metalų, intensyvėja netirpių hidroksido susidarymas ir nusėdimas (Baronaitė 2009).

Korozijos proceso vyksmo tikimybė priklauso nuo kalcio karbonato nusėdimo, nes kalcio karbonatas su korozijos produktais metalo paviršiuje gali sudaryti apsauginę plėvelę (Šulčius 2006; Sakalauskas *et al.* 2007). Kalcio karbonato nuosėdos gali kauptis ir užkimšti korozijos nuogulų poras (Sarin *et al.* 2004a).

1.2.3. Sulfatai ir chloridai

Anijonai, tokie kaip chloridai ir sulfatai, turi didelės įtakos elektroneutralumo palaikymui (Tang *et al.* 2006; Šulčius 2006; Nawrocki *et al.* 2010; Sarin *et al.* 2004a). Vandenyje ištirpę chloridai ir sulfatai padidina korozijos proceso greitį, nes aktyvina anodinio tirpinimo greitį. Tačiau jų koncentracijos padidėjimas sumažina deguonies (depolarizatoriaus) tirpumą vandenyje, o tai tam

tikru laipsniu sumažina korozijos proceso greitį (Šulčius 2006). Sulfatų koncentracija vandenyje priklauso nuo korozijos masto (Nawrocki *et al.* 2010; Refeit *et al.* 2006).

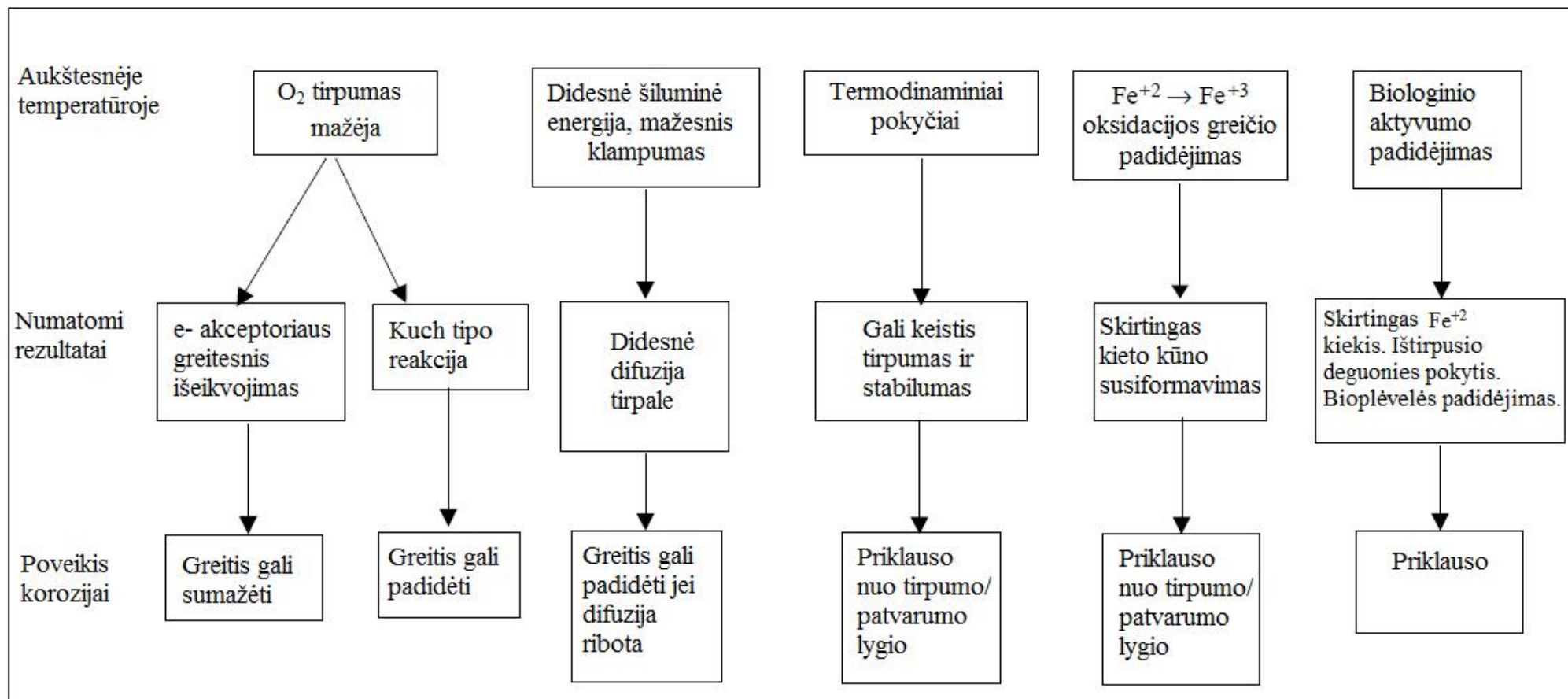
1.2.4. Temperatūros įtaka

Korozijos procesui didelės įtakos turi vandens temperatūra (Nawrocki *et al.* 2010; Šulčius 2006; McNeill *et al.* 2002). Vandens temperatūros įtaka korozijos greičiui nėra vienareikšmė. Kai korozijos greičio ribojantis faktorius yra deguonies difuzija, tai esant aukštesnei temperatūrai korozijos greitis lemia keletas skirtingai veikiančių faktorių: mažėja deguonies tirpumas vandenyje (tuomet mažėja ir korozijos greitis), tačiau padidėja deguonies difuzija ir konvekcijs, o tuo pačiu ir korozijos greitis. Be to, temperatūros įtaka korozijos proceso greičiui uždaroje ir atviroje vandens sistemose skirtinga. Uždaroje sistemoje plieno korozijos greičio priklausomybė nuo temperatūros yra tiesinė (Šulčius 2006).

Temperatūra veikia daugelį parametrų, kurie yra svarbūs vamzdinių korozijos susidarymui, įskaitant vandens fizines savybes, termodinamines ir fizines korozijos ypatybes, cheminius rodiklius ir pan. Temperatūros pokyčiai gali sukelti naujus korozijos reiškinius (McNeill *et al.* 2002).

Vandens temperatūra vamzdyne gali kisti per metus dėl sezoninių temperatūros svyravimų vandens šaltiniuose. Todėl vamzdžio korozija gali būti skirtinga žiemos laikotarpiu lyginant su vasaros (McNeill *et al.* 2002).

Bent penki pagrindiniai parametrai, kurie daro įtaką korozijai gali keistis keičiantis temperatūrai: ištirpęs deguonis, vandens savybės (pvz., klampa), geležies oksidacijos laipsnis, termodinaminės savybės ir biologinis aktyvumas (3 pav.) (McNeill *et al.* 2002).



3 pav. Galimas vandens temperatūros poveikis geležies korozijai (McNeill *et al.* 2002).

Vandens klampumas sumažėja esant aukštesnei temperatūrai. Tai leidžia padidinti pernašą reagentų (ištirpusio deguonies arba kito elektronų akceptorius) ir produktų (Fe^{+2}) į ir nuo metalų paviršiaus dėl padidėjusios difuzijos, tokiu būdu didėja korozijos greitis. Be to, divalentės geležies jonų difuzijos greitis padidėja aukštesnėje temperatūroje. Esant tam tikram pH rodikliui, divalentės geležies oksidacija padidėja, kai temperatūros reikšmė pakyla kas 15 °C. Tai lemia skirtingų geležies junginių susiformavimą, esant skirtingai temperatūrai. Korozijos poveikis priklauso nuo naujai susidariusių nuogulų savybių (tirpumo, patvarumo, sukibimo ir pan.) (McNeill *et al.* 2002).

Vandens tiekimo sistemoje gali būti skirtingas temperatūros gradientas per santykinai trumpą laiko tarpą, priklausomai nuo vandens šaltinio. Tyrimai parodė, kas vandens temperatūra paskirstymo sistemoje (vanduo tiekiamas iš vieno vandens šaltinio) keičiasi sezoniškai nuo 5 °C iki 21 °C, maksimali kaita 1,3 °C per dieną. Be to, ruošimo įrenginiuose gali skirtis šaltesnių ir šiltesnių šaltinių sumaišymo santykis (t. y. požeminio vandens lyginant su paviršiniu), tai gali lemti vandens temperatūrą paskirstymo sistemoje (McNeill *et al.* 2002).

Skirtingų nuogulų yra skirtingi tankiai, tai apibūdinama tam tikro metalo junginio su kitu junginiu tūrio santykiu (1 lentelė) (McNeill *et al.* 2002).

1 lentelė. Metalų junginio su kitu junginiu tūrio santykio reikšmės (McNeill *et al.* 2002).

Junginiai	Santykis
$\text{FeO} : \text{Fe}$	1.68
$\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Fe}$	2.14
$\text{Fe}_3\text{O}_4 : \text{Fe}$	2.1
$\text{Fe}_3\text{O}_4 : \text{FeO}$	1.2
$\text{Fe}_2\text{O}_3 : \text{Fe}_3\text{O}_4$	1.02

Bet koks santykis $\neq 1$ rodo, kad slėgimas gali įterpti nuogulas priklausomai nuo paviršiaus geometrijos. Šis aspektas yra svarbus, kai naujo tipo nuogulos susidaro ant vamzdinių paviršiaus esant skirtingai temperatūrai, ypač jei naujos dalelės formuojasi po jau esančiu nuogulų sluoksniu (McNeill *et al.* 2002).

Tam tikri nuogulų komponentai turi skirtingus terminio plėtimosi koeficientus (α) lyginant metalus su kitais nuogulų sluoksniais. Pavyzdžiui, geležies metalas (Fe) plėsis beveik 50 % daugiau nei Fe_3O_4 nuogulos, esant tam pačiam temperatūros pasikeitimui. Šie skirtumai sukelia mechaninę įtampą nuogulose keičiantis temperatūrai ir galiausiai gali sukelti nuogulų atitrūkimą arba plyšio susidarymą. Šis reiškinys gali būti svarbus tose vietose, kur

susiformuoja papildomai nuosėdos, kur nuogulos yra heterogeniškos ir net ten, kur susiformuoja tik vieno tipo nuogulos (McNeill *et al.* 2002).

Svarbu pažymėti, kad įtampa, atsirandanti dėl nevienodų nuogulų tankių ar terminų plėtimosi koeficientų, apskritai yra didesnė įgaubtiems ir išgaubtiems paviršiams, tokiems kaip vamzdis, lyginant su plokščiu paviršiumi. Be to, tokie įtempimai tampa dar svarbesni mažėjant vamzdžių skersmeniui (McNeill *et al.* 2002). Taip pat, dėl įtampos gali atitrūkti nuogulų dalelės ir pasklisti vandenyje. Dalelės, kurių vidutinis dydis 0,01 mm, gali būti transportuojamos vamzdynu veikiant turbulencijos jėgai (Rubulis *et al.* 2008).

1.2.5. Vandens tekėjimo greitis

Korozijos proceso greičiui įtakos turi ir korozinės terpės, t. y. vandens, tekėjimo greitis (Gerke *et al.* 2008; McNeill *et al.* 2002; Nawrocki *et al.* 2010; Šulčius 2006). Korozijos proceso greičio priklausomybė nuo skysčio judėjimo greičio yra sudėtinga. Iš pradžių korozijos greitis didėja, tačiau padidėjus deguonies difuzijos greičiui įvyksta tam tikra metalo paviršiaus pasyvacija ir korozijos greitis didėja nežymiai. Dideli vandens judėjimo greičiai sukelia erozinę ir kavitacinę korozijas (Šulčius 2006).

Korozijos paveiktoje geriamojo vandentiekio sistemoje aptinkamas trijų rūšių vanduo: tekantis vanduo, stovintis vanduo ir užsistovėjęs vanduo. Užsistovėjęs vanduo būna tada, kai vamzdynais neteka vanduo, t.y. vanduo užsistovi tinkluose. Tuo tarpu stovintis vanduo aptinkamas vamzdyno vietose tarp korozijos nuogulų (Nawrocki *et al.* 2010).

Stovintis vanduo – vandens ir korozijos produktų mišinys. Tokio vandens savybės skiriasi nuo vandens paruošto vandens ruošimo įrenginiuose, tuo tarpu nuolatos tekančio vandens savybės išlieka tokios pat (Nawrocki *et al.* 2010).

1.2.6. Bioplėvelės formavimosi ypatumai

Bioplėvelės formavimasis vidiniame vamzdžio paviršiuje yra glaudžiai susijęs su vamzdyno medžiaga (Berry *et al.* 2006; Tsvetanova 2006; Lehtola *et al.* 2005), jo paviršiaus savybėmis, tokiomis kaip šiurkštumas (Tsvetanova 2006). Ramirez ir kiti mokslininkai (2009) šešis mėnesius vykdė eksperimentą, kurio metu buvo sumontuotas eksperimentinis stendas iš skirtingų medžiagų (vario, PVC, nerūdijančio ir cinkuoto plieno) vamzdžių. Jie nustatė, kad heterotrofinių bakterijų skaičius buvo didesnis vandens mėginiuose, paimtuose iš PVC ir varinio vamzdžių, tačiau nuogulų mėginiuose – mažesnis, nei nerūdijančio ir cinkuoto plieno vamzdžiuose. Moksliniuose straipsniuose teigiama, kad varinio vamzdžio korozijos produktai

gali būti toksiški bakterijoms (Berry *et al.* 2006; Ramirez *et al.* 2009). Nerūdijančiojo ir cinkuoto plieno vamzdžių didesnis šiurkštumas, tai lengvina bioplėvelės prisitvirtinimą (Ramirez *et al.* 2009).

Cheminės ir hidraulinės vandens srovės savybės gali paveikti bioplėvelės vystymąsi (Tsvetanova 2006). Vandens tekėjimo režimas gali įtakoti ir patogeninių mikroorganizmų (pvz., *Legionella*) dauginimąsi bioplėvelėje (Liu *et al.* 2006). Liu ir kiti mokslininkai 2006 metais nustatė, kad *Legionella* kolonijų kiekis bioplėvelėje buvo žymiai didesnis esant turbulentiniam vandens tekėjimui, lyginant su laminariu. Mažiausias jų kiekis nustatytas kai vanduo užsistovi vamzdyne; jiems nepavyko įrodyti, kad stovinčiame vandenyje padidėja *Legionella* kolonijų kiekis, kaip prieš tai pavyko įrodyti kitiems mokslininkams.

Biologinių apaugų atsiradimo intensyvumas priklauso nuo vandens temperatūros, pH, ištirpusio deguonies kiekio ir nuo maistinių medžiagų gausos vandenyje (Berry *et al.* 2006; Sakalauskas *et al.* 2007). Duginės nuogulos gali būti pagrindinis maistinių medžiagų šaltinis mikroorganizmams (Berry *et al.* 2006). Langmark ir kiti mokslininkai 2005 metais nustatė, kad bioplėvelė intensyviau vystosi vasaros laikotarpiu nei žiemos, nepriklausomai nuo dezinfekavimo būdo (UV dezinfekavimo ar chloravimo). Mikroorganizmų skaičiaus padidėjimas gali būti kontroliuojamas dezinfekavimo priemonėmis bei mažinant biologiškai skaidomų organinių medžiagų kiekį vandenyje (Berry *et al.* 2006).

1.3. Vamzdyno nuogulų poveikis vandentiekio tinklams

Dėl nuogulų ant vidinių vamzdynų sienelių susidarymo, atsiranda nepageidaujami reiškiniai geriamojo vandentiekio sistemoje. Metaliniuose (pvz., ketaus, plieno) vamzdynuose vandeniui ilgiau užsistovint vamzdyne padidėja vandens drumstumas (Nawrocki *et al.* 2010). Vandens drumstumas gali padidėti taip pat dėl hidraulinių sąlygų pasikeitimo (pvz., siurblio įjungimo ir išjungimo, staigaus sklendės uždarymo) (Rubulis *et al.* 2008).

Vandens drumstumas priklauso nuo geležies koncentracijos vandenyje (Sarin *et al.* 2003). Stovintis vanduo perduoda didelį suspenduotos geležies kiekį tekančiam vandeniui – net iki 3,0 g/l; tokia didelė geležies koncentracija gali sukelti reiškinį, vadinamą „raudonu vandeniu“ (Ramirez *et al.* 2009; Tang *et al.* 2006; Nawrocki *et al.* 2010). Geležies išsiskyrimas iš korodavusių vamzdžių priklauso nuo vandens savybių ir vamzdžių medžiagos. Metalinių vamzdžių drumstumas ir elektrinis laidumas būna didesnis nei nemetaliniuose (pvz., PVC) (Ramirez *et al.* 2009). Tang ir kiti mokslininkai 2006 metais atliko eksperimentą, kurio metu naudojo skirtingo amžiaus PVC, kaliojo ketaus; ketaus ir cinkuoto plieno vamzdžius, kurie ilgą laiką buvo naudojami vandentiekyje, kuriuo buvo tiekiamas paruoštas požeminis vanduo.

Eksperimentas buvo atliekamas metus laiko naudojant skirtingų savybių vandenį, t. y. požeminį, paviršinį ir sūrų. Paruoštas požeminis vanduo buvo naudojamas toks, kuris daug metų tekėjo tiriamais vamzdynais. Paviršinis vanduo buvo paruoštas naudojant įvairius ruošimo būdus: įterpiant koaguliantus, flokulantus, nusodinimą, filtravimą, ozonavimą, biologiškai aktyvintųjų anglių filtrus. Sūrus jūros vanduo buvo gėlinamas naudojant atvirkštinės osmozės metodą. Eksperimento rezultatai parodė, kad geležies išsiskyrimas iš senų vamzdynų priklauso nuo tiekiamo vandens kokybės: geležies koncentracija padidėjo, kai vandens kokybė buvo nepanaši į požeminio, t. y. kai buvo tiekiamas apdorotas paviršinis ir gėlintas jūros vanduo. Jie taip pat nustatė, kad geležies išsiskyrimui įtakos turėjo ir vamzdžių medžiaga: daugiausia geležies išsiskyrė iš ketaus, kiek mažiau iš cinkuoto plieno, daug mažiau iš kaliojo ketaus ir mažiausiai iš PVC vamzdžių (Tang *et al.* 2006).

Pagal Lietuvos higienos normos HN 24:2003 reikalavimus, geriamajame vandenyje geležies koncentracija negali viršyti 0,2 mg/l. Esant didesnei koncentracijai gali pasikeisti vandens spalva, skonis ir kvapas (Langmark *et al.* 2005; Ramirez *et al.* 2009; Christian *et al.* 2008; Echeverria *et al.* 2009; Sarin *et al.* 2004a; Tsvetanova 2006; Nawrocki *et al.* 2010; Gerke *et al.* 2008; Albrektienė 2009).

Vandens spalva kurį laiką gali pasikeisti plaunant geriamojo vandentiekio sistemas vandens–oro srove (Nawrocki *et al.* 2010). Vandeniui spalvą suteikia įvairios priemonės: organiniai junginiai – geltoną, geležies junginiai – rudą, mangano junginiai – juodą (Gražulevičienė *et al.* 2009).

Manganas geriamajame vandenyje gali sukelti estetinių problemų: vandens spalvos ir skonio pasikeitimą (Albrektienė 2009; Cerrato *et al.* 2008), gali atsirasti dėmių ant santechnikos įrenginių. Kai manganas oksiduojasi iš tirpių formų (Mn^{+2}) į ne tirpias (Mn^{+4}), gali susidaryti juodos nuosėdos, kurios ir sukelia vandens spalvingumą (Cerrato *et al.* 2008). Dideli mangano kiekiai gali sukelti neurologinio pobūdžio sveikatos sutrikimų (Santamaria 2008).

Nuogulų gumburėliuose bei ant metalo paviršiaus, paveikto korozijos, gali kauptis chloridai. Chloridus paprastai lydi ir bromidai, dideli jų kiekiai aptinkami stovinčiame vandenyje (Nawrocki *et al.* 2010).

Dėl nuogulų susidarymo gali pakisti vandens pH. Stovinčio vandens daug mažesnis pH nei tekančio vandens. Geležies oksidacija yra vienas iš pagrindinių vandens rūgštėjimo priežasčių. Tačiau užsistovint vandeniui tinkluose, vandens pH pasikeičia nežymiai, lyginant su stovinčio vandens pH (Nawrocki *et al.* 2010).

Nuo korozijos masto priklauso sulfatų koncentracija vandenyje. Korozijos nuogulos sugeba absorbuoti sulfatus. Sulfatų koncentracijos stovinčiame ir tekančiame vandenyje

skiriasi, vienu atveju daugiau tekančiame vandenyje, kitu – stovinčiame (Nawrocki *et al.* 2010; Refeit *et al.* 2006).

Nawrocki ir kiti mokslininkai 2010 metais atlikę tyrimus nustatė, kad stovinčio vandens mėginiuose skiriasi ištirpusios organinės anglies koncentracija. Ji didesnė nei tekančiame vandenyje, tačiau pasitaikė ir atvirkščiai. Tai gali būti paaiškinama vandens praskiedimu. Panašūs rezultatus gauti ir užsistovėjusiam vandenyje, pusėje mėginių ištirpusios organinės anglies koncentracija buvo mažesnė nei tekančio vandens.

Dezinfekanto kiekį gali sumažinti korodavusio vamzdyno nuogulos (Echeverria *et al.* 2009; McNeill *et al.* 2001; Zhang *et al.* 2008; Nawrocki *et al.* 2010). Ketiniame ir variame vamzdžiuose, atitinkamai, geležies (Fe_3O_4) ir vario (Cu_2O) oksidai yra pagrindiniai nuogulų komponentai, kurie sukelia ClO_2 likučio sumažėjimą vandenyje. Reakcijos tarp chloro oksido ir geležies junginių korozijos nuogulose mažina chloro oksido kiekį korodavusiame ketiniame vamzdyje. Korozijos nuogulos gali sukelti didesnę chloro oksido praradimą koroduotame ketiniame vamzdyje negu bendra organinė anglis, kuri gali būti paruoštame vandenyje. Vandens tiekimo sistemose naudojant ketinius vamzdžius, chloro oksido naudojimas nerekomenduojamas, nebent bus numatytos priemonės apsaugai nuo korozijos. Nors varinių vamzdynų sistemoje chloro oksido sumažėjimas daug lėtesnis nei ketinių, būtina imtis priemonių apsaugai nuo korozijos (Zhang *et al.* 2008).

Dėl nuogulų susidarymo gali padidėti nitratų koncentracija geriamajame vandenyje. Nitratų koncentracijos pokyčiai vandenyje parodo denitrifikacijos proceso intensyvumą stovinčiame vandenyje, taip pat ir geriamojo vandens tiekimo sistemoje (Nawrocki *et al.* 2010). Zhang ir Edwards nustatė, kad padidėjus nitratų koncentracijai, greičiau sumažėja dezinfekanto (chloro) kiekis vandenyje ir išsiskiria daugiau geležies (Zhang ir Edwards 2007). Nitratų ir panašių medžiagų patekimas į žmogaus organizmą gali sukelti methemoglobinemiją, sutrikdyti skydliaukės veiklą bei padidinti vėžio susirgimo riziką. Nitratai yra labai pavojingi nėščioms moterims, naujagimiams ir pirmųjų mėnesių kūdikiams (Gražulevičienė *et al.* 2009).

Vamzdyno nuogulos gali absorbuoti toksiškus metalus, tokius kaip arsenas ir radis (Ramirez *et al.* 2009; Gerke *et al.* 2008). Kadmio ir švinas į vandenį patenka dėl vamzdyno korozijos (Agatemor *et al.* 2008). Toksiniai metalai gali turėti neigiamą poveikį žmonių sveikatai: jie gali sukelti nevaisingumą, persileidimą arba lėtinti embriono vystymą (Gražulevičienė *et al.* 2009).

Ilgai eksploatuojant vamzdynus, didėja nuogulų kiekiai, todėl mažėja vamzdyno pralaidumas, ilgainiui vamzdynai gali visai užakti (Ramirez *et al.* 2009; Echeverria *et al.* 2009; Gerke *et al.* 2008).

Apibendrinant pateiktą mokslinės literatūros apžvalgą, galima teigti, kad vandentiekio vamzdynai įtakoja geriamojo vandens kokybės pokyčius vartojimo vietose, todėl reikia nuodugniai ištirti, kaip galima išvengti neigiamos įtakos padarinių.

2. EKSPERIMENTINĖ DALIS

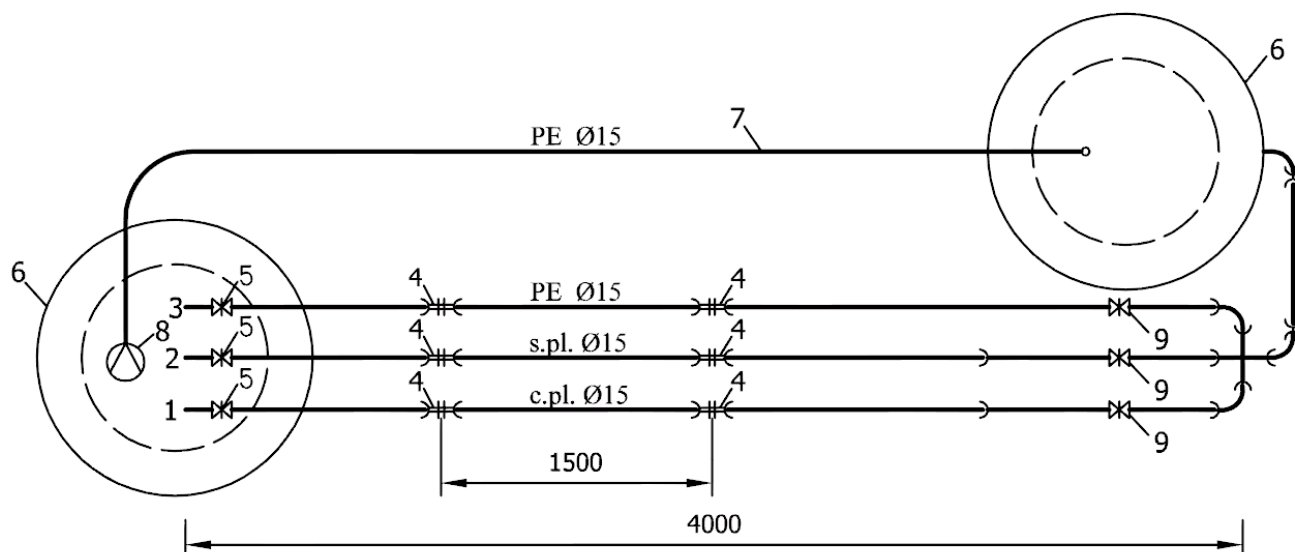
2.1. Eksperimentinių tyrimų metodika

Eksperimentas atliktas laboratorinėmis sąlygomis dviuose stenduose, įrengtuose Vilniaus Gedimino technikos universiteto Vandentvarkos katedros laboratorijoje (4 pav.) ir taikant vandens tekėjimo režimą, panašų į vandens tekėjimo režimą gamybinėmis sąlygomis. Tyrimais nustatyti šie vandens rodikliai: bendrosios geležies, mangano junginių, amonio jonų, nitratų, nitritų koncentracijos, drumstumas, bei vamzdynų nuogulų ChDS_{Cr} .



4 pav. Eksperimentiniai stendai

Pirmąjį stendą (5 pav.) sudarė skirtingų medžiagų (cinkuoto plieno, seno plieno ir PE) vamzdynų (1, 2, 3) sistema, kuria cirkuliavo vanduo iš vienos plastikinės 200 litrų talpos (6) į kitą cirkuliacinio siurblio (8) pagalba.



5 pav. Eksperimentinis stendas Nr.1

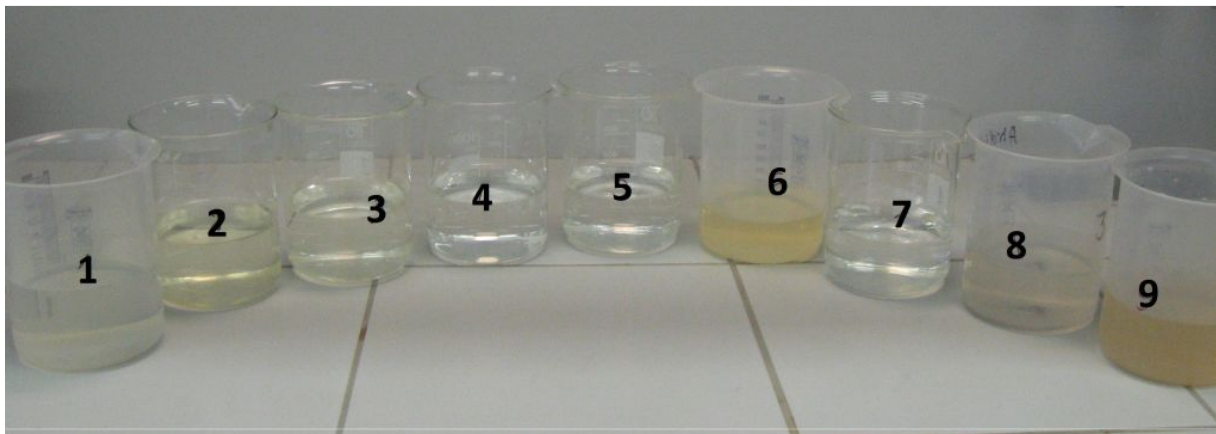
1 – cinkuotas naujas plieninis vamzdis; 2 – seno plieno vamzdis; 3 – PE vamzdis; 4 – išardomos movos; 5 – uždarojoji armatūra; 6 – vandens talpos; 7 – cirkuliacinis PE vamzdis; 8 – cirkuliacinis siurblys; 9 – reguliuojamoji armatūra.

Į talpą Nr.1 iš vandentiekio tinklo buvo prileista 140 litrų vandens, kuris paruoštas Antavilių vandens gerinimo įrenginiuose. Tuomet pripilta 10 litrų vandens su nuosėdomis, kuris paimtas iš vamzdinių, kuriais tekėjo neruoštas vanduo iš gręžinių. Vanduo talpoje buvo sumaišomas ir įjungiamas cirkuliacinis siurblys (8). Siurblio pagalba vanduo buvo perpumpuojamas į vandens talpą Nr.2. Kai vanduo talpoje Nr.1 pasiekdavo žemiausią vandens lygį, siurblys išsijungdavo. Reguliuojamoji armatūra (9) buvo nustatyta vienodas tekėjimo greitis 0,3 m/s visuose vamzdynuose. Cirkuliacinio siurblio (8) pagalba talpoje Nr.2 buvo palaikomas vandens lygis, kad vandens slėgis būtų pastovus ir nesikeistų tekėjimo greičiai vamzdyne.

Kad laboratorinėmis sąlygomis vandens tekėjimo režimas būtų panašus į vandens tekėjimo režimą gamybinėmis sąlygomis, buvo imituojamas nakties režimas, uždarojoji armatūra (5) buvo nutraukiamas vandens tekėjimas, cirkuliacinis siurblys (8) išjungiamas. Vamzdyne vanduo buvo paliekamas 16 valandų. Likusias 8 valandas vanduo cirkuliuodavo iš vienos talpos į kitą. Po nakties režimo vanduo talpose buvo išmaišomas ir įjungiamas cirkuliacinis siurblys (8).

Vandens mėginiai (6 pav.) iš vamzdinių buvo imami iš karto po nakties režimo, atsukus uždarojoją armatūrą (5). Taip pat mėginiai buvo imami iš talpos Nr.1 prieš jį išleidžiant į

nuotakyną ir pakeitus vandenį. Prieš imant mėginius iš talpų (6) vanduo buvo gerai išmaišomas.



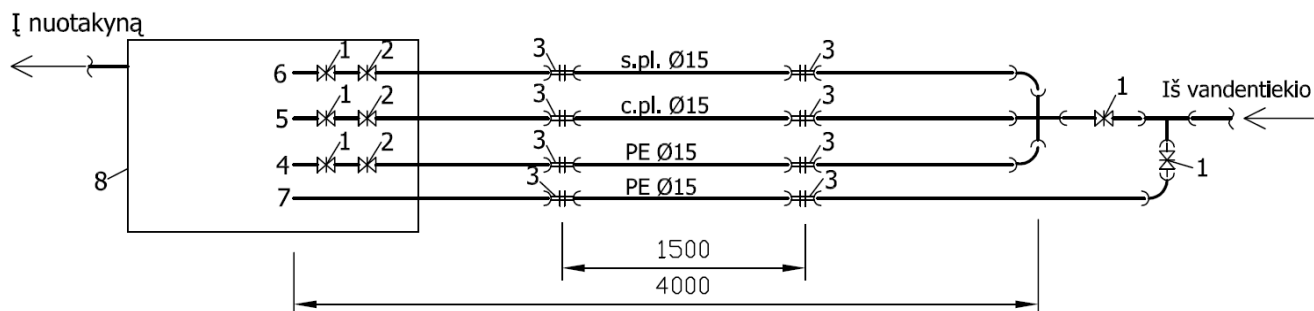
6 pav. Vandens mėginiai

1 – iš cinkuoto plieno vamzdžio (stendas Nr.1); 2 – iš seno plieno vamzdžio (stendas Nr.1); 3 – iš PE vamzdžio (stendas Nr.1); 4 – iš PE vamzdžio (stendas Nr.2); 5 – iš cinkuoto plieno vamzdžio (stendas Nr.2); 6 – iš seno plieno vamzdžio (stendas Nr.2); 7 – iš PE vamzdžio (stendas Nr. 2, nuolat teka vanduo); 8 – iš talpos, jau atidirbęs vanduo; 9 – iš talpos, naujai pakeistas.

Kai mėginiai buvo paimti iš vamzdžių, vanduo buvo išleidžiamas. Tuomet buvo išardomos movos (4) ir iš vamzdžių imami nuogulų mėginiai. Tai atlikta strypo, ant kurio pritvirtintas minkštas, lanksčios medžiagos, atitinkančios vamzdžių vidinį skersmenį kamštis. Strypas buvo prakišamas pro vamzdį ir traukiamas per visą jo ilgį. Ant strypo pritvirtintas kamštis nuvalydavo nuo vamzdžių sienelių susidariusias nuogulas. Nuo kamščio likučiai buvo nuplaunami 30 ml distiliuoto vandens. Gautame mišinyje buvo nustatomas $ChDS_{Cr}$ rodiklis.

Paėmus mėginius vanduo iš talpos Nr.1 buvo išleidžiamas į nuotakyną. Talpos buvo išplaunamos ir pripilamos naujo vandens.

Antrąjį stendą (7 pav.) sudarė skirtingų medžiagų (cinkuoto plieno, seno plieno ir PE) vamzdžių (4, 5, 6, 7) sistema, kuria cirkuliavo vanduo iš vandentiekio, paruoštas Antavilių vandens ruošimo įrenginiuose.



7 pav. Eksperimentinis stendas Nr.2

1 – reguliuojamoji armatūra; 2 – uždaroji armatūra; 3 – išardomos movos; 4,7 – PE vamzdžiai; 5 – cinkuotas naujas plieninis vamzdis; 6 – seno plieno vamzdis; 8 – iš vamzdžių ištekančio vandens surinkimo talpa.

Analogiškai kaip ir pirmajame stende buvo imituojamas nakties režimas 4, 5, 6 vamzdžiuose. Vamzdyje Nr. 7 vanduo tekėjo ištisą parą.

Ištekėjęs iš vamzdžių vanduo buvo surenkamas talpoje (8), iš kurios išteko į nuotakyną. Reguluojama armatūra (1) buvo nustatytas vienodas vandens tekėjimo greitis 0,3 m/s visuose vamzdynuose.

Mėginiai buvo imami analogiškai kaip ir iš pirmojo stendo.

2.2. Vandens kokybės analizių nustatymas

Skendinčių medžiagų koncentracijos nustatymas

Skendinčių medžiagų koncentracija buvo nustatoma imant vandens mėginius iš atvežto vandens, iš talpos Nr.1 tik paruošus vandenį (140 l vandentiekio vandens sumaišoma su 10 l atvežto vandens) ir prieš išleidžiant į nuotakyną jau atidirbusį vandenį.

Mėginiai buvo laikomi patalpoje, kad pasiektų reikiamą temperatūrą. Filtrams reikėjo leisti pasiekti drėgmės pusiausvyrą su oru, laikant juos prie analitinių svarstyklių. Filtrai buvo pasveriami 0,1 mg tikslumu.

Tyrimams buvo naudojamos laboratorinės elektroninės svarstyklės KERN ABJ 220-4M. Svarstyklių svėrimo ribos 0,01–220 g. Tinka eksploatuoti esant temperatūrai +5–30 °C.

Filtravimui buvo naudojamas vakuuminis siurblys SSAK SO-4. Siurblio filtravimo našumas 4 l/min. Kai buvo filtruojamas vanduo atvežtas ir neskietas, buvo naudojama 100 ml mėginio, kai skietas – 200 ml.

Filtru buvo dedamas į filtravimo įrangos piltuvą ir įjungiamas prietaisas. Vakuumą išjungiamas, kai filtru beveik sausas. Jį reikia atsargiai nuimti ir įdėti į lėkštelę. Lėkštelė dedama į laboratorinę elektrokrosnį SNOL 24/200.

Džiovinama $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje 1h 30 min. Išėmus iš elektrokrosnies, filtrui leidžiama nusistovėti pusiausvyrai su oru ir po to jie pasveriami.

Skendinčių medžiagų koncentracija C apskaičiuojama pagal formulę:

$$C = \frac{1000 \cdot (m_2 - m_1)}{V_b}, \text{ mg / l;} \quad (2.1)$$

čia: C – skendinčių medžiagų koncentracija, mg/l; m_2 – filtro masė po filtravimo, mg; m_1 – filtro masė prieš filtravimą, mg; V_b – bandinio tūris, ml.

Vandens drumstumo nustatymas

Vandens drumstumas buvo nustatomas spektrofotometru Spectroquant NOVA 60.

Į 50 mm kiuvetę pilamas mėginys. Spektrofotometru išmatuojama absorbcija, bangos ilgis 550 nm. Drumstumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$D = A \cdot F, \text{ DV;} \quad (2.2)$$

čia: D – drumstumas, DV (drumstumo vienetai); A – absorbcija; F – faktorius, $F = 101$.

Amonio koncentracijos nustatymas

Amonio koncentracija buvo nustatoma fotometriniu metodu, naudojant MERCK sistemos „Aqua-quant“ amonio testą Nr.1.14752.0001. Matavimų diapazonas yra 0,05–2,0 mg/l. Reikalinga aplinkos temperatūra +20–30 °C.

Į mėgintuvėlį įpilama 5,0 ml tiriamojo vandens. Pipetės pagalba įpilama 0,6 ml reagento NH₄-1B. Užsukamas mėgintuvėlis ir viskas gerai sumaišoma. Dedamas vienas mikrošaukštelis reagento NH₄-2B. Užsukamas mėgintuvėlis ir viskas gerai sumaišoma, plakama kol ištirpsta reagentai. Paliekame 5 min., kad įvyktų reakcija. Po 5 minučių įlašiname 4 lašelius reagento NH₄-3B. Užsukamas mėgintuvėlis ir viskas gerai sumaišoma. Paliekama 5 min., kad įvyktų reakcija. Įvykus reakcijai kiekvienas mėginys įgauna gelsvą spalvą. Spalvos intensyvumas priklauso nuo amonio koncentracijos.

Kiekvienas mėginys pilamas į 10 mm kiuvetę ir spektrofotometru išmatuojama amonio koncentracija.

Nitratų koncentracijos nustatymas

Nitratų koncentracija buvo nustatoma fotometriniu metodu, naudojant MERCK sistemos „Aqua-quant“ nitratų testą Nr.1.14773.0001. Matavimų diapazonas yra 0,5–20,0 mg/l. Reikalinga aplinkos temperatūra +15–25 °C.

Į sausą mėgintuvėlį įdedamas 1 mikrošaukštelis reagento NO₃-1. Pipetės pagalba įpilama 5,0 ml reagento NO₃-2. Užsukame mėgintuvėlį ir viską gerai suplakame. Plakama tol, kol ištirpsta reagentai. Į mėgintuvėlį labai atsargiai ir lėtai pilame 1,5 ml tiriamojo vandens. Užsukame ir atsargiai sumaišome. Vykstant reakcijai mėgintuvėlis pasidaro karštas. Paliekame 10 min. įvykti reakcijai. Įvykus reakcijai kiekvienas mėginys įgauna rausvą spalvą. Spalvos intensyvumas priklauso nuo nitratų koncentracijos.

Kiekvienas mėginys pilamas į 10 mm kiuvetę ir spektrofotometru išmatuojama nitratų koncentracija.

Nitritų koncentracijos nustatymas

Nitritų koncentracija buvo nustatoma fotometriniu metodu, naudojant MERCK sistemos „Aqua-quant“ nitritų testą Nr.1.14776.0001. Matavimų diapazonas yra 0,02–1,0 mg/l. Reikalinga aplinkos temperatūra +15–25 °C.

Į mėgintuvėlį pilama 5,0 ml tiriamojo vandens. Dedama vieną mikrošaukštelį reagento NO₂-AN. Užsukamas mėgintuvėlis ir viskas gerai suplakama. Plakama tol, kol ištirpsta reagentai. Paliekama 10 min. reakcijai įvykti. Įvykus reakcijai kiekvienas mėginys įgauna violetinę spalvą. Spalvos intensyvumas priklauso nuo nitritų koncentracijos.

Kiekvienas mėginys pilamas į 10 mm kiuvetę ir spektrofotometru išmatuojama nitritų koncentracija.

Bendrosios geležies koncentracijos nustatymas

Bendrosios geležies koncentracija buvo nustatoma fotometriniu metodu, naudojant MERCK sistemos „Aqua-quant“ geležies testą Nr.1.14761.0001. Matavimų diapazonas yra 0,05–5,0 mg/l. Reikalinga aplinkos temperatūra +10–40 °C.

Į mėgintuvėlį pilama 5,0 ml tiriamojo vandens. Įlašinama 3 lašelius reagento Fe-1. Užsukamas mėgintuvėlis ir viskas gerai suplakama. Paliekama 3 min. reakcijai įvykti. Įvykus

reakcijai kiekvienas mėginys įgauna violetinę spalvą. Spalvos intensyvumas priklauso nuo bendrosios geležies koncentracijos.

Kiekvienas mėginys pilamas į 10 mm kiuvetę ir spektrofotometru išmatuojama bendrosios geležies koncentracija.

Mangano koncentracijos nustatymas

Mangano koncentracija buvo nustatoma fotometriniu metodu, naudojant MERCK sistemos „Aqua-quant“ mangano testą Nr.1.14770.0001. Matavimų diapazonas yra 0,5–10,0 mg/l. Reikalinga aplinkos temperatūra +10–25 °C.

Į mėgintuvėlį pilama 5,0 ml tiriamojo vandens. Įlašiname 4 lašelius reagento Mn-1. Užsukame mėgintuvėlį ir suplakame. Su Alkalit indikatoriaus juostele pamatuojame tirpalo pH, kuris turi būti apytiksliai 11,5. Įlašiname 2 lašelius reagento Mn-2. Paliekame 2 min. reakcijai įvykti. Praėjus reakcijos laikui įlašiname 2 lašelius reagento Mn-3. Paliekame 2 min. įvykti reakcijai. Įvykus reakcijai kiekvienas mėginys įgauna rusvą spalvą. Spalvos intensyvumas priklauso nuo mangano koncentracijos.

Kiekvienas mėginys pilamas į 10 mm kiuvetę ir spektrofotometru išmatuojama mangano koncentracija.

ChDS_{Cr} nustatymas

ChDS_{Cr} (cheminis deguonies suvartojimas) buvo nustatomas naudojant ECO VELD SCIENTIFICA termoreaktorių. Tyrimams naudojami šie tirpalai: dichromato standartinis tirpalas (K₂Cr₂O₇) 0,25 N, sieros rūgšties reagentas, feroino indikatoriaus tirpalas, amonio geležies sulfato (Fe(NH₄)₂(SO₄)₂ · 6 H₂O) standartinis tirpalas 0,125 N.

ChDS_{Cr} nustatymui mėginiai imti iš abiejų stendų (5, 7 pav.) vamzdžių (1-7), išardžius movas (3, 4).

Į stiklinius cilindrus pipetės pagalba pilama 10 ml dichromato 0,25 N tirpalo. Po 30 ml į kiekvieną cilindrą įpilama sieros rūgšties reagento. Tuomet pilama po 20 ml mėginio. Viename iš cilindrų verdamas kontrolinis mėginys, kuriam naudojamas distiliuotas vanduo. Visa tai atliekama traukos spintoje laikantis visų saugumo priemonių.

Stovas su stikliniais cilindrais pastatomas į prietaisą. Ant kiekvieno cilindro uždedamas stiklinis kondensatorius. Prietaisas įjungiamas. Verdama 120 min. 150 °C temperatūroje.

Praėjus 120 min. prietaisas automatiškai išsijungia. Leidžiama prietaisui atvėsti. Nuimami kondensatoriai, iškeliamas stovas su stikliniais cilindrais iš termoreaktoriaus. Atvėsus mėginiams, jie supilami į kolbas.

Į kiekvieną mėginį įlašinama po 0,2 ml feroino indikatoriaus. Viskas gerai išmaišoma.

Titruojama su amonio geležies sulfato ($\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$) standartiniu tirpalu 0,125 N. Titravimui naudojamas titratorius TITRONIC basic.

Titruojama tol, kol mėginio spalva pasikeičia iš mėlynai žalios į oranžinę spalvą. Sunaudotas amonio geležies sulfato kiekis (ml) reikalingas apskaičiuojant ChDS_{Cr} .

Amonio geležies sulfato tirpalas gali keisti savo savybes. Todėl reikia padaryti kontrolinį mėginį. Kontrolinis mėginys atliekamas taip: į kolbą pilama 10 ml dichromato 0,25 N tirpalo, 100 ml distiliuoto vandens, 30 ml koncentruotos sieros rūgšties. Tuomet įlašinama 0,2 ml feroino indikatoriaus. Viskas gerai išmaišoma ir titruojama. Titruojama tol, kol mėginio spalva pasikeičia iš mėlynai žalios į oranžinę spalvą. Gautas sunaudotas amonio geležies sulfato kiekis n (ml) naudojamas koreliacijos koeficientui apskaičiuoti. Koreliacijos koeficientas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$F = \frac{20}{n}; \quad (2.3)$$

čia: n – amonio geležies sulfato kiekis, sunaudotas titravimo tirpalo kontroliniam mėginiui nutitruoti, ml.

ChDS_{Cr} apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\text{ChDS}_{\text{Cr}} = (b - a) \cdot \frac{8000 \cdot N}{X} \cdot F, \text{ mgO}_2 / l; \quad (2.4)$$

čia: b – amonio geležies sulfato kiekis, sunaudotas kontrolinio mėginio titravimui, ml; a – amonio geležies sulfato kiekis, sunaudotas titruojant mėginį; N – amonio geležies sulfato normalingumas, $N = 0,125$; X – mėginio kiekis, panaudotas ChDS_{Cr} nustatymui, ml; F – koreliacijos koeficientas, apskaičiuotas pagal (3) formulę.

2.3. Vamzdynų nuogulų granulimetrinės sudėties nustatymo metodika

Tyrimai buvo atliekami imant nuogulų mėginius, nugrandant juos nuo ilgą laiką (apie 50 metų) eksploatuotų vandentiekio vamzdynų. Buvo nagrinėjami du nuogulų mėginiai, kurie paimti iš Vilniaus miesto skirtingų vietų. Pirmasis mėginys paimtas iš Žuvėdrų gatvėje esančio vandentiekio tinklo, vamzdyno medžiaga – ketus, skersmuo Ø150 mm. Antrasis mėginys paimtas iš Laisvės prospekto, vamzdyno medžiaga – plienas, skersmuo Ø500 mm.

Paimti mėginiai buvo išdžiovinti elektrinėje krosnyje iki pastovios masės. Mėginių analizė atlikta VGTU Vandentvarkos mokomojoje laboratorijoje.

Granulimetrinė nuogulų sudėtis nustatoma taikant granulimetrinės analizės sietų metodą pagal ISO/TS 17892-4:2004 standartą. Išdžiovinti nuogulų mėginiai buvo pasverti 0,01 g tikslumu.

Tyrimas pradedamas pasvertą mėginį trinant porcelianinėje lėkštelėje grūstuvėliu (8 pav.) tol, kol tiriamo mėginio nuogulos suskaidomas į atskiras nesulipusias daleles ir sijoiant jį rankomis 200 mm skersmens sietų kolona, kurių akučių dydis yra 1,0 mm, 0,8 mm, 0,6 mm, 0,5 mm, 0,3 mm ir 0,2 mm.



8 pav. Nuogulos trinamos grūstuvėliu porcelianinėje lėkštelėje.

Mėginys supilamas į viršutinį sietų kolonos sietą ir sijojamas rankomis tol, kol nuogulų dalelės per sieto akutes nebebyrės. Sijojimo kokybei patikrinti, sijojimas baigiamas kiekvieną sietą sijoiant atskirai virš balto popieriaus lapo. Likusios ant sieto nuogulų dalelės papildomai trinamos porcelianinėje garinimo lėkštelėje grūstuvėliu tol, kol nuogulų dalelės per kiekvieno atskiro sieto akutes nebebyrės. Dalelės prabyrėjusios per sieto akutes supilamos į žemiau esantį sietą.

Nuogulų dalelės, likusios ant kiekvieno sieto, surenkamos į porcelianinius dubenėlius (9 pav.).



9 pav. Nuogulų dalelės, likusios ant kiekvieno sieto, supiltos į porcelianinius dubenėlius.

Kiekvienas porcelianinis dubenėlis pasveriamas 0,0001 g tikslumu laboratorinėmis elektroninėmis svarstyklėmis.

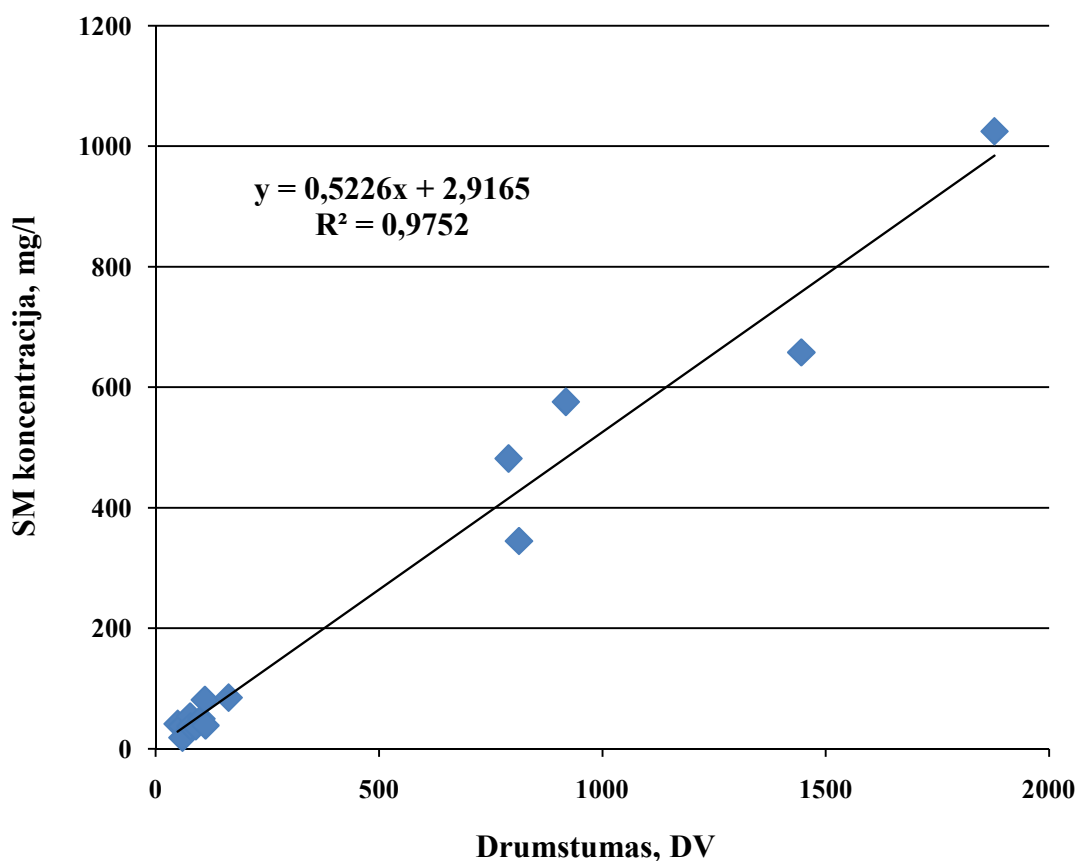
Visi gauti rezultatai apdoroti ir pateikti 3 skyriuje.

3. EKSPERIMENTINIAI DUOMENYS IR JŲ APTARIMAS

3.1. Skendinčių medžiagų koncentracija ir drumstumas

Skendinčių medžiagų koncentracija ir drumstumas buvo nustatomi imant vandens mėginius iš atvežto vandens, iš talpos Nr.1 iškart po vandens sumaišymo (140 l vandentiekio vandens buvo sumaišyta su 10 l atvežto vandens) ir prieš išleidžiant į nuotakyną jau atidirbusį vandenį.

Skendinčių medžiagų priklausomybės nuo drumstumo grafikas pateiktas 10 pav..



10 pav. Skendinčių medžiagų (SM) koncentracijos priklausomybė nuo drumstumo grafikas.

Iš grafiko (10 pav.) matyti, kad SM priklausomybė nuo drumstumo yra tiesinė, kurios lygtis $y = 0,5226x + 2,9165$, čia x – drumstumas (DV), y – SM (mg/l). Atliekant tolimesnius tyrimus pakanka nustatyti drumstumą ir, pasinaudojus priklausomybės lygtimi, galima apskaičiuoti skendinčių medžiagų koncentraciją.

3.2. Vamzdyno nuogulų kaupimąsi įtakuojančiųjų analizių vertinimas

Vandens ir vamzdyno nuogulų mėginiai iš vamzdžių buvo imami iš karto po nakties režimo. Nustatyti šie rodikliai: bendrosios geležies, mangano junginių, amonio jonų, nitratų, nitritų koncentracijos, drumstumas bei vamzdyno nuogulų ChDS_{Cr}. Atliktų tyrimų rezultatai pateikti 2 lentelėje, kurioje mėginys:

- 1 – iš cinkuoto plieno vamzdžio (stendas Nr.1);
- 2 – iš seno plieno vamzdžio (stendas Nr.1);
- 3 – iš PE vamzdžio (stendas Nr.1);
- 4 – iš PE vamzdžio (stendas Nr.2);
- 5 – iš cinkuoto plieno vamzdžio (stendas Nr.2);
- 6 – iš seno plieno vamzdžio (stendas Nr.2);
- 7 – iš PE vamzdžio (stendas Nr.2, nuolat teka vanduo).

2 lentelė. Eksperimentinių stendų mėginių analizės duomenys

Mėginys	Data	Vandens užsistovėjimo trukmė, val.	Amonis, mg/l	Nitratai, mg/l	Nitritai, mg/l	Geležis mg/l	Manganas, mg/l	ChDS _{Cr} , mg O ₂ /l	Drumstumas, DV
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2009.11.10	114,0	-	-	-	-	-	283,83	-
	2009.11.20	180,5	0,11	3,8	0,03	0,99	0,61	116,42	18
	2009.11.27	125,5	0,14	5,8	0,06	4,75	0,87	161,07	30
	2009.12.05	140,0	0,09	6,3	0,14	1,12	0,53	413,88	14
	2009.12.19	242,5	0,25	8,9	0,11	4,83	5,52	325,28	118
	2009.12.29	192,0	0,14	9,5	0,11	5,23	0,98	-	22
	2010.01.02	266,5	0,17	3,9	0,04	3,06	1,46	367,61	18
	2010.01.09	124,5	0,09	6,5	0,09	5,30	1,28	-	28
	2010.01.16	248,5	0,06	6,1	0,04	0,71	0,28	345,07	6
	2010.01.23	127,5	0,08	4,1	0,04	2,52	0,47	-	19
	2010.01.29	234,5	0,09	4,2	0,04	1,19	0,43	536,48	20
	2010.02.08	190,0	0,26	2,3	0,03	1,80	0,51	-	11
	2010.02.13	270,0	0,11	5,2	0,04	3,11	0,75	-	22
	2010.03.27	998,5	0,18	7,8	0,03	4,72	2,16	446,10	-
	2010.04.27	745,5	0,15	2,7	0,03	4,65	0,59	361,42	-

2 lentelės tęsinys. Eksperimentinių standų mėginių analizės duomenys

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	2009.11.10	114,0	-	-	-	-	-	274,06	-
	2009.11.20	180,5	0,52	6,8	0,09	4,49	1,22	33,36	34
	2009.11.27	125,5	0,33	4,5	0,09	4,73	1,32	199,39	37
	2009.12.05	140,0	0,10	4,4	0,07	3,88	1,11	223,44	29
	2009.12.19	242,5	0,10	6,3	0,07	5,13	1,84	262,48	40
	2009.12.29	192,0	0,12	2,3	0,07	5,03	2,20	-	55
	2010.01.02	266,5	0,13	4,5	0,08	4,77	2,45	1254,66	48
	2010.01.09	124,5	0,07	2,9	0,04	4,20	1,19	-	20
	2010.01.16	248,5	0,08	3,5	0,04	1,88	0,48	1026,35	10
	2010.01.23	127,5	0,19	5,3	0,08	5,05	1,08	-	46
	2010.01.29	234,5	0,17	5	0,06	1,33	0,35	777,54	15
	2010.02.08	190,0	0,13	1,5	0,03	2,43	0,54	-	9
	2010.02.13	270,0	0,07	7,1	0,05	2,83	0,64	-	18
	2010.03.27	998,5	0,62	4,9	0,04	4,67	0,97	525,35	-
	2010.04.27	745,5	0,36	5,2	0,04	2,29	0,40	522,59	-
3	2009.11.10	114,0	-	-	-	-	-	142,16	-
	2009.11.20	180,5	0,15	2,9	0,02	1,46	0,65	94,42	12
	2009.11.27	125,5	0,09	11,8	0,04	2,06	0,71	162,49	15
	2009.12.05	140,0	0,10	4,2	0,03	1,90	1,01	71,73	21
	2009.12.19	242,5	0,35	6,1	0,17	5,12	0,24	174,72	200
	2009.12.29	192,0	0,08	4,8	0,03	2,03	0,68	-	17
	2010.01.02	266,5	0,14	5,9	0,03	1,93	2,56	109,48	12
	2010.01.09	124,5	0,08	5,5	0,03	2,90	1,01	-	16
	2010.01.16	248,5	0,07	7,6	0,02	0,73	0,32	56,90	5
	2010.01.23	127,5	0,06	2,7	0,03	1,13	0,39	-	11
	2010.01.29	234,5	0,15	3,8	0,03	0,82	0,90	113,02	14
	2010.02.08	190,0	0,07	3,4	0,02	0,59	0,29	-	6
	2010.02.13	270,0	0,22	7,6	0,03	2,05	0,42	94,87	16
	2010.03.27	998,5	0,03	5,8	0,02	0,65	0,37	209,63	-
	2010.04.27	745,5	0,10	5,1	0,02	0,46	0,69	347,37	-
4	2009.11.20	294,5	0,16	4,8	0,02	0,38	0,18	119,26	2
	2009.11.27	125,5	0,06	6,5	0,02	0,14	0,23	64,57	1
	2009.12.05	140,0	0,05	3,9	0,02	0,13	0,29	41,90	1
	2009.12.19	242,5	0,05	6,5	0,02	0,14	0,19	66,02	0
	2009.12.29	192,0	0,05	7,2	0,02	0,17	0,34	-	1
	2010.01.02	266,5	0,05	3,3	0,02	0,14	0,85	69,53	0
	2010.01.09	124,5	0,06	9,3	0,02	0,14	0,37	-	0
	2010.01.16	248,5	0,04	2,9	0,02	0,15	0,29	50,25	0
	2010.01.23	127,5	0,06	2,5	0,02	0,14	0,32	-	0
	2010.01.29	234,5	0,11	5,1	0,02	1,47	0,30	40,06	11
	2010.02.08	190,0	0,08	5,2	0,02	0,15	0,37	-	3
	2010.02.13	270,0	0,08	4,5	0,02	0,15	0,21	95,59	1
	2010.03.27	998,5	0,08	6,1	0,02	0,24	1,35	93,31	-
	2010.04.27	745,5	0,15	5,7	0,03	0,13	0,96	180,71	-

2 lentelės tęsinys. Eksperimentinių standų mėginių analizės duomenys

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	2009.11.20	294,5	0,08	2,2	0,02	0,20	0,17	154,76	2
	2009.11.27	125,5	0,14	9,7	0,03	0,32	0,24	139,07	3
	2009.12.05	140,0	0,08	3,2	0,03	0,10	0,16	133,94	2
	2009.12.05	242,5	0,07	2,8	0,03	0,16	0,79	132,85	1
	2009.12.29	192,0	0,05	2,1	0,03	0,13	0,18	-	1
	2010.01.02	266,5	0,06	3,6	0,02	0,13	0,30	135,86	1
	2010.01.09	124,5	0,10	5,3	0,06	0,14	0,18	-	1
	2010.01.16	248,5	0,05	2,6	0,07	0,11	0,19	156,65	1
	2010.01.23	127,5	0,05	4,6	0,08	0,12	0,06	-	1
	2010.01.29	234,5	0,04	2,7	0,03	0,13	0,41	86,55	1
	2010.02.08	190,0	0,15	4,7	0,03	0,13	0,25	-	1
	2010.02.13	270,0	0,06	4,5	0,04	0,16	0,17	174,65	1
	2010.03.27	998,5	0,24	6,8	0,02	0,41	0,20	72,86	-
	2010.04.27	745,5	0,25	5,6	0,03	0,50	0,22	183,15	-
6	2009.11.20	294,5	0,18	2,9	0,08	4,78	2,10	85,19	87
	2009.11.27	125,5	0,10	4,7	0,08	4,47	1,26	63,15	43
	2009.12.05	140,0	0,09	5,7	0,07	4,56	0,97	39,36	32
	2009.12.19	242,5	0,05	5,6	0,04	3,61	0,12	146,54	22
	2009.12.29	192,0	0,08	3,6	0,04	3,42	0,83	-	18
	2010.01.02	266,5	0,08	6,9	0,04	4,80	1,04	151,84	29
	2010.01.09	124,5	0,07	5,4	0,03	4,20	0,83	-	16
	2010.01.16	248,5	0,10	3,7	0,05	4,81	0,81	138,18	37
	2010.01.23	127,5	0,05	3,5	0,03	2,81	0,64	-	11
	2010.01.29	234,5	0,08	5,5	0,03	1,96	0,40	145,92	12
	2010.02.08	190,0	0,11	5,3	0,04	4,42	0,81	-	19
	2010.02.13	270,0	0,09	4,8	0,03	2,39	0,63	113,56	15
	2010.03.27	998,5	0,25	6,6	0,03	2,44	0,36	175,12	-
	2010.04.27	745,5	0,30	5	0,03	2,86	0,32	233,82	-
7	2009.12.05	560,0	0,06	3,7	0,03	0,11	0,22	-	1
	2009.12.19	802,5	0,08	3	0,02	0,10	0,16	73,27	0
	2009.12.29	192,0	0,06	8,2	0,02	0,12	0,13	-	1
	2010.01.02	266,5	0,05	3,5	0,02	0,40	0,18	75,92	2
	2010.01.09	124,5	0,08	7,2	0,02	0,14	0,45	-	0
	2010.01.16	248,5	0,05	2,7	0,02	0,13	0,13	59,11	0
	2010.01.23	127,5	0,04	9,1	0,02	0,11	0,04	-	0
	2010.01.29	234,5	0,05	3,3	0,03	0,49	0,17	39,34	6
	2010.02.08	190,0	0,07	8,9	0,02	0,11	0,12	-	1
	2010.02.13	270,0	0,11	6,4	0,02	0,12	0,19	69,00	1
	2010.03.27	998,5	0,09	4,9	0,02	0,13	0,20	7,03	-
	2010.04.27	-	-	-	-	-	-	61,05	-

2 lentelės tęsinys. Eksperimentinių stendų mėginių analizės duomenys

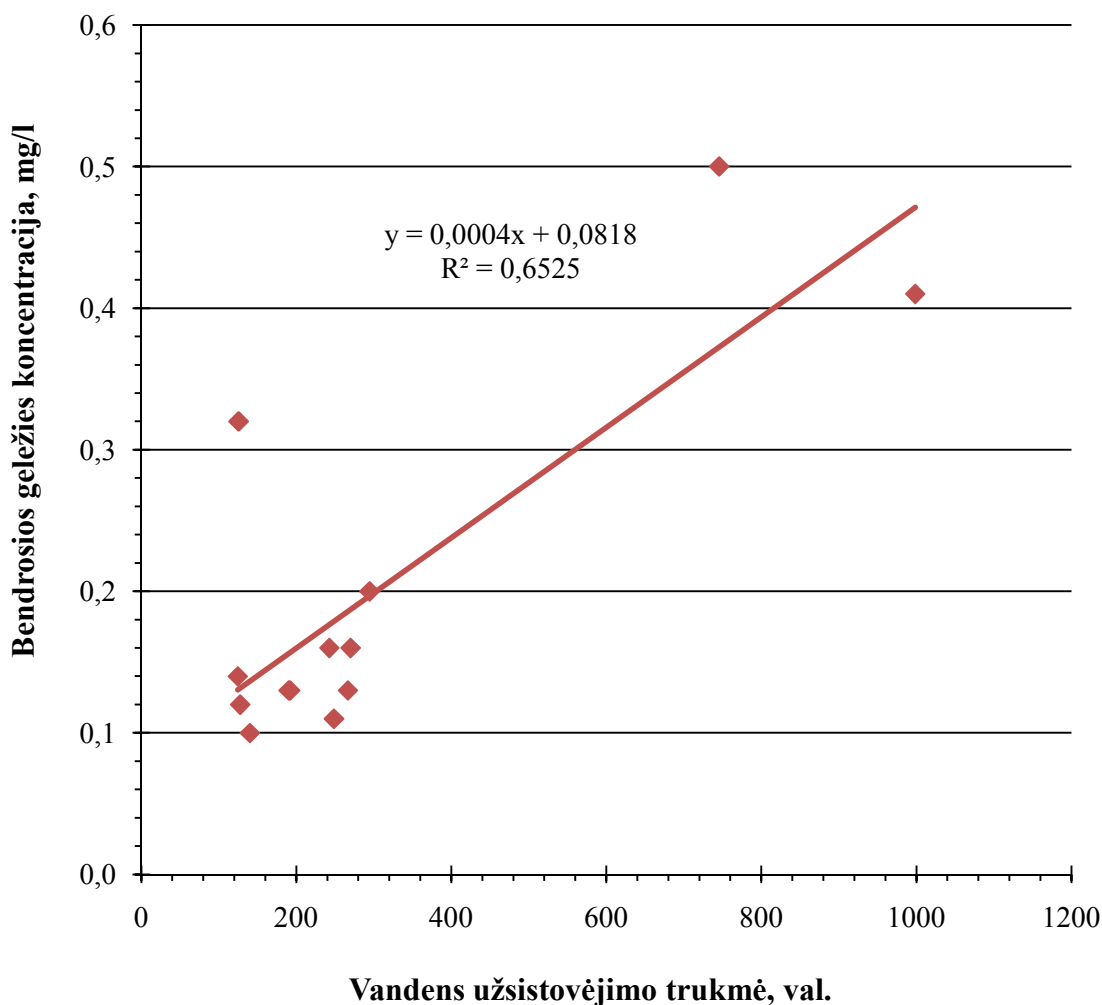
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vanduo iš talpos Nr. 1 (jau atidirbęs)	2009.11.10	-	0,06	2,2	0,07	4,78	1,62	-	-
	2009.11.17	-	0,21	2,8	0,09	4,60	4,11	-	90
	2009.11.27	-	0,30	6	0,08	4,80	1,76	-	68
	2009.12.05	-	0,27	6	0,09	5,18	3,23	-	77
	2009.12.19	-	0,13	6,7	0,09	4,98	5,82	-	66
	2009.12.29	-	0,14	9,8	0,13	5,06	6,02	-	70
	2010.01.02	-	0,16	1,2	0,09	5,08	4,01	-	34
	2010.01.09	-	0,13	6,8	0,08	5,20	3,48	-	52
	2010.01.16	-	0,06	2,6	0,06	5,29	2,11	-	63
	2010.01.23	-	0,08	4,9	0,04	4,34	0,65	-	21
	2010.01.29	-	0,31	4,2	0,06	5,96	1,04	-	97
	2010.02.08	-	0,13	5,8	0,04	3,30	0,84	-	27
	2010.02.13	-	0,17	5,5	0,08	5,92	2,44	-	83
	2010.03.27	-	0,12	7,7	0,02	0,73	0,19	-	-
Vanduo iš talpos Nr. 1 (naujai keičiamas)	2009.11.17	-	0,15	2,6	0,06	4,91	3,25	-	60
	2009.12.19	-	0,14	4,6	0,16	4,98	10,18	-	93
	2009.12.29	-	0,14	9,3	0,09	5,23	4,82	-	54
	2010.01.02	-	0,13	2,7	0,08	5,18	3,68	-	38
	2010.01.09	-	0,10	5,2	0,03	4,20	2,41	-	18
	2010.01.16	-	0,11	4,5	0,05	5,18	1,18	-	14
	2010.01.23	-	0,18	3,7	0,08	5,21	1,03	-	73
	2010.01.29	-	0,18	6,4	0,04	5,02	0,93	-	47
	2010.02.08	-	0,14	5,4	0,06	5,25	1,62	-	66

Pastabos:  Vandentiekio tinkle buvo įvykusi avarija.
 Mėginiai paimti iš vamzdyno dalies, iš kurios niekada prieš tai nebuvo imti.
 Vamzdžiu ilgą laiką netekėjo vanduo.

Lentelėje pateikta vandens užsistovėjimo trukmė – trukmė (val.), kuomet vanduo užsistovėdavo vamzdyje, tarp vamzdyno nuogulų mėginių ėmimo intervalų. Atliekant analizių vertinimą, nevertinami rezultatai, kai vandentiekio tinkle buvo įvykusi avarija.

Iš 2 lentelės duomenų matyti, kad PE (4) vamzdyje, bendrosios geležies koncentracija buvo mažiausia (0,13–0,38 mg/l). Tik dvejuose mėginiuose koncentracija viršijo higienos normos HN 24:2003 reikalavimus (0,2 mg/l). Bendrosios geležies kiekiai nepriklauso nuo vandens užsistovėjimo trukmės.

Cinkuoto plieno (5) vamzdyje bendrosios geležies koncentracija buvo didesnė nei PE vamzdyje (0,10–0,50 mg/l). Cinkuoto plieno vamzdyje bendrosios geležies koncentracija didėja ilgėjant vandens užsistovėjimo trukmei (11 pav.).



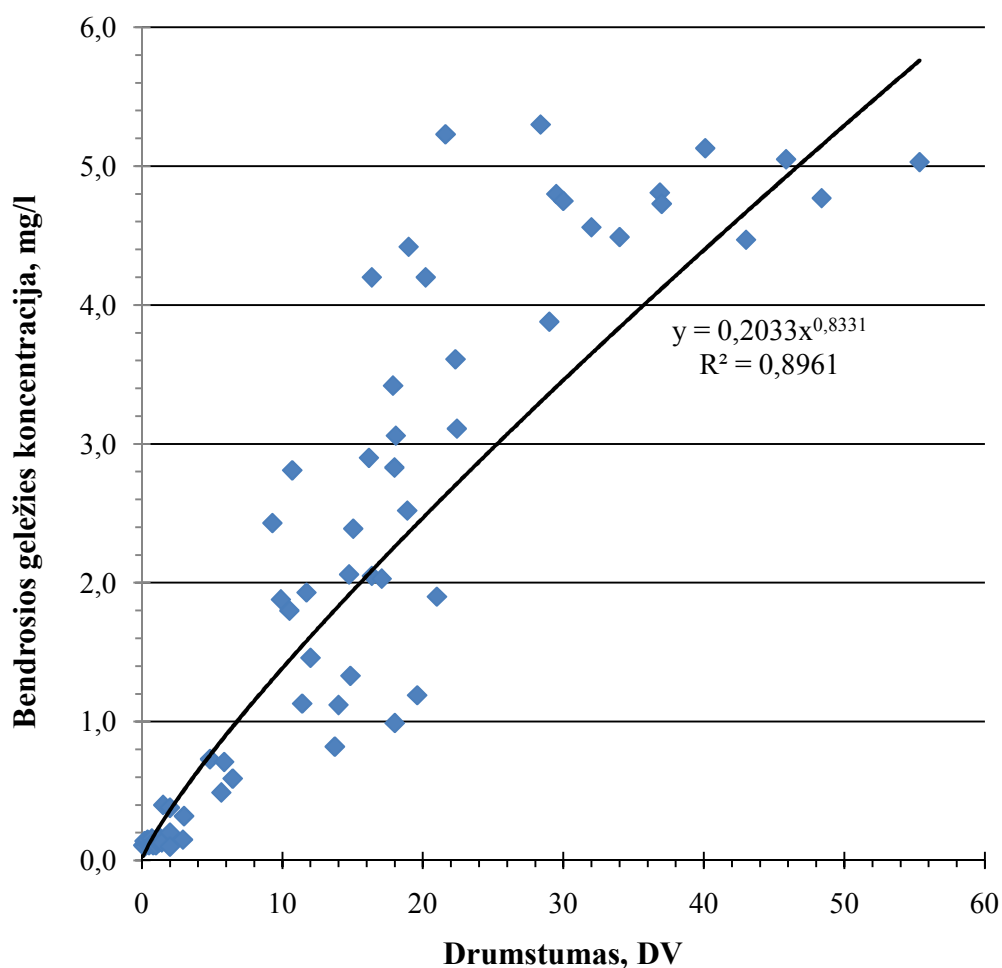
11 pav. Bendrosios geležies koncentracijos cinkuoto plieno vamzdyje (5) priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas.

Iš 11 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad priklausomybė tarp bendrosios geležies koncentracijos ir vandens užsistovėjimo trukmės yra tiesinė. Priklausomybės lygtis yra $y = 0,0004x + 0,0818$, čia x – vandens užsistovėjimo trukmė (val.), y – bendrosios geležies koncentracija (mg/l).

Didžiausi bendrosios geležies kiekiai buvo seno plieno (6) vamzdyje (2,39–4,81 mg/l), koncentracija daugiau nei 12 kartų viršijo leistiną normą. Bendrosios geležies kiekiai tokie dideli todėl, kad vamzdis yra paveiktas korozijos, korozijos produktai atsiskiria nuo vamzdžio sienelių ir patenka į vandens srovę. Seno plieno vamzdyje bendrosios geležies kiekiai nepriklauso nuo vandens užsistovėjimo trukmės. Iš pradžių, ilgėjant vandens užsistovėjimo trukmei, bendrosios geležies koncentracija didėjo, tačiau užsistovėjus vandeniui vamzdyje ilgiau nei 295 val. mėginyje buvo nustatyti mažesni bendrosios geležies kiekiai. Tai galima

paiškinti tuo, kad ilgiau užsistovint vandeniui vamzdyne (ilgiau nei 295 val.), geležies dalelės nusėda ant vamzdžio dugno.

Bendrosios geležies kiekis vandenyje priklauso nuo vandens drumstumo (12 pav.). 12 paveikslo grafike pavaizduota bendrosios geležies koncentracijos priklausomybė nuo vandens drumstumo stendų Nr.1 ir Nr.2 vamzdynuose. Iš grafiko matyti, kad priklausomybė yra laipsninė, kurios lygtis $y = 0,2033x^{0,8331}$, čia x – drumstumas (DV), y – bendrosios geležies koncentracija (mg/l). Kuo didesnis vandens drumstumas, tuo didesni bendrosios geležies kiekiai vandenyje.



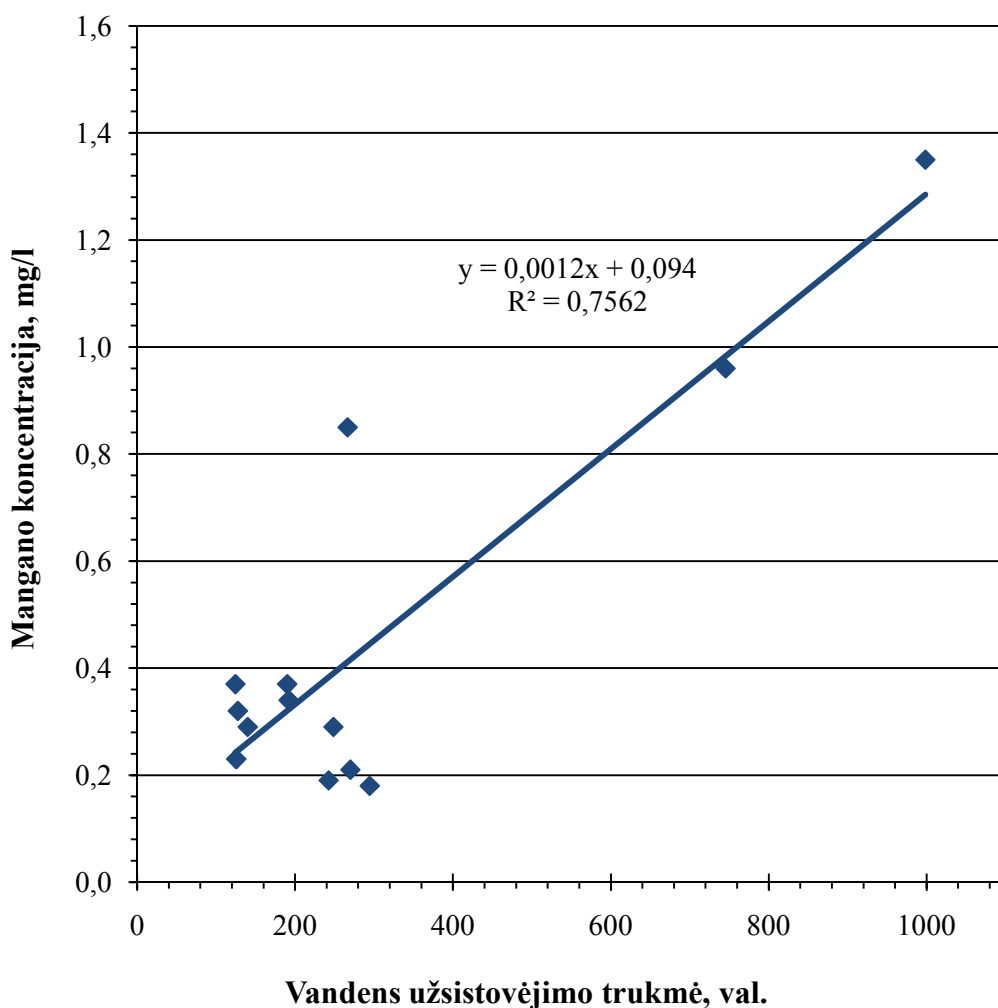
12 pav. Bendrosios geležies koncentracijos priklausomybės nuo vandens drumstumo grafikas stendų Nr.1 ir Nr.2 vamzdynuose.

Iš 2 lentelės duomenų matyti, kad mažiausia mangano koncentracija buvo cinkuoto plieno (5) vamzdyje (0,06–0,79 mg/l). Cinkuoto plieno vamzdyje mangano koncentracija nepriklauso nuo vandens užsistovėjimo trukmės.

Kai vandens užsistovėjimo trukmė buvo trumpesnė nei 295 val., mangano kiekis didžiausias buvo seno plieno (6) vamzdžio mėginiuose (0,12–2,10 mg/l). Tačiau ilgiau

užsistovint vandeniui vamzdyne, mangano kiekis sumažėjo. Seno plieno vamzdžiuose mangano koncentracija nepriklauso nuo vandens užsistovėjimo trukmės.

PE (4) vamzdyje tarp mangano koncentracijos ir vandens užsistovėjimo trukmės yra tiesinė priklausomybė, kurios lygtis $y = 0,0012x + 0,094$, čia x – vandens užsistovėjimo trukmė (val.), y – mangano koncentracija (mg/l) (13 pav.).

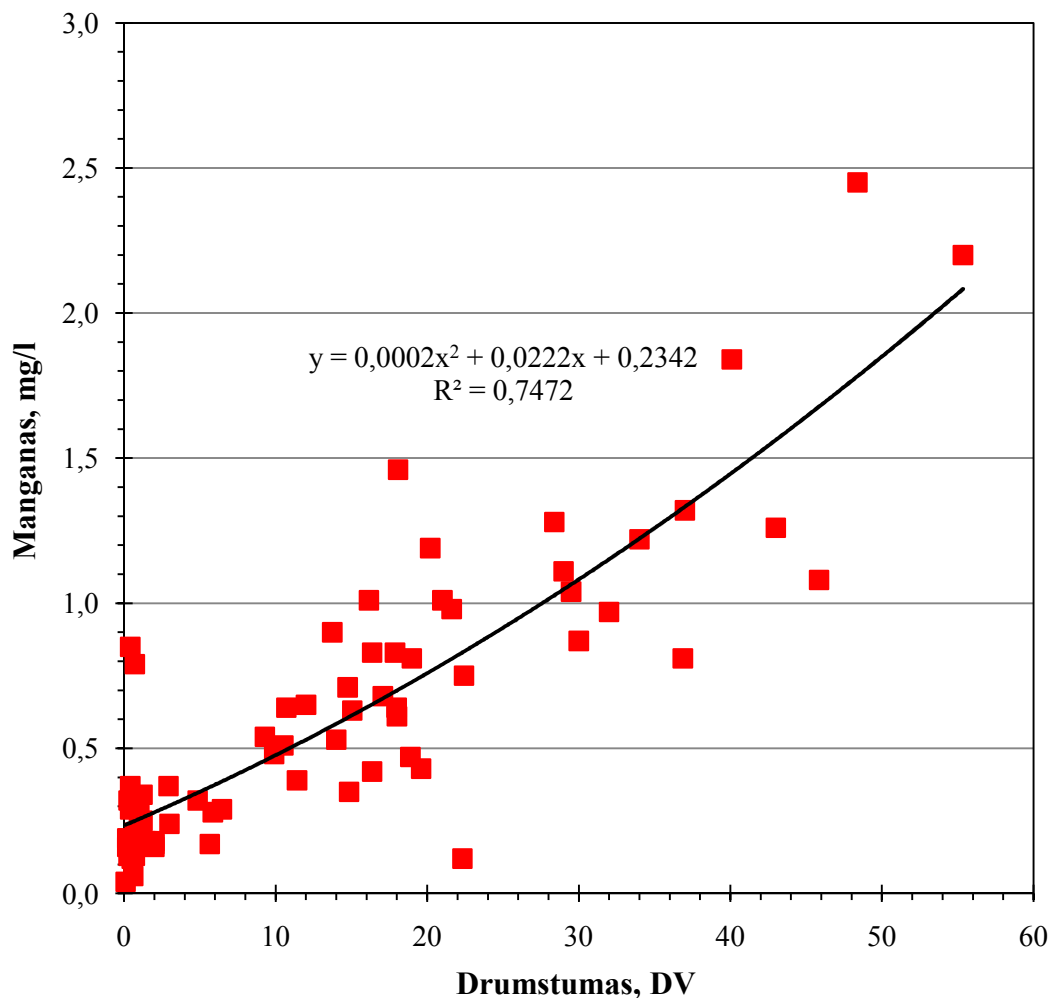


13 pav. Mangano koncentracijos PE vamzdyje (4) priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas.

Kai vandens užsistovėjimo trukmė buvo trumpesnė nei 295 val. PE (4) vamzdžio mėginiuose mangano koncentracija buvo mažesnė nei seno plieno vamzdyje (0,18–0,85 mg/l). PE (4) vamzdyje užsistovėjus vandeniui ilgiau nei 295 val. mangano kiekis vandenyje buvo 3 kartus didesnis nei seno plieno vamzdyje (padidėjo iki 1,35 mg/l). Tai galima paaiškinti tuo, kad PE medžiaga yra nepolinė ir negali keistis elektronais su manganu, kuris prisitvirtina prie vamzdžio paviršiaus ir suformuoja nuogulas, o vandens tekėjimo sukiamas slėgis tarp

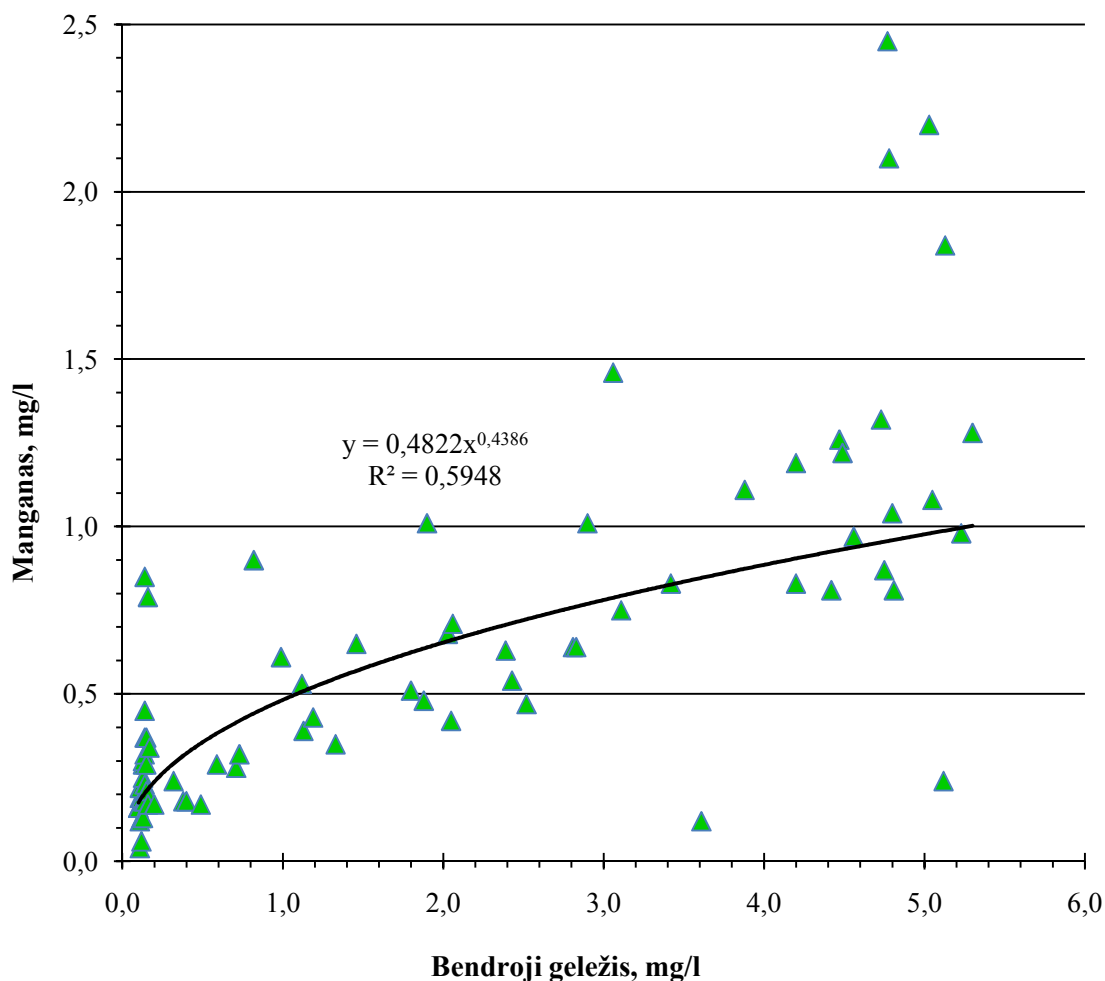
vandens ir vamzdžio paviršiaus skatina mangano išsiskyrimą iš vamzdyno nuogulų. Tuo tarpu seno plieno vamzdyje manganas įsiskverbė į geležies gumburėlius.

Visų vamzdžių vandens mėginiuose mangano koncentracija viršijo higienos normos HN 24:2003 reikalavimus (0,05 mg/l).



14 pav. Mangano koncentracijos priklausomybės nuo vandens drumstumo grafikas stendų Nr.1 ir Nr.2 vamzdynuose.

Iš 14 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad mangano koncentracija vandenyje, kaip ir bendrosios geležies koncentracija, priklauso nuo vandens drumstumo. Priklausomybė tarp mangano kiekio ir drumstumo yra polinominė, kurios lygtis $y = 0,0002x^2 + 0,0222x + 0,2342$, čia x – drumstumas (DV), y – mangano koncentracija (mg/l). Didėjant vandens drumstumui, didėjo ir mangano kiekis vandenyje.

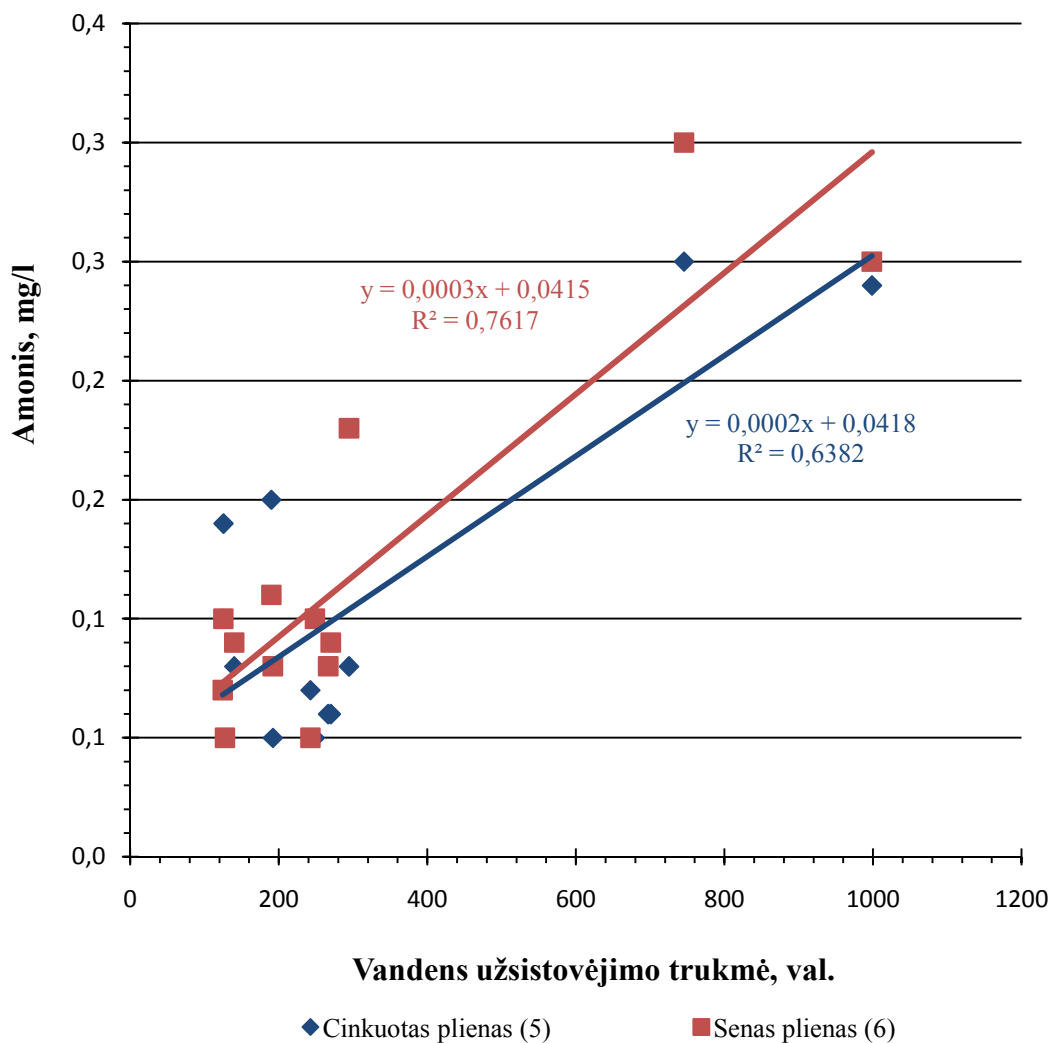


15 pav. Mangano priklausomybės nuo bendrosios geležies grafikas stendų Nr.1 ir Nr.2 vamzdiniuose.

Mangano koncentracija priklauso ir nuo bendrosios geležies koncentracijos vandenyje (15 pav.). Kuo daugiau bendrosios geležies, tuo daugiau ir mangano vandenyje. Iš grafiko (15 pav.) matyti, kad priklausomybė yra laipsninė, kurios lygtis $y = 0,4822x^{0,4386}$, čia x – bendrosios geležies koncentracija (mg/l), y – mangano koncentracija vandenyje (mg/l).

Vandens mėginiuose iš PE (4) vamzdžio nustatyta mažiausia amonio jonų koncentracija (0,04–0,16 mg/l). Tarp amonio jonų koncentracijos vandenyje ir vandens užsistovėjimo trukmės vamzdyne priklausomybės nebuvo.

Amonio jonų koncentracijų kitimai cinkuoto plieno (5) ir seno plieno (6) vamzdžiuose, priklausomai nuo vandens užsistovėjimo trukmės, pateikti 16 paveikslo grafike.



16 pav. Amonio jonų koncentracijos priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas.

Iš 16 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad cinkuoto (5) ir seno (6) plieno vamzdžiuose tarp amonio jonų koncentracijos ir vandens užsistovėjimo trukmės yra tiesinės priklausomybės. Didžiausias amonio jonų kiekis nustatytas seno plieno vamzdžiuose (0,05–0,30 mg/l). Cinkuoto plieno vamzdžio mėginiuose amonio jonų koncentracija svyravo nuo 0,05 iki 0,25 mg/l.

Visuose mėginiuose amonio koncentracija neviršijo higienos normos HN 24:2003 reikalavimų (0,50 mg/l).

Mažiausi nitritų kiekiai nustatyti vandens mėginiuose iš PE (4) vamzdžio (0,02–0,03 mg/l). Didžiausia nitritų koncentracija nustatyta seno plieno (6) vamzdžio mėginiuose (0,03–0,08 mg/l). Cinkuoto plieno (5) vamzdžio mėginiuose nitritų nustatyta 0,02–0,08 mg/l. Nustatyta, kad nitritų kiekis vandenyje nepriklauso nuo vandens užsistovėjimo trukmės vamzdyne.

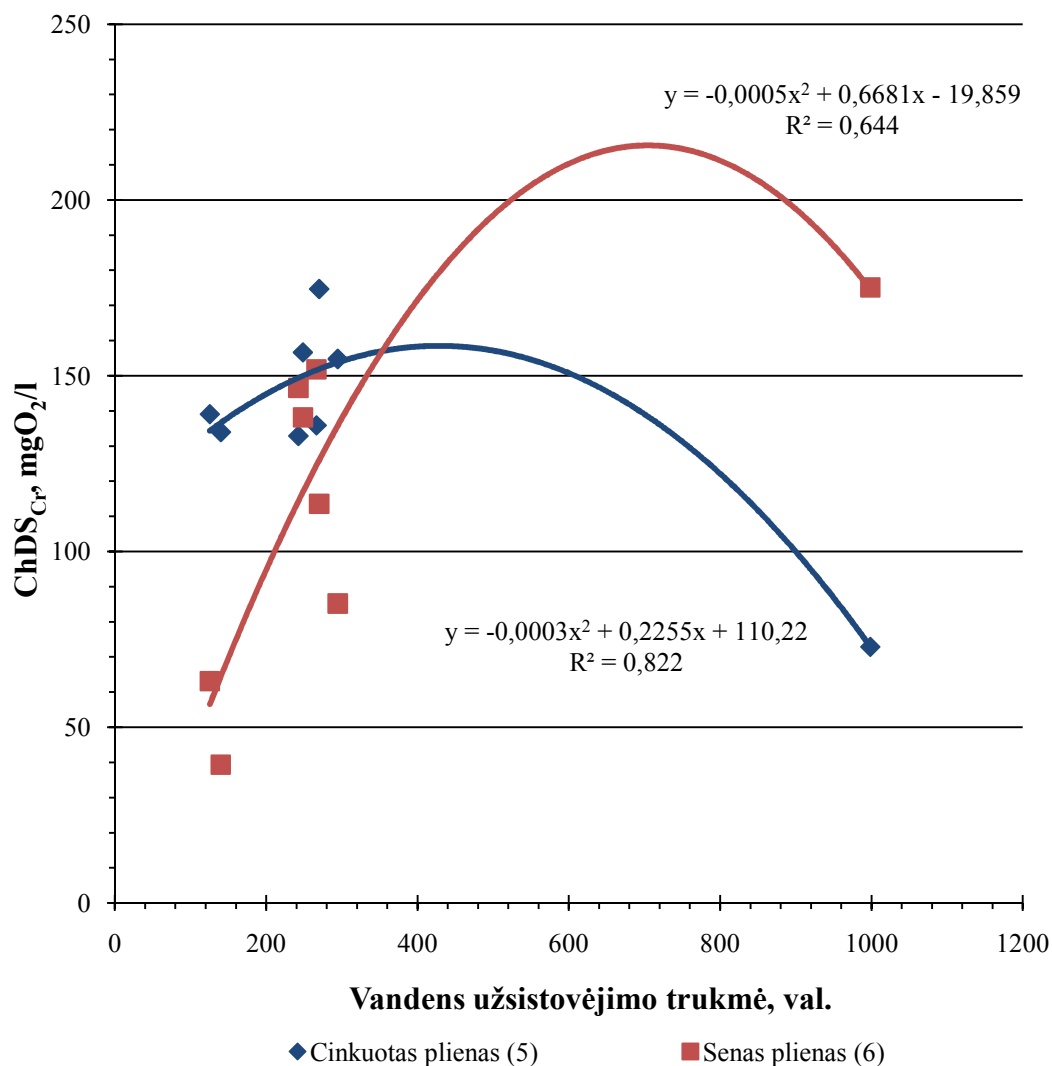
Visuose vamzdžiuose nitritų koncentracija neviršijo higienos normos HN 24:2003 reikalavimų (0,50 mg/l).

Nitratų koncentracijos pokyčiai vandenyje parodo denitrifikacijos proceso intensyvumą geriamojo vandens tiekimo sistemoje. Nitratų koncentracija visuose vamzdžiuose nepriklausė nuo vandens užsistovėjimo trukmės vamzdyne. Nitratų kiekiai visų vamzdžių mėginiuose buvo panašūs ir svyravo nuo 2,1 iki 9,7 mg/l.

Eksperimentiniame stende Nr.1 buvo naudojamas vandentiekio vanduo sumaišytas su atvežtu neruoštu vandeniu iš vamzdynų. Atvežtame vandenyje buvo didelės bendrosios geležies (4,2–5,25 mg/l) ir mangano (0,93–10,18 mg/l) koncentracijos. Eksperimentiniame stende Nr.2 vanduo buvo tiekiamas iš vandentiekio, kuriame bendrosios geležies buvo vidutiniškai 0,15 mg/l, o mangano – 0,18 mg/l. Vandens kokybė skirtingai įtakojė vamzdyno nuogulų susidarymą, tai parodo skirtingos $ChDS_{Cr}$ reikšmės. Iš 2 lentelėje pateiktų duomenų galima pastebėti, kad nuogulų $ChDS_{Cr}$ reikšmės buvo didesnės eksperimentinio stendo Nr.1 mėginiuose. Cheminis deguonies suvartojimas ($ChDS$) parodo vandens užterštumą organinėmis medžiagomis.

Eksperimentinio stendo Nr.1 didžiausios nuogulų $ChDS_{Cr}$ reikšmės buvo seno plieno (2) vamzdyje (33–1255 mgO_2/l), o mažiausios – PE (3) vamzdyje (57–210 mgO_2/l). Cinkuoto plieno vamzdyje nuogulų $ChDS_{Cr}$ svyravo 116–536 mgO_2/l . Nuogulų $ChDS_{Cr}$ reikšmės nepriklausė nuo vandens užsistovėjimo trukmės.

Eksperimentinio stendo Nr. 2 PE (4) vamzdžio nuogulų $ChDS_{Cr}$ vertės buvo mažiausios (42–119 mgO_2/l). Didžiausios nuogulų $ChDS_{Cr}$ reikšmės buvo cinkuoto plieno (5) vamzdyje (73–175 mgO_2/l) ir didėjo, ilgėjant vandens užsistovėjimo trukmei. Tačiau, kai vanduo užsistovėjo 999 valandas, $ChDS_{Cr}$ reikšmė buvo nustatyta mažiausia (73 mgO_2/l), lyginant su PE (4) ir seno plieno (6) vamzdžiais. Seno plieno (6) vamzdžio nuogulų mėginiuose $ChDS_{Cr}$ buvo 73–175 mgO_2/l . Tarp PE (4) vamzdžio $ChDS_{Cr}$ ir vandens užsistovėjimo trukmės nebuvo priklausomybės. Tačiau priklausomybė buvo tarp cinkuoto ir seno plieno vamzdžių nuogulų $ChDS_{Cr}$ ir laiko, kurio metu vamzdyne užsistovėjo vanduo (17 pav.).



17 pav. ChDS_{Cr} priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas.

Iš 17 paveiksle pateikto grafiko matyti, kad tarp cinkuoto plieno (5) ir vandens užsistovėjimo trukmės priklausomybė yra polinominė, kurios lygtis: $y = -0,0003x^2 + 0,2255x + 110,22$, čia x – vandens užsistovėjimo trukmė (val.), y – ChDS_{Cr} (mgO₂/l). Tarp seno plieno (6) vamzdžių ChDS_{Cr} ir vandens užsistovėjimo trukmės priklausomybė taip pat polinominė, kurios lygtis $y = -0,0005x^2 + 0,6681x - 19,859$, čia x – vandens užsistovėjimo trukmė (val.), y – ChDS_{Cr} (mgO₂/l).

Iš 2 lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad stendo Nr. 1 nuogulų mėginių, kurie buvo paimti iš vamzdyno dalies, iš kurios niekada prieš tai nebuvo imti, ChDS_{Cr} reikšmės cinkuoto (1) ir seno (2) plieno vamzdžiuose buvo nedaug didesnės už vidutinius, PE (3) vamzdyje nustatyta didžiausia ChDS_{Cr} reikšmė (347 mgO₂/l), lyginant su prieš tai gautais rezultatais. Tuo tarpu stendo Nr.2 ChDS_{Cr} reikšmės buvo didžiausios visuose vamzdžiuose, lyginant su prieš tai gautais rezultatais.

Galima daryti išvadą, kad didesnes $ChDS_{Cr}$ reikšmes lemia blogesnė vandens kokybė, kuri skatina didesnę natūralių organinių medžiagų atsiradimą. Užsistovint vandeniui vamzdyne susidaro palankios sąlygos gyvybinei mikroorganizmų veiklai.

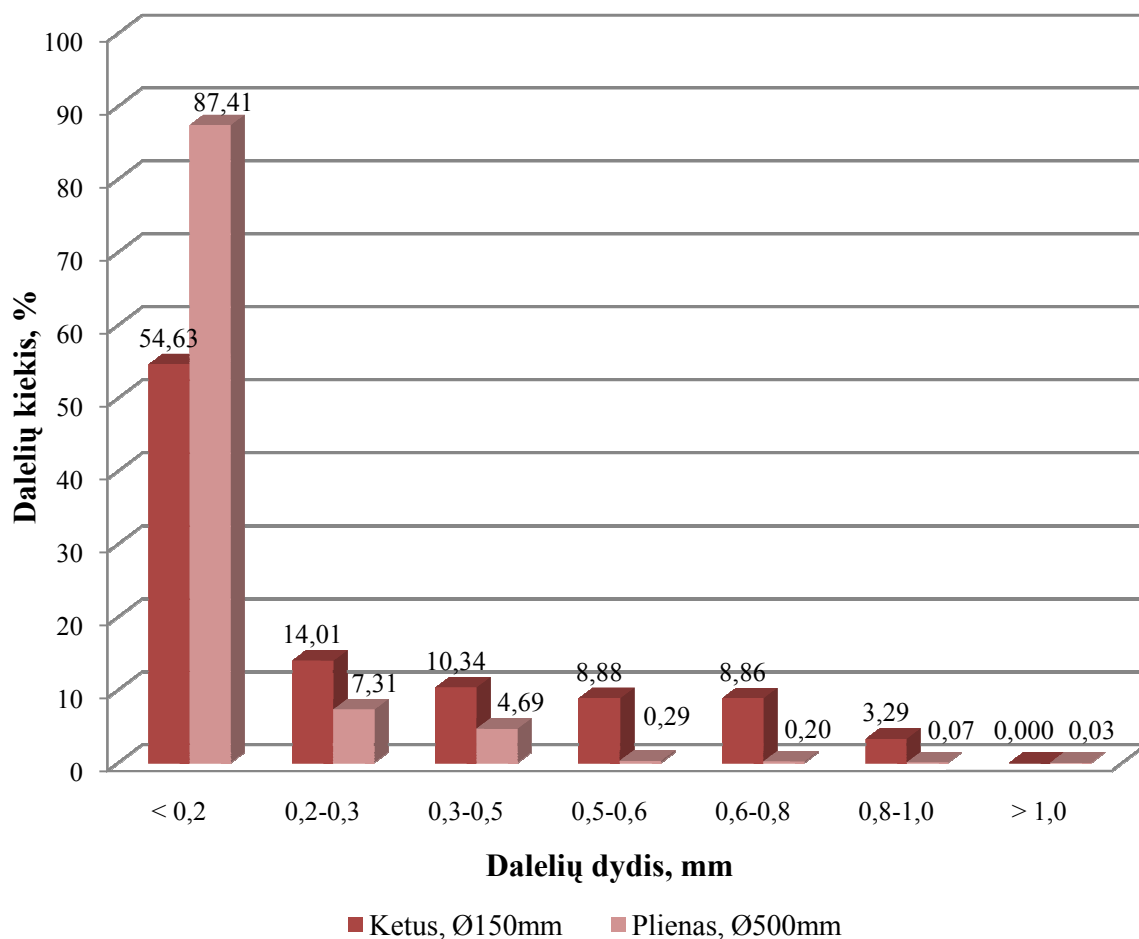
3.3. Vamzdinių nuogulų granulimetrinės sudėties rezultatai

Gauti vamzdinių nuogulų granulimetrinės sudėties rezultatai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Vamzdinių nuogulų granulimetrinė sudėtis.

Dalelių dydis, mm	Granulimetrinė sudėtis			
	Ketus, Ø150 mm (Žuvėdrų g., Vilnius)		Plienas, Ø500 mm (Laisvės pr., Vilnius)	
	g	%	g	%
> 1,0	-	-	0,02	0,03
0,8-1,0	3,38	3,29	0,04	0,07
0,6-0,8	9,09	8,86	0,12	0,20
0,5-0,6	9,11	8,88	0,18	0,29
0,3-0,5	10,61	10,34	2,79	4,69
0,2-0,3	14,37	14,01	4,34	7,31
< 0,2	56,06	54,63	51,97	87,41
Suma	102,63	100,00	59,46	100,00

Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad ketaus vamzdžio nuogulose visos dalelės yra mažesnės už 1,0 mm. Plieninio vamzdžio nuogulų mėginyje dalelės, kurios būtų didesnės už 1,0 mm, sudaro tik 0,03 %.



18 pav. Ketaus ir plieninio vamzdžio nuogulų granulimetrinė sudėtis.

Iš 18 paveikslė pateikto grafiko matyti, kad ketaus ir plieninio vamzdžių granulimetrinė sudėtis skiriasi. Plieninio vamzdžio nuogulų dalelės, kurių dydis didesnis už 0,5 mm sudaro tik 0,59 % visų dalelių kiekio, o ketaus – 21,03 %. Dalelių, kurių dydis 0,2–0,5 mm, dvigubai daugiau ketaus vamzdžio nuogulų mėginyje nei plieninio. Tiek ketaus, tiek plieninio vamzdžio nuogulų pagrindinę dalį sudaro dalelės, kurių dydis mažesnis už 0,2 mm. Plieniniame vamzdyje jos sudaro 87,41 % visų dalelių kiekio, o ketaus – 54,63 %. Tokio smulkumo dalelių pernaša įtakoja vandens kokybės pokyčius vandentiekio tinkluose, padidėja vandens drumstumas, bendrosios geležies ir mangano koncentracijos vandenyje.

Toliau pateikiamos išvados ir siūlymai, kaip išvengti vandens pablogėjimo dėl nuogulų susidarymo.

IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Apžvelgus mokslinės literatūros šaltinius, buvo apibūdintos ant vamzdyno vidinių sienelių susidarančios nuogulos, kurių sudėtyje vyrauja geležies junginiai.
2. Atliekant tyrimus laboratorijoje įrengtame eksperimentiniame stende Nr. 2, nustatyta, kad PE vamzdžio vandens mėginiuose bendrosios geležies koncentracija buvo mažiausia (0,13–0,38 mg/l) ir tik dviuose mėginiuose koncentracija viršijo higienos normos HN 24:2003 reikalavimus (0,2 mg/l). Mangano koncentracija iš pradžių buvo mažesnė nei seno plieno vamzdyje (0,18–0,85 mg/l), tačiau užsistovėjus vandeniui ilgiau nei 295 val. mangano kiekis vandenyje padidėjo 3 kartus (iki 1,35 mg/l).
3. Cinkuoto plieno vamzdžio vandens mėginiuose bendrosios geležies koncentracija buvo didesnė nei PE vamzdyje, tačiau mažesnė nei seno plieno vamzdyje (0,10–0,50 mg/l). O mangano koncentracija buvo mažiausia, lyginant su PE ir seno plieno vamzdžiais (0,06–0,79 mg/l).
4. Seno plieno vamzdžio vandens mėginiuose bendrosios geležies buvo daugiausia (2,39–4,81 mg/l), koncentracija daugiau nei 12 kartų viršijo leistiną normą. Kai vandens užsistovėjimo trukmė buvo trumpesnė nei 295 val., seno plieno vamzdžio mėginiuose mangano kiekis buvo didžiausias (0,12–2,10 mg/l), tačiau ilgiau užsistovint vandeniui vamzdyje, jis sumažėjo. Vanduo buvo drumstas, rusvos spalvos. Didelę įtaką vandens kokybei turėjo korozija, kuri yra paveikusi vamzdį.
5. Amonio, nitritų ir nitratų kiekiai vandens mėginiuose neviršijo higienos HN 24:2003 reikalavimų. Visuose vamzdžiuose amonio ir nitratų koncentracijos didėjo, nitritų – mažėjo, ilgėjant vandens užsistovėjimo trukmei.
6. $ChDS_{Cr}$ rodikliai abiejuose stenduose mažiausi buvo PE vamzdžių nuogulose. Didžiausios nuogulų $ChDS_{Cr}$ reikšmės nustatytos stendo Nr.1 seno plieno vamzdyje (33–1255 mgO_2/l), o stendo Nr.2 – cinkuoto plieno (73–175 mgO_2/l). Palyginus eksperimentinių stendų nuogulų mėginių rezultatus, nustatyta, kad $ChDS_{Cr}$ reikšmės priklauso nuo vandens kokybės, kuris tekėjo vamzdžiais.
7. Nustatyta, kad tiek ketaus, tiek plieninio vamzdžio nuogulų pagrindinę dalį sudaro dalelės, kurių dydis mažesnis už 0,2 mm. Plieniniame vamzdyje jos sudaro 87,41 % visų dalelių kiekio, o ketaus – 54,63 %.
8. Siekiant išvengti vandens kokybės pablogėjimo, rekomenduojama senus vandentiekio vamzdynus renovuoti. Tinkamiausias būdas – senus vamzdynus pakeisti geresnių savybių medžiagų vamzdynais (pvz., PE).

9. Esant dideliems mangano kiekiams vandenyje patartina naudoti plieninius vamzdžius, tačiau padengtus antikorozinėmis dangomis (pvz., cinkuoto plieno vamzdžius).

LITERATŪRA

1. Agatemor, C.; Okolo P. O. 2008. Studies of Corrosion Tendency of Drinking Water in the Distribution System at the University of Benin. *Environmentalist*, 28: 379–384.
2. Albrektienė, R. 2009. Geležies, mangano ir drumstumo kitimas Vilniaus miesto vandentiekyje. *Mokslas – Lietuvos ateitis*, 1(1): 11–13.
3. Baronaitė, S. 2009. Vario (II) ir chromo (VI) jonų pašalinimas metaline geležimi iš vandeninių tirpalų. Chemijos magistrinis darbas. Vilnius.
4. Berry, D.; Xi, C.; Raskin, L. 2006. Microbial ecology of drinking water distribution systems. *Current Opinion in Biotechnology* 17: 297–302.
5. Bonadonna, L.; Briancesco, R.; Libera, S. D.; Lacchetti, I.; Paradiso, R.; Semproni, M. 2009. Microbial Characterization of Water and Biofilms in Drinking Water Distribution Systems at Sport Facilities. *Cent Eur J Public Health*; 17 (2): 99–102.
6. Cerrato, J. M.; Falkinham, J. O.; Dietrich, A. M. 2008. Manganese Scales and Biofilms in Drinking Water Distribution Systems. 2006 Virginia Water Science and Technology Symposium. Virginia: Virginia Tech, 60–65.
7. Cerrato, J. M.; Reyes, L. P.; Alvarado, C. N.; Dietrich, A. M. 2006. Effect of PVC and Iron Materials on Mn(II) Deposition in Drinking Water Distribution Systems. *Water Research*, 40 (14): 2720–2726.
8. Christian, A.; Okolo, P. O. 2008. Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin. *The Environmentalist*, 28 (4): 379–384.
9. Echeverria, F.; Castano, J. G.; Arroyave, C.; Penuela, G.; Ramirez, A.; Ochoa, S.; Morato, J. 2009. Characterization of deposits formed in a water distribution system. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 17(2): 275–281.
10. Geldreich, E. E., Lechevallier, M. 1999. Microbiological Quality Control in Distribution Systems. *Water Quality and Treatment: A Handbook Of Community Water Supplies*. New York: McGraw-Hill, Inc. 18–49.
11. Gerke, T. L.; Maynard, J. B.; Schock, M. R.; Lytle, D. L. 2008. Physiochemical characterization of five iron tubercles from a single drinking water distribution system: Possible new insights on their formation and growth. *Corrosion Science*, 50: 2030–2039.

12. Gražulevičienė, R.; Balčius, G. 2009. Assessment of Iron and Manganese Concentration Changes in Kaunas City Drinking Water Distribution System. *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*, 4(50): 37-43.
13. HN 24:2003. Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai, Valstybės žinios 79-3606.
14. ISO/TS 17892-4:2004 Geotechniniai tyrinėjimai ir bandymai. Laboratoriniai grunto bandymai. 4 dalis. Granulimetrinės sudėties nustatymas.
15. Langmark, J.; Storey, M.V.; Ashbolt, N.J.; Stenstro, T.A. 2005. Biofilms in an urban water distribution system: measurement of biofilm biomass, pathogens and pathogen persistence within the Greater Stockholm area, Sweden. *Water Science & Technology*, 52 (8): 181–189.
16. Lehtola, M. J.; Miettinen, I. T.; Lampola, T.; Hirvonen, A.; Vartiainen, T.; Martikainen, P. J. 2005. Pipeline Materials Modify the Effectiveness of Disinfectants in Drinking Water Distribution Systems. *Water Research*, 39 (10):1962–1971.
17. Liu, Z.; Lin, Y.E.; Stout, J.E.; Hwang, C.C.; Vidic, R.D.; Yu, V.L. 2006. Effect of Flow Regimes on the Presence of Legionella within the Biofilm of a Model Plumbing System. *The Society for Applied Microbiology, Journal of Applied Microbiology*, 101: 437–442.
18. McNeill, L. S.; Edwards M. 2002. The Importance of Temperature In Assessing Iron Pipe Corrosion in Water Distribution Systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 77: 229–242.
19. McNeill, L.S.; Edwards, M. 2001. Iron Pipe Corrosion in Distribution Systems. *AWWA* 93(7): 88–100.
20. Nawrocki, J.; Raczyk-Stanisławiak, U.; Swietlik, J.; Olejnik, A.; Sroka, M. J. 2010. Corrosion in a distribution system: Steady water and its composition. *Water Research* 44: 1863–1872.
21. Payment, P.; Robertson, W. 2004. The microbiology of piped distribution systems and public health. In *Safe Piped Water: Managing Microbial Water Quality in Piped Distribution Systems*. London, UK: IWA Publishing, 1–18.
22. Ramirez, E.; Rios, J. F.; Calderon, J. A.; Echeverria, F.; Penuela, G. 2009. Alteration of the drinking water quality by different metallic Materials used in distribution systems. *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* 2009, S1 (4): 1443–1450.

23. Refeit, Ph.; Abdelmoula, M.; Genin, J.-M.R.; Sabot, R. 2006. Green rusts in electrochemical and microbially influenced corrosion of steel. *Comptes Rendus Geosciences*, 338(6-7): 476–487.
24. Rubulis, J.; Verberk, J.; Vreeburg, J.; Gruškevičė, K.; Juhna, T. 2008. Chemical and Microbial Composition of Loose Deposits in Drinking Water Distribution Systems. In *The 7th International Conference "Environmental Engineering"*: Selected papers, vol. 2. May 22–23, 2008, Vilnius, Lithuania. Vilnius : Technika, 695–702.
25. Sakalauskas, A.; Šulga, V.; Jankauskas, J. 2007. *Vandentiekė. Vandens ruošimas*. Vilnius: Technika. 576 p.
26. Santamaria, A. B. 2008. Manganese Exposure, Essentiality and Toxicity. *The Indian Journal of Medical Research*, 128 (4): 484–500.
27. Sarin, P.; Clement, J. A.; Snoeyink, V. L.; Kriven, W. M. 2003. Iron Release from corroded, unlined cast-iron pipe. *AWWA*, 95 (11): 85–96.
28. Sarin, P.; Snoeyink, V. L.; Lytle, D. A.; Kriven, W. M. 2004a. Iron Corrosion Scales: Model for Scale Growth, Iron Release, and Colored Water Formation. *Journal of Environmental Engineering*, 130(4): 364–373.
29. Sarin, P.; Snoeyink, V.L.; Bebee, J.; Jim, K.K.; Beckett, M.A.; Krivena, W.M.; Clementc, J.A. 2004b. Iron Release from Corroded Iron Pipes in Drinking Water Distribution Systems: Effect of Dissolved Oxygen. *Water Research*, 38: 1259–1269.
30. Skučas, V. 2007. *Metallų korozija*. Vilnius. 88 p.
31. Srinivasan, S.; Harrington, G. W.; Xagorarakı, I.; Goel, R. 2008. Factors Affecting Bulk to Total Bacteria Ratio in Drinking Water Distribution Systems. *Water Research*, 42: 3393–3404.
32. Szabo, J. G.; Muhammad, N.; Packard, B.; Meiners, G.; Kefauver, P.; Hall, J. 2009. Bacillus Spore Uptake onto Heavily Corroded Iron Pipe in a Drinking Water Distribution System Simulator. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 36(11):1867–1871.
33. Šulčius, A. 2006. *Metallų korozija ir sauga*. Kaunas: Technologija. 300 p.
34. Tang, Z.; Hong, S.; Xiao, W.; Taylor, J. 2006. Characteristics of iron corrosion scales established under blending of ground, surface, and saline waters and their impacts on iron release in the pipe distribution system. *Corrosion Science*, 48: 322–342.
35. Tsvetanova, Z. 2006. Study of Biofilm Formation on Different Pipe Materials in a Model of Drinking Water Distribution System and Its Impact on Microbiological Water Quality.

In *Chemicals as Intentional and Accidental Global Environmental Threats*. Netherlands: Springer, 463–468.

36. Verberk, J. Q. J. C.; Vreeburg, J. H. G.; Rietveld L.C.; van Dijk, J. C. 2009. Particulate fingerprinting of water quality in the distribution system. *Water SA*, 35 (2): 192–199.
37. Zhang, Y.; Edwards, M. 2007. Anticipating effects of water quality changes on iron corrosion and red water. *Journal of Water Supply: Research and Technology–AQUA* 56 (1): 55–68.
38. Zhang, Z.; Stout, J. E.; Yu V. L.; Vidic, R. 2008. Effect of Pipe Corrosion Scales on Chlorine Dioxide Consumption in Drinking Water Distribution Systems. *Water Research*, 42: 129–136.

PRIEDAI

NUOGULŲ SKIRTINGŲ MEDŽIAGŲ VAMZDYNE PERNAŠA

Vaida Verikienė¹, Marina Valentukevičienė², Aukšė Amosenkienė³

¹magistrantė, ²docentė, ³doktorantė

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

el. p. ¹vaida.baziulyte@apst.vgtu.lt; ²marina.valentukeviciene@vgtu.lt; ³aukse.amosenkiene@ap.vgtu.lt

Anotacija. Nagrinėjama, kokią įtaką vandens kokybei turi ant skirtingų medžiagų vamzdžių vidinių sienelių susidariusios nuogulos. Aptariama, kokios vandentiekio sistemoje dėl nuogulų susidarymo iškyla problemos. Eksperimentiniais tyrimais, sumontavus stendą, kurį sudaro skirtingų medžiagų (cinkuoto plieno, seno plieno ir polietileno (PE)) vamzdžių sistema, kuria cirkuliuoja vanduo iš vandentiekio, paruošto Antavilių vandens ruošimo įrenginiuose, nustatyta, kad vandens kokybei didelės įtakos turi vamzdžio medžiaga ir vandens užsistovėjimo trukmė vamzdyje. Vandens kokybė buvo blogiausia seno plieno vamzdyje, geriausia PE vamzdyje. Nustatyta, kad vamzdžių nuogulose mikroorganizmų biomasės kiekis, kuris vertinamas $ChDS_{Cr}$ (cheminės deguonies bichromatinės oksidacijos) rodikliu, turi tendenciją didėti, ilgėjant vandens užsistovėjimo trukmei vamzdyje. Mažiausios $ChDS_{Cr}$ reikšmės nustatytos PE vamzdžio nuogulose, o didžiausios – cinkuoto plieno.

Reikšminiai žodžiai: nuogulos, bioplėvelė, bendroji geležis, manganas, drumstumas, vandens kokybė.

Įvadas

Vanduo, paruoštas vandens ruošimo įrenginiuose iki normos reikalavimų, tekėdamas vamzdynais gali pakeisti savo savybes (Ignatavičius *et al.* 2009; Mažeikienė *et al.* 2008; Schwitzguebel *et al.* 2009; Valentukevičienė 2008; Valentukevičienė 2009) dėl sąveikos su vamzdynu, dezinfekanto likučio praradimo ir dėl reakcijų su kitais organiniais ir neorganiniais junginiais (Ramirez *et al.* 2009). Vandens kokybei didelę įtaką turi ant vamzdžių vidinių sienelių susidariusios nuogulos (Echeverria *et al.* 2009), kurios pagal kilmę ir rūšį gali būti skirstomos į gurvulines, biologines, dugnines ir ištisines (Sakalauskas *et al.* 2007).

Gurvulinių nuogulų susidarymo priežastis – plieninių ir ketinių vamzdžių korozija. Korozinį aktyvumą lemia vandens temperatūra, pH, šarmingumas, ištirpusio deguonies koncentracija, vandens tekėjimo greitis (McNeill *et al.* 2002).

Bioplėvelės formavimasis yra glaudžiai susijęs su vamzdyno medžiaga, jo paviršiaus savybėmis, tokiomis kaip šiurkštumas, paviršiaus energija, „biologinė trauka“. Cheminės ir hidraulinės vandens srovės savybės gali paveikti bioplėvelės vystymąsi (Tsvetanova 2006). Bioplėvelėje paprastai vyrauja heterotrofinės bakterijos, grybai, pirmuonys, nematodai (apvaliosios kirmėlės) ir vėžiagyviai (Payment *et al.* 2004). Bioplėvelė būna plona – storis nuo 10 iki 30 μm (Srinivasan *et al.* 2008). Mikroorganizmai gali vystytis ir korodavusio vamzdžio gumburėliuose (Payment *et al.* 2004).

Dėl nuogulų ant vidinių vamzdynų sienelių susidarymo, atsiranda geriamojo vandentiekio sistemoje problemų: geležies išsiskyrimas iš korodavusio vamzdžio gali pakeisti vandens spalvą, skonį ir kvapą (Christian *et al.* 2008; Echeverria *et al.* 2009; Sarin *et al.* 2004; Tsvetanova 2006), sąveika su bioplėvele gali paveikti mikrobiologinę vandens kokybę, gali susidaryti palankios sąlygos patogeninių mikroorganizmų vystymuisi (Payment *et al.* 2004; Tsvetanova 2006), mažėja vamzdyno pralaidumas (Echeverria *et al.* 2009), korodavusio vamzdžio nuogulos gali sumažinti chloro dioksido (ClO_2), kuris naudojamas kaip dezinfekantas, kiekį (Zhang *et al.* 2008).

Eksperimentais nustatyta, kad skirtingų medžiagų vamzdynuose susidaro skirtingos kokybės ir kiekybės nuogulų sluoksniai (Christian *et al.* 2008; Echeverria *et al.* 2009). Gelžbetoninių, ketaus ir plieno vamzdyje susidaro trys pagrindinės nuogulų rūšys: rudosios nuogulos susidaro visame vamzdyje; nuogulų gumburėliai susidaro ant plieninio vamzdžio paviršiaus; baltosios nuogulos susidaro tik tam tikrose vamzdyno vietose (Echeverria *et al.* 2009). Polivinilchlorido (PVC) ir ketaus vamzdynų medžiaga skirtingai veikia mangano nuosėdų susidarymą, PVC medžiagos vamzdyje mangano kiekiai didesni ir vandens spalva juodesnė, nei įprasta. Elektroniniu mikroskopavimu buvo nustatyta, kad manganas išsiskverbia į geležies gumburėlius ir todėl ne taip lengvai patenka į vandens srovę. PVC vamzdžių nuogulose mangano procentinis kiekis didesnis negu ketaus vamzdžio nuogulose (Cerrato *et al.* 2006). Tyrimais nustatyta, kad geležies koncentracija turi tendenciją didėti, o mangano koncent-

racija – mažėti didėjant nuotoliui nuo vandens ruošimo įrenginių (Gražulevičienė *et al.* 2009).

Tyrimų metodika

Eksperimentinių tyrimų tikslas – nustatyti vamzdinių nuogulų įtaką vienodo ilgio, bet skirtingų medžiagų vandentiekio vamzdyne.

Eksperimentas atliekamas laboratorinėmis sąlygomis, sumontavus stendą (1 pav.) Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VGTU) Vandentvarkos mokomojoje laboratorijoje. Eksperimentui taikomas vandens tekėjimo režimas panašus į vandens tekėjimo režimą gamybinėmis sąlygomis. Stendą sudaro skirtingų vamzdžių (cinkuoto plieno, seno plieno ir polietileno (PE)) vamzdžių (4, 5, 6, 7) sistema, kuria cirkuliuoja vanduo iš vandentiekio, paruošto Antavilių vandens ruošimo įrenginiuose. Reguluojamąją armatūrą (1) nustatomas vienodas tekėjimo greitis 0,3 m/s visuose vamzdžiuose. Kad laboratorinėmis sąlygomis vandens tekėjimo režimas būtų panašus į vandens tekėjimo režimą gamybinėmis sąlygomis, 4, 5, 6 vamzdžiuose imituojamas nakties režimas, uždaramąją armatūrą (2) sustabdomas vandens tekėjimas. Vamzdyne vanduo paliekamas 16 valandų, likusias 8 valandas vanduo cirkuliuoja. Vamzdyje Nr. 7 vanduo teka visą parą. Ištekę iš vamzdžių vanduo surenkamas talpoje (8), iš kurios išteka į nuotakyną.

Vandens mėginiai iš vamzdinių imami iš karto po nakties režimo, atsukus uždaramąją armatūrą (2). Tyrimais nustatomi šie vandens rodikliai: bendrosios geležies ir mangano koncentracijos, drumstumas, ChDS_{Cr} (cheminio deguonies bichromatinės oksidacijos). Bendrosios geležies ir mangano koncentracijos nustatomos fotometrinio metodu, naudojant „MERCK“ sistemos „Aquaquant“ testus. Drumstumas nustatomas spektrofotometru, kuriuo išmatuojama absorbcija, bangos ilgis 550 nm.

Drumstumas apskaičiuojamas pagal formulę:

$$D = A \cdot F, \quad (1)$$

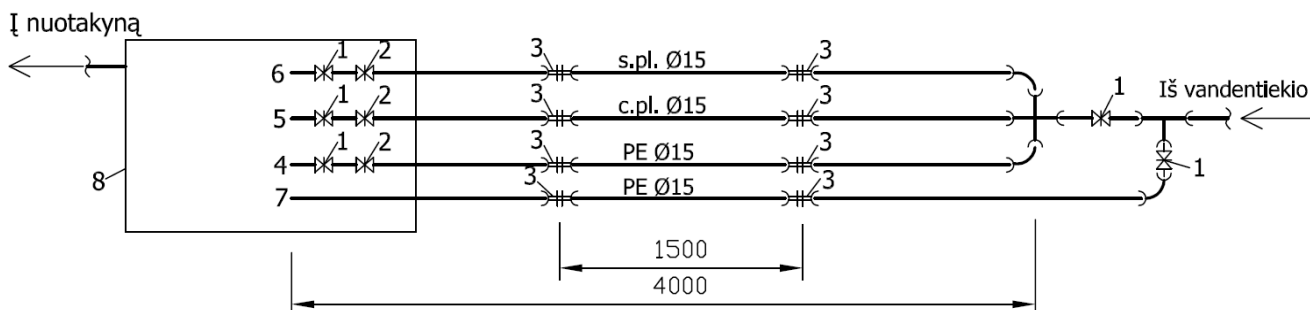
čia: D – drumstumas, DV; A – absorbcija; F – faktorius, $F = 101$.

Mikroorganizmų biomasei įvertinti taikomas ChDS_{Cr} metodas. Mėginiai imami, kai iš vamzdyno išleidžiamas vanduo. Tuomet išardomos movos (4) ir naudojantis strypu, ant kurio pritvirtintas minkštas, lanksčios medžiagos, atitinkančios vamzdžių vidinį skersmenį, kamštis, paimami mėginiai. Strypas prakišamas pro vamzdį ir traukiama per visą jo ilgį. Ant strypo pritvirtintas kamštis švelniai nuvalo nuo vamzdžių sienelių susidariusias nuogulas. Nuo kamščio nuogulų likučiai nuplaunami 30 ml distiliuoto vandens. Mėginiams nustatomas ChDS_{Cr} rodiklis, naudojant „ECO VELP SCIENTIFICA“ termoreaktorių. ChDS_{Cr} rodiklis apskaičiuotas pagal formulę:

$$ChDS_{Cr} = (b - a) \cdot \frac{8000 \cdot N}{X} \cdot F, \quad mgO_2 / l; \quad (2)$$

čia: b – amonio geležies sulfato tirpalo tūris, sunaudotas distiliuoto vandens mėginio titravimui, ml; a – amonio geležies sulfato tūris, sunaudotas titruojant tiriamojo vandens mėginį, ml; N – geležies amonio sulfato tirpalo normalinė koncentracija; $N = 0.125$; X – tiriamojo vandens mėginio tūris, ml; F – faktorius Moro druskos koncentracijai patikslinti, $F = 20/n$; čia n – Moro druskos kiekis (ml), reikalingas nutitruoti tirpalui (10 ml 0,25 N kalio dichromato + 100 ml distiliuoto vandens + 30 ml koncentruotos sieros rūgšties).

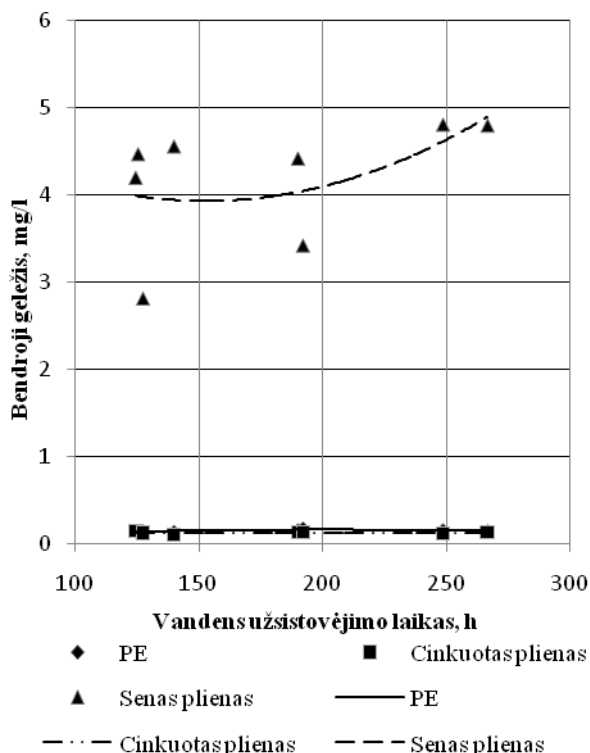
Visi mėginiai tirti 2009-11–2010-02 laikotarpiu VGTU Vandentvarkos mokomojoje laboratorijoje.



1 pav. Eksperimentinis stendas: 1 – reguliuojamoji armatūra; 2 – uždaramoji armatūra; 3 – išardomosios movos; 4, 7 – PE vamzdžiai; 5 – cinkuoto plieno vamzdis; 6 – seno plieno vamzdis; 8 – iš vamzdžių ištekantio vandens surinkimo talpa

Tyrimų rezultatai

Paėmus vandens mėginius iš skirtingų medžiagų vamzdžių, buvo atlikta jų analizė. 2 pav. pateiktas bendrosios geležies priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės vamzdyne grafikas.

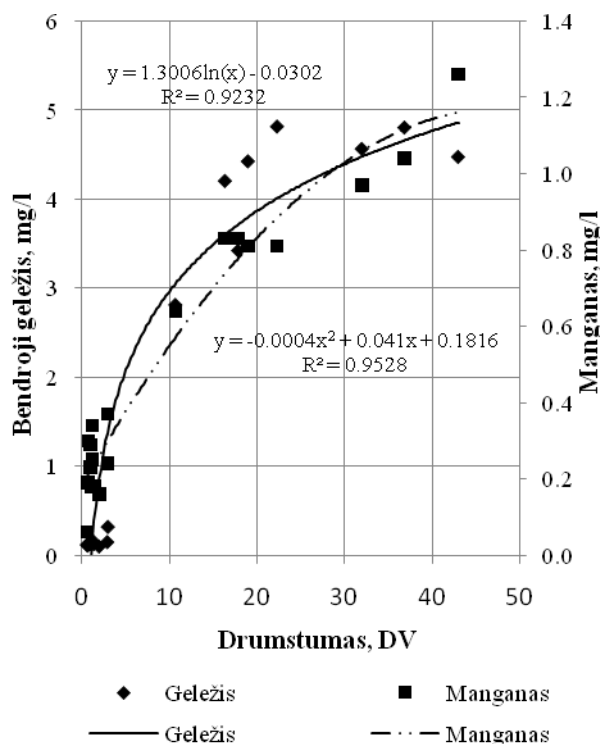


2 pav. Bendrosios geležies priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas

Iš 2 pav. grafike pateiktų rezultatų matyti, kad bendrosios geležies kiekis PE ir cinkuoto plieno vamzdžiuose buvo panašus (0,11–0,17 mg/l) ir neviršijo higienos normos HN24:2003 reikalavimų (0,2 mg/l). Tačiau seno plieno vamzdyje bendrosios geležies kiekis buvo daug kartų didesnis (2,81–4,81 mg/l), palyginti su mėginiais iš PE ir cinkuoto plieno vamzdžių, ir apie 20 kartų viršijo higienos normos reikalavimus. Iš grafiko matyti, kad didėjant vandens užsistovėjimo laikui vamzdyje, didėja bendrosios geležies koncentracija vandenyje. Didelį bendrosios geležies kiekį seno plieno vamzdyje lemia korozija, paveikusi vamzdį.

Bendrosios geležies kiekis vandenyje priklauso nuo vandens drumstumo (3 pav.). Iš 3 pav. grafiko matyti, kad priklausomybė tarp bendrosios geležies kiekio ir drumstumo yra logaritminė, kurios lygtis $y = 1,3006 \ln(x) - 0,0302$, čia $x = D$ – drumstumas. Kuo

didėsnis vandens drumstumas, tuo didesni bendrosios geležies kiekiai vandenyje.

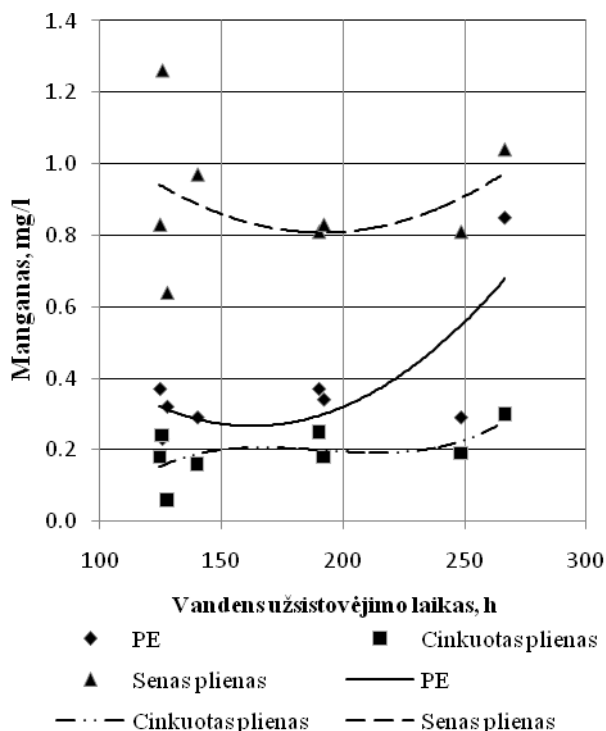


3 pav. Bendrosios geležies ir mangano priklausomybė nuo drumstumo

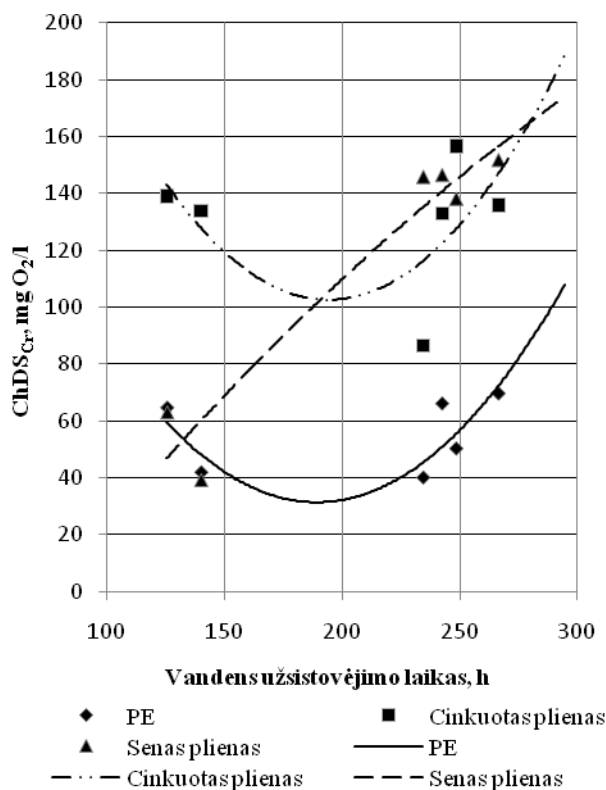
Mangano kiekiai vandens mėginiuose turėjo tendenciją didėti, ilgėjant vandens užsistovėjimo trukmei vamzdyje (4 pav.). Didžiausi mangano kiekiai buvo seno plieno vamzdyje (0,64–1,26 mg/l), o mažiausi – cinkuoto plieno vamzdyje (0,06–0,30 mg/l). PE vamzdyje mangano kiekis svyravo nuo 0,23 mg/l iki 0,85 mg/l. Visuose mėginiuose mangano kiekiai viršijo higienos normos reikalavimus (0,05 mg/l).

Iš 3 pav. grafike pateiktų reikšmių matyti, kad mangano priklausomybė nuo drumstumo yra polinominė, kurios lygtis $y = -0,0004x^2 + 0,041x + 0,1816$, čia $x = D$ – drumstumas.

Vamzdžių nuogulų mėginiams buvo nustatomas $ChDS_{Cr}$ (cheminės deguonies oksidacijos) rodiklis, kuris įvertina mikroorganizmų biomasės kiekį nuogulose. Gautieji duomenys pavaizduoti 5 pav.



4 pav. Mangano priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas



5 pav. ChDS_{Cr} priklausomybės nuo vandens užsistovėjimo trukmės grafikas

Iš 5 pav. grafike pateiktų reikšmių matyti, kad visuose vamzdžiuose ChDS_{Cr} reikšmės didėja, ilgėjant vandens užsistovėjimo vamzdyne trukmei. Kai vandens užsistovėjimo laikas buvo 126 ir 140 h, ChDS_{Cr} reikšmės PE vamzdyje (64,6 mg O₂/l ir 41,9 mg O₂/l) buvo panašios kaip ir seno plieno vamzdyje (63,2 mg O₂/l ir 39,4 mg O₂/l). Tačiau pailgėjus trukmei, PE vamzdyje ChDS_{Cr} rodiklis keitėsi nežymiai (40,1–69,5 mg O₂/l), o seno plieno vamzdyje padidėjo apie 3 kartus (138,2–146,5 mg O₂/l). Cinkuoto ir seno plieno vamzdžiuose ChDS_{Cr} reikšmės, pasiekus užsistovėjimo laiką, ilgesnį nei 230 h, yra panašios. Cinkuoto plieno vamzdyje ChDS_{Cr} reikšmės visą eksperimento laikotarpį buvo panašios, reikšmių vidurkis yra 130,8 mg O₂/l.

Išvados

1. Seno plieno vamzdyje vandens kokybė buvo blogiausia. Geležies (2,81–4,81 mg/l) ir mangano (0,64–1,26 mg/l) kiekiai viršijo higienos normos reikalavimus. Vanduo buvo drumstas, rusvos spalvos. Didelę įtaką vandens kokybei turėjo korozija, kuri yra paveikusi vamzdį.

2. PE ir cinkuoto plieno vamzdžiuose geležies kiekiai buvo panašūs (0,11–0,17 mg/l), tačiau mangano kiekis PE vamzdyje (0,23–0,85 mg/l) buvo kelis kartus didesnis nei cinkuoto plieno vamzdyje (0,06–0,30 mg/l).

3. Mikroorganizmų biomasės kiekis, kuris vertinamas ChDS_{Cr} rodikliu, mažiausias buvo PE vamzdžio nuogulose (40,1–69,5 mg O₂/l), o didžiausias cinkuoto plieno vamzdžio nuogulose (86,6–156,7 mg O₂/l). Pastebėta, kad vandeniui ilgiau užsistovint vamzdyne, didėja mikroorganizmų biomasės kiekis.

4. Siekiant išvengti vandens kokybės pablogėjimo, rekomenduojama senus vandentiekio vamzdžius renovuoti. Tinkamiausias būdas – senus vamzdžius pakeisti geresnių savybių medžiagų vamzdžiais (pvz., PE).

Literatūra

- Cerrato, J. M.; Reyes, L. P.; Alvarado, C. N.; Dietrich, A. M. 2006. Effect of PVC and iron materials on Mn(II) deposition in drinking water distribution systems. *Water Research*, 40 (14): 2720–2726.
- Christian, A.; Okolo, P. O. 2008. Studies of corrosion tendency of drinking water in the distribution system at the University of Benin. *The Environmentalist*, 28 (4): 379–384.
- Echeverria, F.; Castano, J. G.; Arroyave, C.; Penuela, G.; Ramirez, A.; Ochoa, S.; Morato, J. 2009. Characterization of deposits formed in a water distribution system. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 17(2): 275–281.
- Grazulevičienė, R.; Balčius, G. 2009. Assessment of Iron and Manganese Concentration Changes in Kaunas City

- Drinking Water Distribution System. Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba, 4(50): 37–43.
- HN 24:2003. Geriamojo vandens saugos ir kokybės reikalavimai, Valstybės žinios 79–3606.
- Ignatavičius, G.; Sakalauskienė, G.; Liaskevicius, J.; Raulinaitis, M. 2009. Cooperation of State institutions and the public in solving water protection issues. *Environmental Research, Engineering and Management*, 47 (1): 76–84.
- Mažeikienė, A.; Valentukevičienė, M.; Rimeika, M.; Dauknys, R. 2008. Removal of nitrates and ammonium ions from water using natural sorbent zeolite (clinoptilolite). *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 16 (1): 38–44.
- McNeill, L. S.; Edwards M. 2002. The Importance of Temperature In Assessing Iron Pipe Corrosion in Water Distribution Systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 77: 229–242.
- Payment, P.; Robertson, W. 2004. The microbiology of piped distribution systems and public health. In *Safe piped water: Managing microbial water quality in piped distribution systems*. London, UK: IWA Publishing, 1–18.
- Ramirez, E.; Rios, J. F.; Calderon, J. A.; Echeverria, F.; Penuela, G. 2009. Alteration of the drinking water quality by different metallic Materials used in distribution systems. *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* 2009, S1 (4): 1443–1450.
- Sarin, P.; Snoeyink, V. L.; Bebee, J.; Jim, K. K.; Beckett, M. A.; Kriven, W. M.; Clement, J. A. 2004. Iron release from corroded iron pipes in drinking water distribution systems: effect of dissolved oxygen. *Water Research*, 38 (5): 1259–1269.
- Schwitzguebel, J.P.; Kumpienė, J.; Comino, E.; Vanek, T. 2009. From green to clean: a promising and sustainable approach towards environmental remediation and human health for the 21st century. *Agrochimica*, 53(4): 209–237.
- Srinivasan, S.; Harrington, G. W.; Xagorarakis, I.; Goel, R. 2008. Factors affecting bulk to total bacteria ratio in drinking water distribution systems. *Water Research*, 42: 3393–3404.
- Tsvetanova, Z. 2006. Study of biofilm formation on different pipe materials in a model of drinking water distribution system and its impact on microbiological water quality. In *Chemicals as Intentional and Accidental Global Environmental Threats*. Netherlands: Springer, 463–468.
- Valentukevičienė, M. 2009. Applying backwash water in order to enhance removal of iron and ammonium from spent filters with fresh filter media. *Environment Protection Engineering*, 35(3): 135–144.
- Valentukevičienė, M. 2008. Experimental research on removal of iron and ammonium ions from groundwater by natural silica sand. *Geologija*, 50 (3(63)): 201–205.
- Zhang, Z.; Stout, J. E.; Yu V. L.; Vidic, R. 2008. Effect of pipe corrosion scales on chlorine dioxide consumption in drinking water distribution systems. *Water research*, 42: 129–136.

THE CARRY OF SCALES IN DIFFERENT MATERIALS PIPELINE

V. Verikienė, M. Valentukevičienė, A. Amosenkienė

Summary

Experimental investigation was carried out in experimental laboratory scaled equipment at the laboratory of Water Management Department of VGTU. Experimental pipelines consists of different materials (galvanized steel, old steel and polyethylene (PE)) pipe system that circulates drinking water supplied by the municipal water company. Water and pipeline scales samples were collected from each pipe. Parameters have been measured: total iron and manganese concentrations, turbidity, chemical oxygen demand (COD_{Cr}). Results showed that the worst water quality was in old steel and the best in PE pipe. The biomass was evaluated by the COD_{Cr} method and it was highest in galvanized steel pipeline scales. The obtained results also showed that the biomass has a tendency to increase along with the water stagnation in pipeline.

Keywords: scales, biofilm, iron, manganese, turbidity, water quality.