



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

VANDENTVARKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Gintarė Vaičiūtė

**IŠLYGINAMOSIOS TALPOS ĮTAKA GAMYBINIŲ NUOTEKŲ
KOAGULIACIJOS / FLOKULIACIJOS PROCESUI
THE IMPACT OF BUFFER TANK ON COAGULATION /
FLOCCULATION OF INDUSTRIAL WASTEWATER**

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H23001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2017

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS¹

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

VANDENTVARKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Mindaugas Rimeika

(Vardas, pavardė)

2017 06 01

(Data)

Gintarė Vaičiūtė

IŠLYGINAMOSIOS TALPOS ĮTAKA GAMYBINIŲ NUOTEKŲ

KOAGULIACIJOS / FLOKULIACIJOS PROCESUI

THE IMPACT OF BUFFER TANK ON COAGULATION / FLOCCULATION
OF INDUSTRIAL WASTEWATER

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H23001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

dr. Alė Kirjanova

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

(Parašas)

2017 06 01

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

R. Zukiene

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

(Parašas)

2017 05 30

(Data)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Gintarė Vaičiūtė

(Studento vardas ir pavardė, student pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Vandens ūkio inžinerija, Vimf-15

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2017 m. gegužės 26 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Išlyginamosios talpos įtaka gamybinių nuotekų koaguliacijos / flokuliacijos procesui“ patvirtintas 2017 m. kovo 17 d. dekanų potvarkiu Nr. 86ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: dr. Ala Kirjanova, Oleksii Miasoiedov, Oleksandr Boichenko. Mano darbo vadovas dr. Ala Kirjanova.

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).


(Parašas)

Gintarė Vaičiūtė
(Vardas ir pavardė)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
VANDENTVARKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Statybos inžinerija

studijų kryptis

Vandens ūkio inžinerija

studijų programa, valstybinis kodas 621H23001

TVIRTINU

Katedros vedėjas

(Parašas)

Mindaugas Rimeika

(Vardas, pavardė)

2015-10-27

(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO

UŽDUOTIS

2015-10-27 Nr. 06

Vilnius

Studentei

Gintarei Vaičiūtei

(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: Išlyginamosios talpos įtaka gamybinių nuotekų koaguliacijos / flokuliacijos procesui

patvirtinta 2017 m. kovo 17 d. dekanų potvarkiu Nr. 86ap.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2017 m. gegužės 30 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Apžvelgti gamybinių nuotekų susidarymo šaltinius ir šių nuotekų charakteristikas, atskirai išskiriant paukščių skerdyklas. Susipažinti su fizikiniu-cheminiu gamybinių nuotekų valymu. Apžvelgti Lietuvos teisės aktus, reglamentuojančius gamybinių nuotekų tvarkymą Lietuvoje. Laboratorinėmis sąlygomis ištirti išlyginamosios talpos įtaką gamybinių nuotekų koaguliacijos / flokuliacijos procesui. Tyrimus atlikti su iš karto po gamybos proceso susidariusiomis nuotekomis. Prieš pradėdant tyrimus, parinkti labiausiai tinkančius tiriamoms nuotekoms koagulantą ir flokulantą ir nustatyti optimalius jų kiekius. Tyrimų metu palyginti koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumą nuotekas išlaikant dviejų tipų išlyginamosiose talpose (aeruojamoje ir maišomoje) ir nustatyti nuotekų išbuvimo išlyginamojoje talpoje trukmės įtaką koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumui. Atlikti ekonominę palyginimą tarp maišomos ir aeruojamos išlyginamosios talpos. Pagal galimybes atlikti gamybinių nuotekų flotacijos tyrimą bandomajame stende gamybinėmis sąlygomis. Pateikti išvadas ir rekomendacijas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

lekt. Regina Žukienė

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

Vadovas

(Parašas)

dr. Ala Kirjanova

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

Užduotį gavau

(Parašas)

Gintarė Vaičiūtė

(Vardas, pavardė)

2015-10-27

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Vandentvarkos inžinerijos katedra

ISBN ISSN
Egz. sk.
Data-.....-.....

Antrosios pakopos studijų **Vandens ūkio inžinerijos** programos magistro baigiamasis darbas 4

Pavadinimas **Išlyginamosios talpos įtaka gamybinių nuotekų koaguliacijos / flokuliacijos procesui**

Autorius **Gintarė Vaičiūtė**

Vadovas **Ala Kirjanova**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Gamybinių nuotekų, sudėtis ir srautas per parą labai netolygūs, dėl šios priežasties prieš flotatorius paprastai įrengiamos išlyginamosios talpos. Pasak įmonės „EKOTON“ specialistų, rekomenduojama nuotekų išbuvimo išlyginamosiose talpose, kur jos nuolat maišomos maišykle, trukmė – 2–4 valandos. Tačiau realiai pasitaiko atvejų, kai į flotatorių tiekiamos nuotekos, neišbuvusios išlyginamojoje talpoje net minimalaus rekomenduojamo laiko, dėl to pastebimai suprastėja nuotekų išvalymo efektyvumas flotatoriuje. Eksperimentų metu tam tikrais laiko intervalais imti nuotekų mėginiai iš dviejų reaktorių, imituojančių maišomą ir aeruojamą išlyginamąsias talpas. Mėginiai buvo koaguliuojami / flokuluojami, taip imituojant pirmąjį flotacijos proceso etapą, ir po to analizuojami pagal ChDS, BDS7, NH4-N, NO2-N, NO3-N ir PO4-P koncentracijas. Organinių medžiagų koncentracijos po koaguliacijos / flokuliacijos mažėjo ilgėjant nuotekų išbuvimo reaktoriuose trukmei: po pirmos valandos ChDS koncentracija abiejuose reaktoriuose sumažėjo 75 %, o po 8 valandų pradinė ChDS koncentracija maišomame reaktoriuje sumažėjo 83 %, aeruojamame – 88 %. Azoto ir fosforo junginių atveju išbuvimo trukmė reaktoriuje ir reaktoriaus tipas neturėjo įtakos šių junginių koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumui.

Prasminiai žodžiai: flokuliacija, flotacija, gamybinės nuotekos, išbuvimo trukmė, koaguliacija, paukštynas, skerdykla

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

ISBN _____ ISSN _____
Copies No.
Date-.....-.....

Master Degree Studies **Water Engineering** study programme Master Graduation Thesis 4

Title **The Impact of Buffer Tank on Coagulation/Flocculation of Industrial Wastewater**
Author **Gintarė Vaičiūtė**
Academic supervisor **Ala Kirjanova**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

The composition and flow of industrial wastewater are very uneven, for this reason, buffer tank is usually installed before flotation unit. Recommended hydraulic retention time in a buffer tank is 2-4 hours while constantly stirring. However, in reality, sometimes fresh wastewater is fed directly to flotation unit, in this case, removal efficiency of pollutant is substantially reduced.

During the experiment, samples were taken at a certain time intervals and concentrations of pollutants (COD, BOD₇, NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N and PO₄-P) were measured. After coagulation / flocculation organic material concentrations in reactors decreased with retention time: after the first hour COD concentration in both reactors decreased by 75 % and after 8 hours initial COD concentration in mixing reactor decreased by 83 %, in aerated reactor – 88 %. Retention time in reactors had no impact for nitrogen and phosphorus compounds coagulation / flocculation efficiency.

Keywords: coagulation, flocculation, flotation, hydraulic retention time, industrial wastewater, poultry, slaughterhouse

Paveikslėlių sąrašas

- 1 pav.** Flotacijos proceso principinė schema
- 2 pav.** Flotatorius su vamzdiniu flokuliatoriumi
- 3 pav.** Tipinė flotacijos sistemos schema
- 4 pav.** Išlyginamosios talpos schema
- 5 pav.** Laboratorinė maišyklė skirta indelių metodo tyrimui
- 6 pav.** Tiriamasis stendas
- 7 pav.** Tiriamojo stendo schema
- 8 pav.** AB Vilniaus paukštyno nuotekų siurblinė
- 9 pav.** AB Vilniaus paukštyno nuotekų valymo proceso schema
- 10 pav.** Bandomasis stendas
- 11 pav.** Bandomojo stendo schema
- 12 pav.** Tiriamos nuotekos po koaguliacijos / flokuliacijos
- 13 pav.** ChDS koncentracijos nuotekose, paimtose iš maišomo ir aeruojamo reaktorių skirtingais laiko intervalais prieš ir po koaguliacijos / flokuliacijos
- 14 pav.** ChDS koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo priklausomybė nuo ChDS koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją maišomame ir aeruojamame reaktoriuose
- 15 pav.** BDS₇ koncentracijos nuotekose, paimtose iš maišomo ir aeruojamo reaktorių skirtingais laiko intervalais prieš ir po koaguliacijos / flokuliacijos
- 16 pav.** BDS₇ koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo priklausomybė nuo BDS₇ koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją maišomame ir aeruojamame reaktoriuose
- 17 pav.** NH₄-N koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo priklausomybė nuo NH₄-N koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją maišomame ir aeruojamame reaktoriuose
- 18 pav.** Prieš koaguliaciją / flokuliaciją nustatytos pH reikšmės
- 19 pav.** Bandomasis reaktorius

Lentelių sąrašas

- 1 lentelė.** Bendrieji reikalavimai gamybinėms nuotekoms, išleidžiamoms į nuotakyną
- 2 lentelė.** Į gamtinę aplinką išleidžiamų nuotekų užterštumo normos
- 3 lentelė.** Didžiausios leidžiamos teršalų koncentracijos
- 4 lentelė.** Paukščių skerdyklos nuotekų charakteristikos
- 5 lentelė.** Nuotekų charakteristikos
- 6 lentelė.** Nustatytos tiriamųjų nuotekų teršalų koncentracijos
- 7 lentelė.** Tiriamų mėginių kiekis kiekvienu laiko momentu $t=n$ ir taikyti skiedimai
- 8 lentelė.** Bandomojo tyrimo nuotekų charakteristikos
- 9 lentelė.** Parinkti reagentai ir optimalūs jų kiekiai
- 10 lentelė.** Nustatytos ChDS koncentracijos
- 11 lentelė.** Nustatytos BDS₇ koncentracijos
- 12 lentelė.** BDS₇ ir ChDS koncentracijų santykis tiriamose nuotekose
- 13 lentelė.** Nustatytos NH₄-N koncentracijos, mg/l
- 14 lentelė.** Nustatytos PO₄-P koncentracijos
- 15 lentelė.** Naudotos įrangos parametrai ir elektros sąnaudos
- 16 lentelė.** Įrangos parametrai ir elektros sąnaudos
- 17 lentelė.** Tiriamųjų gamybinių nuotekų teršalų koncentracijos ir valymo efektyvumas

Santrumpos

BDS₇ – biocheminis deguonies suvartojimas per 7 paras;

ChDS – cheminis deguonies suvartojimas;

K / F – koaguliacija ir flokuliacija;

NH₄-N – amonio azotas;

NO₂-N – nitritų azotas;

NO₃-N – nitratų azotas;

PO₄-P – fosfatų fosforas;

SM – skendinčiosios medžiagos.

Sąvokos

Aeruojamas reaktorius – reaktorius, kuriame nuotekos aeruojamos.

Maišomas reaktorius – reaktorius, kuriame nuotekos maišomos maišykle.

Ribinė koncentracija – ribinė didžiausia apskaičiuota, išmatuota arba planuojama medžiagos koncentracija, iki kurios šios medžiagos normuoti / kontroliuoti dar nereikia.

Teršalo K / F efektyvumas – procentinis teršalo koncentracijos sumažėjimas, po koaguliacijos / flokuliacijos, tam tikru laiko momentu.

Šviežios nuotekos – iš karto po gamybos proceso susidariusios nuotekos, kurios nebuvo laikomos išlyginamojoje talpoje.

TURINYS

IVADAS	12
1. LITERATŪROS APŽVALGA	14
1.1. Gamybinės nuotekos	14
1.1.1. Gamybinių nuotekų tvarkymas Lietuvoje.....	15
1.1.2. Gamybinių nuotekų išleidimo į nuotakyną reikalavimai	15
1.1.3. Gamybinių nuotekų išleidimas į gamtinę aplinką.....	17
1.2. Nuotekų valymo metodai	19
1.3. Paukščių skerdyklos	19
1.3.1. Skerdyklos nuotekų charakteristikos	20
1.3.2. Skerdyklos nuotekų valymas	21
1.4. Flotacija.....	22
1.4.1. Flotatoriai.....	24
1.4.2. Veikimo principas	25
1.4.3. Išlyginamosios talpos.....	26
1.5. Koaguliacija ir flokuliacija.....	27
1.5.1. Reagentų dozavimas	29
1.5.2. Indelių metodas (ang. jar testing).....	29
1.6. Literatūros išvados	31
2. METODIKA.....	32
2.1. Laboratorinių tyrimų metodika	32
2.1.1. Bandomasis stendas	32
2.1.2. UAB Vilniaus paukštynas.....	34
2.1.3. Tiriamosios nuotekos	36
2.1.4. Reagentų optimalaus kiekio nustatymas.....	36
2.1.5. Tyrimo eiga.....	37
2.1.6. Cheminės nuotekų analizės.....	37
2.1.7. Skiedimai	38
2.1.8. Naudotos formulės	39
2.2. Bandomojo tyrimo metodika	39
2.2.1. Bandomasis stendas	39
2.2.2. Tiriamosios nuotekos	40
2.2.3. Tyrimo eiga.....	41
2.2.4. Cheminės nuotekų analizės.....	42

3. REZULTATAI	43
3.1. Laboratorinio tyrimo rezultatai.....	43
3.1.1. Cheminis deguonies suvartojimas.....	43
3.1.2. Biocheminis deguonies suvartojimas per 7 paras	46
3.1.3. ChDS ir BDS ₇ santykis	48
3.1.4. Nitritų ir nitratų azotas	49
3.1.5. Amonio azotas	49
3.1.6. Fosfatų fosforas.....	51
3.1.7. pH.....	52
3.2. Ekonominis palyginimas	53
3.3. Bandomojo tyrimo rezultatai	55
IŠVADOS	57
LITERATŪROS SĄRAŠAS	58

IVADAS

Gamybinės nuotekos susidaro pramonės įmonės veiklos metu. Dažniausiai gamybinių nuotekų valymui taikomas fizikinis-cheminis valymas, kurį sudaro koaguliacija / flokuliacija ir flotacija.

Flotacija – atskyrimo procesas, kurio metu dujų burbuliukai (dažniausiai oro) prisitvirtina prie kietųjų dalelių ir pakeičia jų tankį, dėl to dujų ir kietųjų dalelių junginys tampa lengvesnis už vandenį ir kyla į nuotekų paviršių. Cheminių reagentų įterpimas prieš flotacijos procesą žymiai pagerina nuotekų valymą, dėl šios priežasties prieš patenkant į flotatorių nuotekos koaguluojamos ir flokuluojamos. Koaguliacijos metu destabilizuojamos dalelės, esančios nuotekose, ir ištirpusios organinės medžiagos paverčiamos dalelėmis. Flokulantai naudojami tolesniam didesnių ir tvirtesnių flokulių formavimuisi. Gera koaguliacija / flokuliacija yra labai svarbus faktorius efektyviam flotacijos procesui užtikrinti.

Gamybinių nuotekų sudėtis ir srautas gali būti labai netolygūs, dėl šios priežasties prieš flotacijos procesą įrengiamos išlyginamosios talpos. Išlyginamosios talpos padeda užtikrinti pastovų ir tolygų srautą į flotatorių. Tai pagerina cheminių procesų, koaguliacijos ir flokuliacijos, efektyvumą.

Paprastai išlyginamosiose talpose nuotekos išbūna apie 2–4 valandas. Tačiau realybėje pasitaiko atvejų, kai į flotatorių tiekiamos nuotekos, neišbuvusios išlyginamosiose talpose net minimalaus rekomenduojamo laiko (toliau vadinamos šviežiomis nuotekomis), dėl to pastebimai sumažėja nuotekų išvalymo efektyvumas flotatoriuje.

Darbo aktualumas: iš realių flotacijos įrenginių veikimo pastebėta, kad pramoninės nuotekos, ypač iš skerdyklų ir pieno pramonės, žymiai geriau apvalomos flotacijos įrenginiuose, kai į flotatorius jos tiekiamos ne iš karto po susidarymo, t.y. šviežios, o pastovėjusios. Teoriškai nuotekos, prieš patekdamos į flotacijos įrenginį, bent keletą valandų išbūna išlyginamojoje talpoje, iš kurios siurbliais pastoviuoju debitu tiekiamos į flotatorių, tačiau realiai dažnai būna, kad tik susidariusios nuotekos tiekiamos į flotatorių iš karto. Tokiu atveju flotatoriuje sumažėja teršalų pašalinimo efektyvumas.

Temos naujumas: apžvelgtoje literatūroje nebuvo rasta informacijos apie nuotekų išbuvimo trukmės įtaką teršalų šalinimo efektyvumui.

Darbo tikslas: ištirti išlyginamosios talpos įtaką gamybinių nuotekų koaguliacijos / flokuliacijos procesui.

Darbo uždaviniai:

- parinkti labiausiai tinkančius tiriamoms nuotekoms koagulantus ir flokuliantus ir nustatyti optimalius jų kiekius;
- nustatyti nuotekų išbuvimo išlyginamojoje talpoje trukmės įtaką koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumui;
- palyginti koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumą, kai nuotekos išlyginamojoje talpoje skendinčiame būvyje palaikomos dviem būdais – maišant ir aeruojant;
- atlikti ekonominį palyginimą tarp aeruojamų ir maišomų nuotekų talpų;
- atlikti šviežių nuotekų flotacijos tyrimą bandomajame stende gamybinėmis sąlygomis;
- suformuluoti gautus rezultatus atitinkančias išvadas.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Gamybinės nuotekos

Gamybinės nuotekos – dėl gamybinės ar kitos ūkinės ir (arba) komercinės veiklos (viešojo maitinimo, skalbimo, valymo paslaugų teikimo, viešųjų tualetų ar pan.) susidarančios nuotekos (Nuotekų tvarkymo reglamentas 2006).

Gamybinių nuotekų valymo tikslas yra pašalinti arba sumažinti organinių ir neorganinių teršalų kiekius, esančius nuotekose (Cheremisinoff 1996).

Nuotekų teršalai skirstomi:

- neorganiniai teršalai – šarmai, mineralinės rūgštys, neorganinės druskos, laisvasis chloras, amonis, vandenilio sulfidas, chromo druskos, nikelis, cinkas, kadmis, varis, sidabras ir pan. Anijonai: fosfatai, sulfatai, chloridai, nitritai ir nitratai, cianidai. Katijonai: kalcis, magnis, natris, kalis, geležis, manganas, gyvsidabris, arsenas ir kt.
- organiniai teršalai – cukrūs, aliejai ir riebalai, baltymai, angliavandeniai, fenoliai, plovikliai (skalbikliai) ir organinės rūgštys. Kai kurie šių teršalų atsparūs biologiniam skaidymui ir / ar yra toksiški priimančio vandens telkinio gyvūnijai (Patwardhan 2008).

Pramonės įmonės, vykdančios vietinį nuotekų valymą, gali tiesiogiai išleisti valytas nuotekas į priimtuvą, jei turi tam leidimą. Tiesioginis nuotekų išleidimas reikalauja pilno nuotekų išvalymo, todėl yra retai taikomas. Kita galimybė išleisti susidariusias nuotekas į miesto nuotekų surinkimo sistemą, kuria jos atiteka į miesto nuotekų valyklą. Išleidžiamos nuotekos gali būti prieš tai apvalomos arba visiškai nevalytos, priklausomai nuo jų sudėties. Kai gamybinių nuotekų sudėtis ar apkrova gerokai skiriasi nuo buitinių nuotekų, privalomas vietinis dalinis nuotekų apvalymas (angl. *pretreatment*), kuris apibrėžiamas kaip nuotekose esančių teršalų sumažinimas, pašalinimas ar nuotekų sudėties pakeitimas, prieš jas išleidžiant į miesto nuotekų surinkimo sistemą. Jei išleidžiamos nevalytos nuotekos yra stipriai užterštos, dėl padidintos taršos už nuotekų surinkimą mokama didesniu tarifu (Water Environment Federation 2008).

Gamybinių nuotekų, kurios yra maišomos su buitinėmis nuotekomis, charakteristikos skiriasi nuo vien tik gamybinių nuotekų. Mišrios nuotekos lengviau valomos biologiškai, dėl jose esančių mikroorganizmų veiklos (Patwardhan 2008). Vis dėlto, tokių nuotekų apkrova vis tiek sąlyginai didelė, lyginant su buitinėmis nuotekomis, todėl turi būti įvertinta priimančios nuotekų valyklos (Hammer *et al.* 2012).

Kai kurios gamybinės nuotekos gali kelti pavojų buitinių nuotekų sistemai, kadangi surinkimo ir valymo sistemos nėra tam pritaikytos. Gamybinės nuotekos gali neigiamai veikti

nuotakyno vamzdžius ir trukdyti gerai nuotekų valyklos veiklai. Iš pramonės įmonių atkeliavę teršalai gali pereiti per nuotekų valyklą ir kauptis nuotekų dumble (Davis 2011).

Norint sumažinti susidarančių nuotekų kiekius ir apkrovas bei tokiu būdu sutaupyti, pramonės įmonėms derėtų: apsvarstyti pokyčius gamybos procese, atnaujinti įrangą, panaudoti šalutinius produktus, pakartotinai panaudoti vandenį, atskirai surinkti skirtingų rūšių nuotekas, išlyginti susidarančių nuotekų debitą (Hammer *et al.* 2012).

1.1.1. Gamybinių nuotekų tvarkymas Lietuvoje

Gamybinės nuotekos Lietuvoje tvarkomos pagal LR Aplinkos ministro įsakymo dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo reikalavimus.

Nuotekų tvarkymo reglamentas nustato pagrindinius aplinkosaugos reikalavimus nuotekų surinkimui, valymui ir išleidimui siekiant apsaugoti aplinką nuo taršos.

Šio Reglamento nuostatos taikomos visiems fiziniams ir juridiniams asmenims, planuojantiems išleisti arba išleidžiantiems nuotekas į gamtinę aplinką arba į kitiems asmenims priklausančias nuotekų tvarkymo sistemas (Nuotekų tvarkymo reglamentas 2006).

1.1.2. Gamybinių nuotekų išleidimo į nuotakyną reikalavimai

Gamybines nuotekas išleisti į komunalinių nuotekų nuotakyną leidžiama tik sudarius nuotekų tvarkymo paslaugų pirkimo-pardavimo sutartį su asmeniu, eksploatuojančiu nuotekų tvarkymo sistemą.

Į nuotakyną draudžiama išleisti nuotekas, kuriose yra arba gali būti:

- daiktų ir / arba medžiagų, galinčių užkimšti arba sugadinti nuotekų surinkimo sistemos ar nuotekų valymo įrenginių elementus, sutrikdyti jų veiką;
- medžiagų, galinčių sukelti gaisrą ar sprogimą;
- medžiagų, galinčių pakenkti nuotekų valymo įrenginius aptarnaujančių darbuotojų sveikatai;
- medžiagų, galinčių trikdyti normalų nuotekų valymo įrenginių darbą ar dumblo apdorojimą.

Išleidžiant gamybines nuotekas į komunalinių nuotekų nuotakyną, taip pat turi būti laikomasi 1 lentelėje nurodytų reikalavimų:

1 lentelė. Bendrieji reikalavimai gamybinėms nuotekoms, išleidžiamoms į nuotakyną (Nuotekų tvarkymo reglamentas 2006)

Parametras	Matavimo vienetas	Ribinė vertė
Maksimali temperatūra	°C	45 ¹
pH ²		6,5 – 9,5 ²
ChDS/BDS ₇ santykis ³		< 3
Riebalai	mg/l	100 ⁴
BDS ₇	mg/l	800 ⁴

Pastaba: ¹⁻⁴ – skaityti „LR Aplinkos ministro įsakymą dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“.

Veiklos vykdytojas, išleidžiantis nuotekas į nuotakyną, privalo nustatyti, kiek ir kokių prioritetinių pavojingų ir / ar pavojingų medžiagų su nuotekomis išleidžia, ir apie tai informuoti nuotakyną eksploatuojantį asmenį.

Nuotekų tvarkymo sistemą eksploatuojantis asmuo turi teisę gamybinės nuotekas išleidžiantiems abonentams:

- nustatyti griežtesnius reikalavimus nuotekų išleidimui į komunalinių nuotekų nuotakyną už šiame dokumente nustatytus tuo atveju, kai matavimai (skaičiavimai) rodo, kad priimant į nuotakyną abonto nuotekas nepavyksta pasiekti leidime nustatytų reikalavimų nuotekų išleidimui į aplinką kai vieno ar kelių abonentų išleidžiamų medžiagų sąveikoje gali susidaryti pavojingi / kenksmingi junginiai, kai į valymo įrenginius patenkančių nuotekų rodikliai neatitinka leistinų projektinių arba kai dėl tam tikrų medžiagų išleidimo nuotekų valymo metu susidarantis dumblas būtų užterštas tiek, kad tai trukdytų jį panaudoti arba utilizuoti konkrečioje vietoje taikomais metodais;
- leisti nesilaikyti kai kurių pateiktų reikalavimų bei tam tikroms medžiagoms nustatytų DLK į nuotekų surinkimo sistemą, jeigu dėl to konkrečiu atveju nebus pažeidžiami nustatyti reikalavimai nei galutiniam nuotekų išvalymui, nei dumblo apdorojimui (Nuotekų tvarkymo reglamentas 2006).

1.1.3. Gamybinių nuotekų išleidimas į gamtinę aplinką

Išleidžiamoms į gamtinę aplinką gamybinėms nuotekoms taikomi bendrieji nuotekų tvarkymo reikalavimai. Taip pat išleidžiamos nuotekos turi tenkinti 2 lentelėje nurodytus reikalavimus (DLK) nuotekų užterštumui pagal BDS ir ChDS.

2 lentelė. Į gamtinę aplinką išleidžiamų nuotekų užterštumo normos (Nuotekų tvarkymo reglamentas 2006)

Parametrai	Aglomeracijos (taršos šaltinio) dydis / išleidžiamų nuotekų kiekis	Matavimo vienetas	Vidutinio paros mėginio ¹ DLK	Momentinė DLK	Vidutinė metinė DLK	Minimalus išvalymo efektyvumas, procentais ²
Biocheminis deguonies suvartojimas BDS ₅ /BDS ₇ ³ (be nitrifikacijos)	iki 5 m ³ /d	mg/l O ₂	-	50/58	30/35	-
	nuo 5 m ³ /d iki 2000 GE	mg/l O ₂	-	4-0/46	25/29	-
	nuo 2000 GE iki 10000 GE	mg/l O ₂	25/29	-	nustatoma individualiai ⁶	70-90
	daugiau kaip 10000 GE	mg/l O ₂	15/17	-	nustatoma individualiai	70-90
ChDS	daugiau kaip 2000 GE	mg/l O ₂	125	-	-	75
Bendras fosforas	nuo 5 m ³ /d iki 10000 GE	mgP/l			2 ⁷	80
	nuo 10000 GE iki 100000 GE	mgP/l			2	
	daugiau kaip 100000 GE	mgP/l			1	
Bendras azotas ^{4,5}	nuo 5 m ³ /d iki 10000 GE	mgN/l			20 ⁸	70-80
	nuo 10000 GE iki 100000 GE	mgN/l			15	
	daugiau kaip 100000 GE	mgN/l			10	

Pastabos: ¹⁻⁸ – skaityti „LR Aplinkos ministro įsakymą dėl nuotekų tvarkymo reglamento patvirtinimo“.

3 lentelėje pateikiamos kitų Lietuvoje kontroliuojamų medžiagų didžiausios leidžiamos koncentracijos.

3 lentelė. Didžiausios leidžiamos teršalų koncentracijos (Nuotekų tvarkymo reglamentas 2006)

Medžiagos pavadinimas	Matavimo vienetas	DLK, į nuotekų surinkimo sistemą	DLK, į gamtinę aplinką	DLK, vandens telkinyje-priimtuve	Ribinė koncentracija, į gamtinę aplinką
Bendras azotas	mg/l	100	30	2,5	12
NO ₂ -N	mg/l	0,9	0,45	0,03	0,09
NO ₃ -N	mg/l	69	23	2,3	9
NH ₄ -N	mg/l	15	5	1	2
Bendras fosforas	mg/l	20	4	0,1	1,6
PO ₄ -P	mg/l	-	-	0,0653	-

Išleidžiant į aplinką gamybinės nuotekas, užterštas prioritetinėmis pavojingomis medžiagomis ir / ar pavojingomis medžiagomis turi būti rengiamos ir įgyvendinamos vandenų taršos šiomis medžiagomis mažinimo programos.

Vandenų taršos mažinimo programoje turi būti:

- ūkinėje veikloje naudojamų ir / arba gamybos procese susidarančių pavojingų ir / ar prioritetinių pavojingų medžiagų sąrašas ir kiekiai bei masių balansas;
- pavojingų ir / ar prioritetinių pavojingų medžiagų išleidimo su nuotekomis kontrolės priemonės ir programa;
- numatytos priemonės vandens taršai prioritetinėmis pavojingomis medžiagomis ir / ar pavojingomis medžiagomis mažinti. Jeigu įmanoma, turi būti numatytas taršos prioritetinėmis pavojingomis ir / arba pavojingomis medžiagomis palaipsninis nutraukimas ar pakeitimas mažiau pavojingomis medžiagomis (pavojingų medžiagų išleidimas su nuotekomis ar kitoks jų patekimas į gamtinę aplinką turi būti mažinamas; vandenų tarša prioritetinėmis pavojingomis medžiagomis turi būti palaipsniui nutraukta).

Veiklos vykdytojas, išleidžiantis gamybinės nuotekas į gamtinę aplinką, teisės aktų nustatyta tvarka turi vykdyti teršalų bei kitų parametrų, kurių išleidimas reglamentuotas leidime, matavimus. Taip pat priklausomai nuo taršos šaltinių tipų (pramonės šakų) turi būti vykdoma Reglamente numatytų parametrų kontrolė. Kontroliuoti parametrai gali būti koreguojami

priklausomai nuo naudojamų gamybos technologijų, žaliavų, įmonės dydžio, priimtovo jautrumo (Nuotekų tvarkymo reglamentas 2006).

1.2. Nuotekų valymo metodai

Nuotekų valymo metodų klasifikavimas:

- fizikiniai: atskyrimas, nusodinimas, flotacija, filtravimas, maišymas, džiovinimas, deginimas, šaldymas, osmozė, adsorbcija ir pan.;
- cheminiai: pH reguliavimas, koaguliavimas, minkštinimas, jonų mainai, oksidavimas, redukavimas, dezinfekavimas;
- biologiniai: aerobinių, fakultatyvių ir anaerobinių mikroorganizmų naudojimas;
- mišrūs, panaudojant kelių metodų kombinaciją (Patwardhan 2008).

Tinkamų valymo metodų parinkimas daugiausia priklauso nuo pradinių nuotekų charakteristikų ir nuo reikiamo pasiekti išvalymo, tačiau turima teritorija ir finansavimas taip pat turi didelę įtaką priimant sprendimą (Karia *et al.* 2013).

1.3. Paukščių skerdyklos

Lietuvoje veikia 13 paukščių skerdimo ir paukštienos išpjauستymo bei perdirbimo veiklą vykdančių įmonių. Pagrindinės paukštienos sektoriuje dirbančios įmonės – AB Vilniaus paukštynas, AB Kaišiadorių paukštynas, AB Vievio paukštynas, UAB KŪB „Arvi kalakutai“, ŽŪB „Nematekas“ (LR Žemės ūkio ministerija 2015). Per mėnesį Lietuvos įmonėse paskerdžiama daugiau nei 4,5 mln. vnt. paukščių ir pagaminama apie 9 tonos paukštienos skerdenų (Žemės ūkio informacijos ir kaimo verslo centro 2016).

Paukščių pešimo-skerdimo skyrius sudarytas iš tokių etapų:

- svaiginimas – atliekamas elektra, panardinus paukščių galvas į vandens vonią, kurioje įmerkti elektrodai.;
- skerdimas (Danauskienė 2009);
- nukraujinimas – per 1 – 2 minučių laikotarpį paukščiai transportuojami virš nukraujinimo vonios, kur jie praranda daugiau negu 50 % viso kraujo kiekio. Kraujas gali būti surenkamas atskirai („Meyn“ firmos rekomendacijos 2007);
- plikinis – naudojama automatinė plikinimo vonia. Higienos sumetimais plikinimo rezervuare karšto vandens kiekis turi sudaryti 1 litrą paukščiui;

- plunksnų pašėimas – mechaniniai pašėimo įrenginiai yra sukomplektuoti su purkštukais, kurie purškia vandenį ant pašėimo diskų ir vidinių įrenginių dangčių tam, kad nuplautų prikibusias plunksnas („Meyn” firmos rekomendacijos 2007);
- galvų nutraukimas, kojų nupjovimas;
- skrodimo skyrius;
- automatinis paukščių vidaus / išorės plovimo įrenginys – į šį įrenginį paduodamas vanduo 2 atm. slėgiu, kuriuo nuo skerdenų pašalinami matomi nešvarumai (Danauskienė 2009).

Skerdimas, nukraujinimas, plikimas, plunksnų pašėimas, išdarinėjimas ir žarnų praplovimas yra potencialūs nuotekų susidarymo šaltiniai. Skerdimas ir nukraujinimas gali būti didelės nuotekų apkrovos teršalais šaltinis, kai kraujas nėra surenkamas atskirai. Tokios nuotekos turi aukštą organinių medžiagų ir azoto kiekį.

Atskirai surenkamas kraujas ne tik prisideda prie geresnės nuotekų kokybės, bet ir gali būti panaudotas kaip maistinė medžiaga augalams arba kai kuriose šalyse (pvz. Azijos šalyse) net paruošiamas rinkai. Šalyse, kuriose paklausi vidaus organų rinkai, skerdyklose atliekamas žarnų plovimas. Šiam procesui įprastai naudojama daug vandens, dėl to susidaro dideli organinių medžiagų bei kietųjų dalelių kiekiai nuotekose. Taip pat dideli vandens kiekiai reguliariais intervalais naudojami proceso linijos bei patalpų plovimui, tam kad užtikrinti higienos reikalavimus. Galiausiai visi šie nuotekų srautai yra sumaišomi ir tampa skerdyklos nuotekomis (Wun Jarn 2006).

1.3.1. Skerdyklos nuotekų charakteristikos

Skerdyklos nuotekų kiekiai ir sudėtis priklauso nuo tvarkomų gyvulių kiekio ir rūšies. Skirtinguose ūkiuose susidaro skirtingi nuotekų intensyvumai. 4 lentelėje pateikiamos keletos paukščių skerdyklų nuotekų, po stambių grotų, charakteristikos.

Iš 4 lentelės duomenų matyti, jog ChDS ir BDS santykis yra toks pat kaip buitinių nuotekų. Tai rodo, jog nuotekos yra lengvai biologiškai skaidžios. Kita vertus, skendinčių medžiagų koncentracija yra didesnė nei buitinių nuotekų. Taip pat pastebimas didelis amonio azoto kiekis, kuris smarkiai priklauso nuo to, kaip kraujas tvarkomas skerdykloje. Tam, kad sumažinti azoto kiekį nuotekose, rekomenduojama kraują kaupti ir šalinti atskirai nuo nuotekų. Panašiai ir su skendinčiomis medžiagomis, jų kiekis labai priklauso nuo to ar vykdomas žarnų plovimas. Jei vidaus organai nėra ruošiami rinkai, skendinčiųjų medžiagų koncentracija skerdyklos nuotekose gali būti nedidelė. Jeigu vykdomas žarnų plovimas, rekomenduojama, kad

šis nuotekų srautas būtų valomas atskirai tam, kad sumažinti skendinčių medžiagų koncentracijas jame, prieš joms susimaišant su pagrindiniu nuotekų srautu, tiekiamu į nuotekų valymo įrenginius.

Paukščių skerdyklos nuotekų susidarymo norma: 8,9-20,6 m³/1000 paukščių (Wun Jarn 2006).

4 lentelė. Paukščių skerdyklų nuotekų charakteristikos (Wun Jarn 2006)

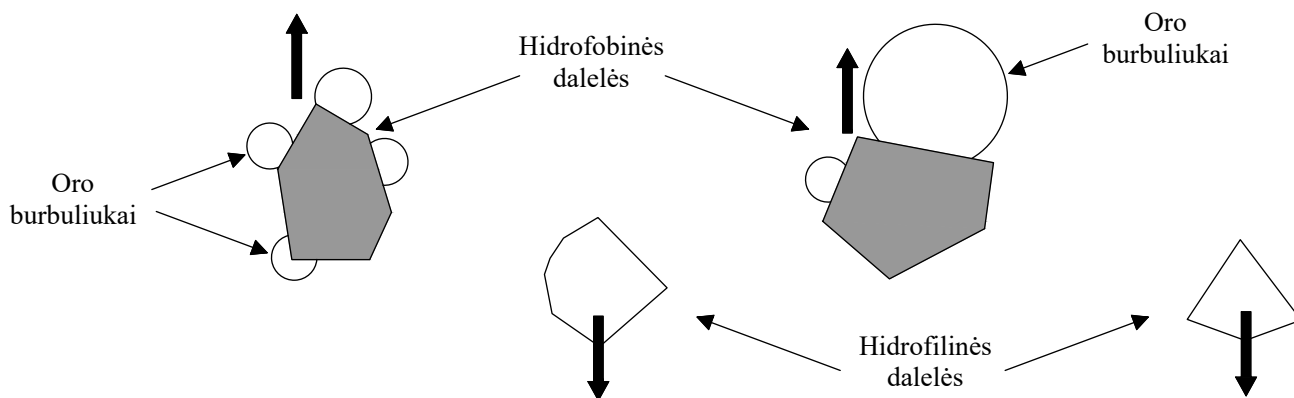
Rodiklis	1 atvejis	2 atvejis	3 atvejis	4 atvejis	5 atvejis	6 atvejis
Q _{vid.} , m ³ /h	24	9	40	66	18	16
Q _{max.} , m ³ /h	45	15	70	85	20	-
ChDS, mg/l	2970	2700	2000-4000	5200	2000-25000	23000
BDS ₅ , mg/l	1480	1100	1500-3000	2500	500-750	1200
ChDS/BDS	2/1	2,5/1	1,3/1	2,1/1	3,3/1-4/1	1,9/1
SM	950	800	1000	1800	1000	1000
Riebalai, mg/l	80	100	200	1100	150-250	150
pH	6-7,5	6-8	6,5-7,5	6-8	6-8,5	6-7,5
NH ₄ -N, mg/l	50	40	120	-	10-190	60-70
Temp., °C	26-30	-	26-34	26-34	26-34	26-35

1.3.2. Skerdyklos nuotekų valymas

Skerdyklose daugiausia naudojamas mechaninis nuotekų apvalymas. Fizikinis - cheminis arba biologinis nuotekų valymas naudojami rečiau. Mechaninio valymo tikslas, kietųjų dalelių sulaikymas ir atskyrimas. Tam naudojamos įvairių tipų grotos bei separatoriai. Skerdyklų nuotekose dalis organinių medžiagų susideda iš riebalų. Dėl šios priežasties naudinga po mechaninio nuotekų valymo įrengti fizikinį-cheminį valymą, kurį sudaro koaguliacija / flokuliacija ir flotacija (Jördening *et al.* 2005).

1.4. Flotacija

Flotacija, tai atskyrimo procesas, kurio metu dujų burbuliukai prisitvirtina prie kietųjų dalelių ir pakeičia jų tankį, dėl to dujų ir kietųjų dalelių junginys tampa lengvesnis už vandenį. Flotacijos proceso principinė schema pateikiama 1 paveiksle.



1 pav. Flotacijos proceso principinė schema (Vaičiūtė 2017)

Flotacija nuotekų valyme naudojama skendinčių medžiagų ir riebalų šalinimui. Taip pat biologinio dumblo nuvandeninimui ir smulkių kietųjų dalelių atskyrimui. Dalelių atskyrimas vyksta skysčio paviršiuje, todėl flotacija laikoma priešingu procesu nusodinimui, kur dalelės yra pašalinamos iš rezervuaro dugno (Asano *et al.* 2007).

Flotacijos metu trys procesai vyksta kartu:

- aeracija, kur oro burbuliukai yra įterpiami į sistemą;
- maišymas, kur oro burbuliukai ir dalelės sumaišomi, tam kad padidinti jų tarpusavio sąveiką;
- atskyrimas, kur išplukdytos dalelės atskiriamos nuo nuotekų ir grandiklių pagalba nugriebiamos (Rubio *et al.* 2002).

Pagal oro burbuliukų formavimąsi flotacija skirstoma:

- pasklidusio oro flotacija (ang. *dispersed air flotation*): šioje sistemoje oro burbuliukai formuojami įterpiant orą dujų fazėje tiesiai į skystį sparnuotės arba difuzoriaus pagalba (Karia *et al.* 2013). Susidariusių burbuliukų dydis 0,5-2 mm (Matis *et al.* 1995). Įprastomis sąlygomis, išbuvimo laikas <5 min (Rosa *et al.* 2004). Daugiausia taikoma ten, kur reikia pašalinti didelio tankio mineralines daleles (Edzwald *et al.* 2012);

- ištirpusio oro flotacija (angl. *dissolved air flotation*): pirmiausia oras, naudojant didelį slėgį (2-6 atm. (Wang *et al.* 2007)), ištirpinamas nuotekose, po to slėgio mažinimo sklendės pagalba, tiekiant į flotatorių, slėgis sumažinamas iki atmosferinio, tam, kad susiformuotų maži kylantys oro burbuliukai (Karia *et al.* 2013). Pastarasis metodas yra naudojamas dažniausiai (Casey 1997);
- vakuumo flotacija (angl. *vacuum flotation*): nuotekos pirmiausiai prisotinamos oru, kurio slėgis žemesnis, nei atmosferinis. Oro burbuliukai gaunami tiekiant vakuumą į flotatorių. Šis būdas turi keletą trūkumų (Edzwald *et al.* 2012), išgaunamas oro kiekis yra labai ribotas (Casey 1997), taip pat įranga, sudaranti vakuumą, gana sudėtingai valdoma. Šiuo metu šis būdas mažai naudojamas;
- elektroflotacija: maži dujų burbuliukai formuojasi elektrolizės metu. Lyginant su kitais flotacijos būdais elektroflotacijos metu išgaunami itin maži burbuliukai (17-50 μm) (Comninellis *et al.* 2010).

Vietoje oro gali būti naudojamos ir kitos dujos, pvz. naftos pramonėje naudojamas azotas, tam kad sumažinti užsidegimo galimybę, ozono – ultravioletinė flotacija naudojama požeminio vandens dezaktyvacijai (Water Environment Federation 2008).

Flotacijos efektyvumas labai priklauso nuo susidarančių burbuliukų dydžio: kuo mažesni burbuliukai išgaunami, tuo efektyviau vyksta flotacija (Comninellis *et al.* 2010). Reagentų įterpimas į flotacijos procesą taip pat padidina flotacijos efektyvumą. Toks procesas vadinamas reagentine flotacija. Reagentai pagreitina kietųjų medžiagų flotaciją, pakeisdami kietųjų dalelių, slyščio arba oro burbuliukų paviršiaus parametrus, taip kad burbuliukai lengviau prisitvirtintų prie kietųjų dalelių (Water Environment Federation 2008).

Flotacijos privalumai:

- reagentinė flotacija efektyviai pašalina iš nuotekų riebalus, kietąsias medžiagas, organines medžiagas, azotą ir fosforą;
- bereagentė flotacija efektyvi šalinant riebalus;
- gali būti šalinamos išplukdytos ir nusėdusios kietosios dalelės tame pačiame įrenginyje;
- gera nuotekų valymo kokybė palyginti ne didelėje talpoje;
- prisotinimas deguonimi sumažina problemas susijusias su nemaloniais kvapais.

Flotacijos trūkumai:

- prastas riebalų šalinimas esant aukštesnei nei 39 °C temperatūrai;
- brangi eksploatacija, lyginant su nusodintuvais (Casey 1997).

1.4.1. Flotatoriai

Dažniausiai flotatoriai (2 paveikslas) naudojami pirminiam nuotekų valymui, jei jos išleidžiamos į nuotekų tinklus arba kaip pirmoji valymo pakopa, jei jos toliau valomos kituose įrenginiuose (antroji valymo pakopa). Tai gali būti mechaniniai ir / ar biologiniai valymo įrenginiai, atsižvelgiant į užterštumo pobūdį.

Naujausiuose flotatoriuose pritaikyti patys naujausi techniniai ir konstrukciniai sprendimai. Putoms šalinti naudojamas specialus grandiklis, kuris išplūdas sutankina, todėl jos gaunamos sausesnės. Nuosėdos šalinamos sraigtu, taip pat yra geriau sutankinamos. Priemaišų atskyrimo efektyvumą padidina plonasluoksniai moduliai. Juose taikoma priešpriešinė tėkmė, todėl geriau atsiskiria išplaukiančios medžiagos ir sėdančios dalelės (Baltrėnas *et al.* 2008).

Pagal formą flotatoriai gali būti apvalūs, kvadratiniai arba stačiakampiai. Yra gaminami iš metalo, betono ir plastiko.

Svarbūs projektiniai faktoriai: darbinis slėgis, oro ir kietųjų dalelių santykis, susidariusios putos išbuvimo laikas, paviršiaus hidraulinė apkrova, pakartotinai naudojamų nuotekų srauto procentas ir reagentų kiekis (Edzwald *et al.* 2012).



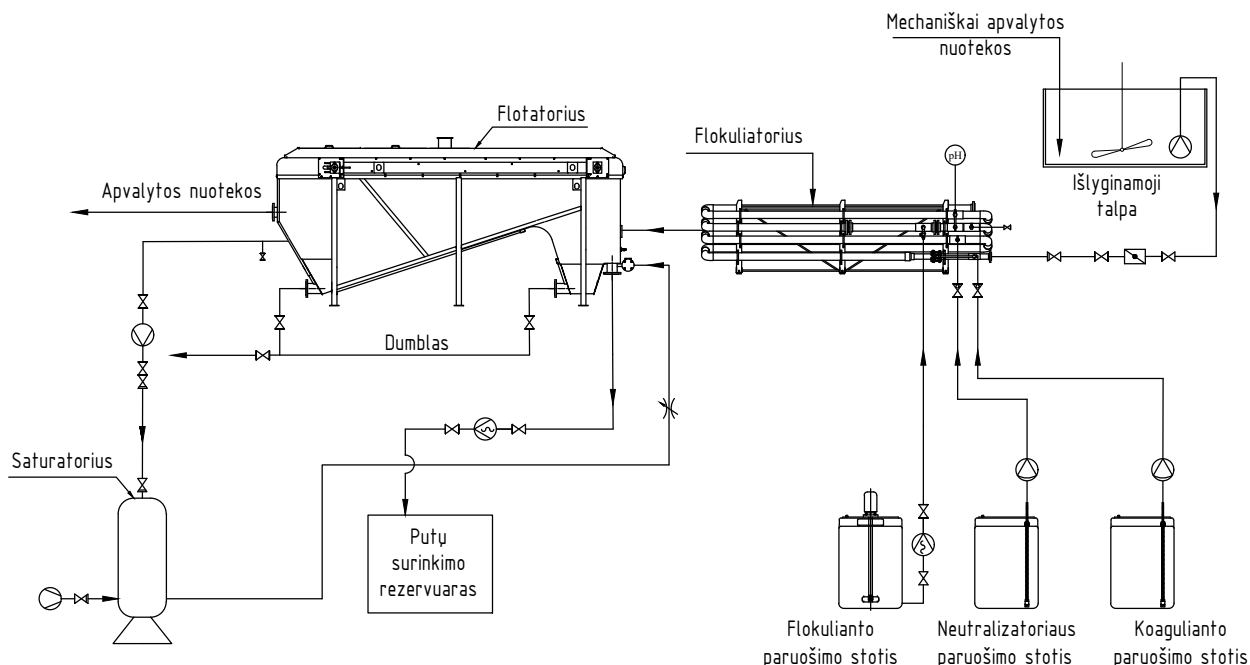
2 pav. Flotatorius su vamzdiniu flokulatoriumi („EKOTON“ 2017)

1.4.2. Veikimo principas

Be paties flotatoriaus fizinį-cheminį valymo procesą įprastai sudaro:

- išlyginamoji talpa – proceso pradžioje esanti talpa, kurioje kaupiamos nuotekos, skirta užtikrinti pastovų ir tolygų nuotekų srautą į nuotekų valymo įrenginius (Metcalf *et al.* 2003);
- flokulatorius – įrenginys, kuriame vyksta flokulių susidarymo procesas, kitaip vadinama reakcijos kamera. Klasikinis įrenginys buvo paprastas rezervuaras su maišyklėmis, kuriame vanduo ir koaguliantas turėjo išbūti tam tikrą laiką. Šiuolaikinis flokulatorius, vadinamas vamzdiniu flokulatoriumi, yra gyvatuko tipo vamzdis, kuriame dėl turbulencinio tekėjimo koaguliantas, flokuliantas ir pH reguliuojantis tirpalas gerai susimaišo su nuotekomis (Baltrėnas *et al.* 2008);
- saturatorius – slėginis indas, kuriame vanduo yra prisotinimas oru. Į saturatorių dažniausiai tiekiamos flotatoriuose apvalytos nuotekos. Oras tiekiamas kompresoriumi („EKOTON“ 2017).

Tipinė flotacijos sistemos schema pateikiama 3 paveiksle.



3 pav. Tipinė flotacijos sistemos schema (Vaičiūtė 2016)

Mechaniškai apdorotos nuotekos po išlyginamosios talpos yra tiekiamos į flokuliatorių, kuriame į jas įterpiami reagentai. Iš flokulatoriaus nuotekos patenka į flotatoriuje esančią sumaišymo kamerą. Jeigu naudojama beregėntė flotacija, nuotekos tiekiamos iš karto į ją. Sumaišymo kameroje nuotekos maišomos su recirkuliaciniu apvalytų nuotekų ir oro mišiniu. Oro burbuliukai kildami į paviršių prisitvirtina prie valomose nuotekose esančių lėtai sėdančių dalelių ir išplukdo jas į paviršių. Tokiu būdu valomų nuotekų paviršiuje formuojasi putos.

Susidariusi putos nuo nuotekų paviršiaus periodiškai šalinama grandikliais į putų surinkimo rezervuarą. Neplūdrios dalelės kaupiamos flotatoriaus dugne esančioje prieduobėje.

Nuskaidrėjusios nuotekos persilieja per nuopylą, esančią flotatoriuje ir vamzdžiais yra tiekiamos tolimesniam valymui arba šalinimui. Dalis apvalytų nuotekų (daugiau nei 30 %) naudojamos saturacijai. Saturacija yra skysčio prisotinimas oru, vykstanti saturatoriuje esant 0,6 MPa slėgiui. Oras į saturatorių tiekiamas kompresoriumi („EKOTON“ 2017). Prisotinimas oru priklauso nuo slėgio ir temperatūros, jis yra tiesiogiai proporcingas slėgiui ir atvirkščiai proporcingas temperatūrai. Efektyvus prisotinimas oru yra labai svarbus veiksnys efektyviai flotatoriaus veiklai (Wang *et al.* 2007).

1.4.3. Išlyginamosios talpos

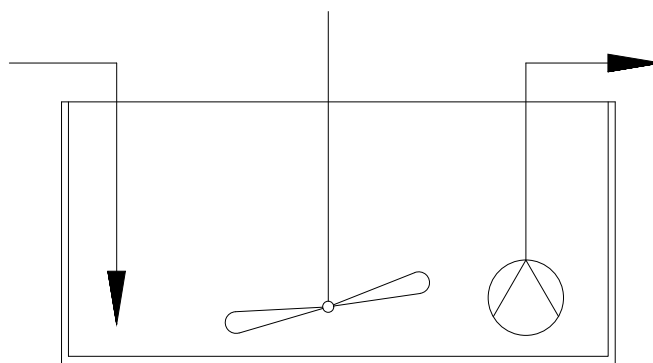
Gamybinių nuotekų sudėtis ir srautas gali būti labai netolygūs, dėl šios priežasties įrengiamos išlyginamosios talpos (Metcalf *et al.* 2003). Išlyginamosios talpos padeda užtikrinti pastovų ir tolygų srautą į flotatorių. Tai pagerina cheminių procesų, koaguliacijos ir flokuliacijos, efektyvumą. (Water Environment Federation 2008). Išlyginamoji talpa gali būti nuotekų valymo linijoje, tokiu atveju į ją patenka visas nuotekų srautas arba įrengta atskirai. Į atskirai įrengtą išlyginamąją talpą patenka tik dalis nuotekų, įvykus avarijai arba esant dideliame nuotekų srautui.

Išlyginamosios talpos privalumai:

- kontroliuoja nuotekų debito ir teršalų koncentracijų pikus;
- užtikrina nepertraukiamą valymo įrenginių darbą.

Išlyginamoji talpa neturi trūkumų, bet įrengiant turėtų būti atsižvelgiama į įrengimo kainą. Esant dideliems debito ir koncentracijų svyravimams arba ilgai nuotekų išbuvimo trukmei joje, kaina gali stipriai išaugti (Emis 2010).

Pasak įmonės „EKOTON“ specialistų, paprastai išlyginamosiose talpose nuotekos išbūna apie 2–4 valandas, kur jos yra nuolat maišomos maišyklėmis (4 paveikslas) tam, kad teršalai nenusėstų. Tačiau realybėje pasitaiko atvejų, kai į flotatorių tiekiamos šviežios nuotekos dėl to pastebimai sumažėja nuotekų išvalymo efektyvumas flotatoriuje (Miasoiedov 2016).



4 pav. Išlyginamosios talpos schema (Vaičiūtė 2016)

1.5. Koaguliacija ir flokuliacija

Koaguliacija, tai koloidinių dalelių destabilizacija (Droste 1997). Koaguliacijos tikslas mažas daleles paversti didesnėmis sėdančiomis ar skendinčiomis dalelėmis arba ištirpusias organines medžiagas paversti dalelėmis, kurios vadinamos dribsniais. Gera koaguliacija yra labai svarbus faktorius gerai flotatoriaus veiklai (Davis 2011).

Dauguma kietųjų dalelių, susidarančių pramonės procese, yra koloidinės, jos įprastai smulkios (0,01-1 m) ir neigiamo krūvio. Cheminė koaguliacija reikalinga, nes koloidinės dalelės stumia viena kitą, dėl to nenusėda ir negali būti pašalinamos.

Koaguliacijai svarbūs faktoriai yra pH ir koagulianto kiekis. Optimalus kiekis ir pH turi būti nustatomi laboratorinių tyrimų metu. Optimali pH reikšmė aliuminio sulfatui apytiksliai yra 5-9. Geležies druskų pH verčių intervalas platesnis 4-9 (Davis 2011).

Dažniausiai naudojami metalų koaguliantai yra skirstomi į dvi pagrindines kategorijas: koaguliantai aliuminio pagrindu ir koaguliantai geležies pagrindu. Aliuminio ir geležies koaguliantai renkamiesi dažniausiai ne tik dėl koaguliacijos efektyvumo, bet ir dėl lengvo prieinamumo, bei palyginti nedidelės kainos (Bratby 2008).

- Aliuminio sulfatas: tai yra bene plačiausiai naudojamas koaguliantas. Gali būti skystos arba kietos būsenos. Sausos būsenos aliuminio sulfato formulė $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, aliuminio masė sudaro 7,4-9,5 % (Bratby 2008). Skystos būsenos aliuminis yra stipri rūgštis, kurios pH 2,0-3,8 priklausomai nuo molinio santykio;
- geležies chloridas: geležies chloridas yra chemikalas naudojamas kaip koaguliantas koaguliacijos procese. Geležies chlorido formulė FeCl_3 . Gali būti dviejų būvių:

kietas ar skystas. Nuotekų valyme dažniausia naudojamas skystu pavidalu. Kietos būsenos geležies chloridas yra geltonai rudos spalvos tirpi kristalinė masė, kurio formulė $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Šios būsenos geležies chloridas turi būti laikomas vėsiai, nes yra tirpus prie 34 °C. Kai geležies druskos, tokios kaip geležies chloridas naudojamos koaguliacijai minkštame vandenyje, reikalingas nedidelis kiekis bazės (pvz. natrio šarmo arba kalkių) tam, kad neutralizuotų šią stiprią druską (Wang *et al.* 2007);

- geležies (III) sulfatas: ši cheminė medžiaga naudojama kaip koaguliantas gamybinėms nuotekoms, gali būti skystas arba baltų miltelių pavidalu. Geležies (III) sulfato formulė $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Yra labai tirpus vandenyje.
- geležies (II) sulfatas: geležies (II) sulfato formulė $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Gali būti kristalų arba granulių pavidalu, kurios lengvai tirpios vandenyje (Bratby 2008).

Flokuliantas naudojamas tolimesniam dribsnių formavimuisi į didesnius ir tvirtesnius, vadinamus flokulėmis. Įprastai naudojamas kartu su koaguliantu. Flokuliacijai dažniausiai naudojami polimerai.

- Polimerai: šios medžiagos dažnai naudojamos nuotekų valyme. Dar vadinami polielektrolitais. Daugiausia naudojami koaguliacijai ir flokuliacijai, dėl daugybės tikslų, pavyzdžiui pagreitinti koaguliaciją ir flokuliaciją, sumažinti dumblo kiekį, sustiprinti flokuliaciją. Gali būti naudojami skysčio arba miltelių pavidalu.

Yra trijų tipų polimerai:

- katijoniniai – turi teigiamą krūvį, ;
- anijoniniai – turi neigiamą krūvį;
- nejoniniai – neturi krūvio.

Dažniausiai naudojamas skystas katijoninis polimeras. Labai retais atvejais polimeras naudojamas vienas kaip koaguliantas.

Egzistuoja plati natūralių ir sintetinių polimerų įvairovė. Natūralūs polimerai ilgai buvo naudojami kaip flokuliantai. Jie yra netoksiški ir biologiškai skaidūs, tačiau ne visada efektyvūs ir turi būti įvertinami kiekvienu konkrečiu naudojimo atveju, taip pat kaip ir koaguliantai. Natūralių flokuliantų pavyzdžiai: Moringa medžio sėklos, krakmolos, pupenių lipai (angl. *guan gums*), taninas, chitozanas, natrio alginatas. Nors natūralūs polimerai draugiški aplinkai, sintetiniai polimerai naudojami dažniau, nes yra efektyvesni (Wang *et al.* 2007).

1.5.1. Reagentų dozavimas

Flotacijos proceso reagentų dozavimo sistemą sudaro: talpos, reagentų maišymo ir dozavimo įranga bei flokulatorius, kuriame nuotekos sumaišomos su reagentais. Reagentų dozavimo sistema priklauso nuo pasirinktų reagentų, jų būvio ir valymo sistemos dydžio.

Reagentų tirpinimas ir maišymas dažniausia vyksta talpoje, kur greitas maišymas užtikrinamas maišykle. Tačiau gali vykti siurblyje arba įtekėjimo į flotatorių vamzdyje.

Sausi reagentai įprastai prieš naudojimą yra ištirpinami. Polimerai sunkiai tirpstančios medžiagos. Jų eksploatavimui reikalinga maišymo talpa ir dozavimo siurblys. Polimerų milteliai prieš tiekiant į talpą yra sudrėkinami, tai sutrumpina maišymo laiką ir užtikrina polimero naudojimo efektyvumą, tokiu būdu, polimero sunaudojama mažiau. Po skiedimo polimeras turi šiek tiek pastovėti, tam kad visiškai atsiskiestų (rekomenduojama 30-60 min).

Greičio gradientas naudojamas nustatyti energijai, reikalingai užtikrinti norimą rezultatą. Greito maišymo koaguliacijos metu greičio gradientas yra $500-1000\text{ s}^{-1}$. Tipinė greito maišymo trukmė maišymo talpoje 30-60 s. Lėto maišymo greičio gradientas yra $10-60\text{ s}^{-1}$. Tipinė flokuliacijos trukmė 10-30 min. Po greito maišymo turėtų būti numatyta lėto maišymo zona, reikalinga flokuliacijai, kur koaguluotos dalelės susijungia į sunkesnes, tankesnes flokules, kurios gali būti pašalinamos flotacijos būdu.

Flokuliacija galima ir vamzdyniame flokulatoriuje. Jį sudaro maišyklė ir keletas chemikalų įterpimo ir mėginių ėmimo taškų (Bratby 2008).

1.5.2. Indelių metodas (ang. *jar testing*)

Dėl daugybės faktorių, turinčių įtakos koaguliacijai, ir kitų sudėtingų reakcijų nėra tikslinga nustatyti reikiamą koagulianto dozę konkrečiom nuotekom, pasitelkiant skaičiavimus. Šiam tikslui naudojamas indelių metodas (Casey 1997).

Indelių metodas, tai efektyvus metodas, skirtas parinkti reagentams bei optimalaus jų kiekio ir pH nustatymui. Šis metodas ypač svarbus gamybinėms nuotekoms, kurių parametrai tarp procesų ar net konkretaus proceso metu nuolat kinta (Water Environment Federation 2008).

Atlikti šiam testui naudojama laboratorinė maišyklė (5 paveikslas), kurios pagalba vienu metu galima paruošti keletą mėginių su skirtingomis koagulianto koncentracijomis. Optimalus koagulianto kiekis, tai mažiausias reagento kiekis, užtikrinantis pakankamą valymą, nustatomas pagal mėginių spalvą ir drumztumą. Naudojant nustatytą koagulianto dozę

atliekamas kitas panašus testas, skirtas pH koregavimui, kurio metu nustatoma optimali pH reikšmė (Casey 1997).



5 pav. Laboratorinė maišyklė skirta indelių metodo tyrimui (Burgess, 2015)

Koaguliantas ir neutralizatorius privalo būti greitai išmaišomi, tam kad užtikrinti maksimalų kontaktą tarp reagentų ir skendinčių dalelių, kitaip koaguliantas sureaguos su skysčiu ir praras dalį koaguliacinės jėgos. Flokulantai maišomi mažesniu greičiu, tam kad paskatinti dalelių susijungimą, bet apsaugoti nuo didelių flokulių ardymo. Kadangi koaguliacijos reakcijos yra greitos, jos trunka neilgai, tačiau reikalinga didelė turbulencija (Bratby 2008).

1.6. Literatūros išvados

1. Dėl savo sudėties gamybinės nuotekos gali kelti pavojų buitinių nuotekų sistemai ir trukdyti gerai nuotekų valyklos veiklai, dėl to pramonės įmonėse privalomas vietinis dalinis nuotekų apvalymas.
2. Gamybinių nuotekų sudėtis ir srautas yra labai netolygūs, tai apsunkina nuotekų valymo procesą.
3. Skerdyklų nuotekoms, dėl didelio kraujo kiekio, būdingas aukštas organinių medžiagų ir azoto kiekis. Dėl šios priežasties rekomenduojama atskirai surinkti kraują, kad jis nepatektų į valomas nuotekas.
4. Flotatoriaus efektyvumas priklauso nuo efektyvaus nuotekų prisotinimo oru.
5. Dažniausiai naudojami koagulantai yra aliuminio ir geležies druskos, renkamiesi dažniausiai ne tik dėl koaguliacijos efektyvumo, bet ir dėl lengvo prieinamumo, bei palyginti nedidelės kainos.
6. Gera koaguliacija ir flokuliacija yra labai svarbūs faktoriai gerai flotatoriaus veiklai.
7. Pasak įmonės „EKOTON“ specialistų, paprastai išlyginamosiose talpose nuotekos išbūna apie 2–4 valandas, kur jos yra nuolat maišomos maišyklėmis tam, kad teršalai nenusėstų. Tačiau realybėje pasitaiko atvejų, kai į flotatorių tiekiamos nuotekos, neišbuvusios išlyginamosiose talpose net minimalaus rekomenduojamo laiko, dėl to pastebimai sumažėja nuotekų išvalymo efektyvumas flotatoriuje (Miasoiedov 2016).

2. METODIKA

Šiame skyriuje pateikiamos tirtųjų nuotekų laboratorinio ir bandomojo tyrimų metodikos: aprašomi bandomieji standai, pateikiamos į standus tiekiamų nuotekų charakteristikos bei aprašoma tyrimų eiga.

2.1. Laboratorinių tyrimų metodika

Tyrimai buvo atlikti Vilniaus Gedimino technikos universiteto Vandentvarkos inžinerijos katedros mokomojoje laboratorijoje ir susidėjo iš keturių atskirų eksperimentų:

- pirmasis eksperimentas – 2016 m. balandžio mėn. 6 d.;
- antrasis eksperimentas – 2016 m. balandžio mėn. 20 d.;
- trečiasis eksperimentas – 2016 m. gegužės mėn. 12 d.;
- ketvirtasis eksperimentas – 2016 m. gegužės mėn. 31 d.

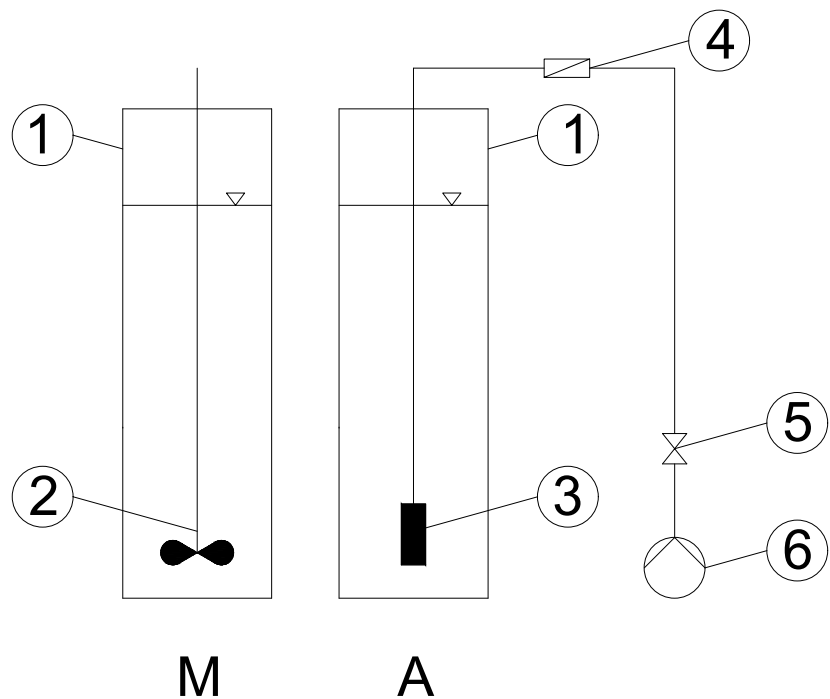
2.1.1. Bandomasis standas

Tyrimai atlikti dviejuose cilindro formos reaktoriuose (vidinis skersmuo – 19 cm, aukštis – 48 cm), imituojančiuose išlyginamąsias talpas. 6 paveiksle pateikiama tiriamojo stendo nuotrauka.

Juose buvo palaikomos skirtingos nuotekų išlaikymo sąlygos: viename reaktoriuje nuotekos buvo maišomos maišykle (7 paveiksle, M; toliau vadinamas „maišomas reaktorius“), o antrajame – aeruojamos (7 paveiksle, A; toliau vadinamas „aeruojamas reaktorius“). Įprastai išlyginamosiose talpose nuotekos maišomos maišykle, tačiau tyrimo metu kaip alternatyva buvo tiriamas ir nuotekų maišymas aeruojant, siekiant nustatyti galimą aeracijos įtaką tiriamoms nuotekoms. Aeracijai vykdyti buvo naudojamas akmeninis oro difuzorius, į kurį oras tiekiamas orapūte HIBLOW V-60 (Techno Takatsuki Co., Japan). Tiekiamo oro debitas nustatytas taip, kad būtų kiek įmanoma mažesnis, bet nuotekos reaktoriuje būtų maišomos ir palaikomos skendinčiajame būvyje. Nuotekų sumaišymui aeracijos būdu užtikrinti, nustatytas reikiamas oro kiekis – 9,0 l/min. Tiekiamojo oro kiekis buvo reguliuojamas rutuline sklende ir nustatytas skaitikliu.



6 pav. Tiriamasis stendas: kairėje – maišomas reaktoriūs, dešinėje – aeruojamas reaktoriūs
(Vaičiūtė 2016)



7 pav. Tiriamojo stendo schema: 1 – reaktoriūs, 2 – maišyklė, 3 – difuzorius, 4 – skaitiklis, 5 – sklendė, 6 – orapūtė, M – maišomas reaktoriūs, A – aeruojamas reaktoriūs (Vaičiūtė 2016)

2.1.2. UAB Vilniaus paukštynas

Tyrimė naudojamos nuotekos iš UAB Vilniaus paukštyno. Tai vienas moderniausių ir didžiausių paukštynų Lietuvoje, užsiimančių paukščių auginimu ir vištienos perdirbimu. Paukštynas įsikūręs Rudaminos kaime, Vilniaus rajone.

Per dieną UAB Vilniaus paukštynė susidaro 2200 m³ nuotekų. Šių nuotekų charakteristikos pateikiamos 5 lentelėje. Paukštynė veikia keli cchai: skerdimo, išpjaušymo, rūkymo, pusgaminių / marinavimo ir utilizavimo. Paukštyno veiklos metu susidarančios nuotekos suteka į jo teritorijoje esančią nuotekų siurblinę (8 paveikslas). Iš nuotekų siurblinės nuotekos ~ 1 km ilgio slėgine linija yra pumpuojamos į UAB Vilniaus paukštyno nuotekų valyklą.

Nuotekų valymo procesą sudaro: plunksnų skirtuvas, būgninės grotos, flotatorius kartu su reagentų paruošimo stotimis, bioreaktorius, nusodintuvas, bei susidariusio dumblo tankintuvas. Nuotekų valymo proceso schema pateikiama 9 paveiksle.

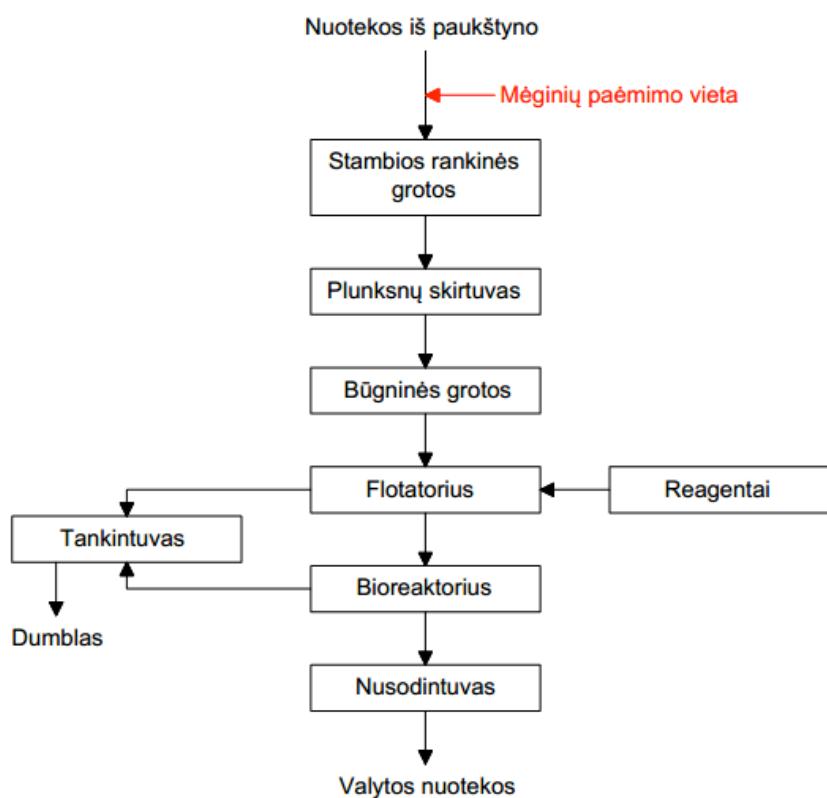
Flotacijos procesui naudojami reagentai – geležies sulfatas ir poliakrilamidas.

5 lentelė. Nuotekų charakteristikos (AB Vilniaus paukštyno duomenys 2016)

Rodiklis	Koncentracija
ChDS, mg/l	2445
BDS ₇ , mg/l	1020
Bendrasis azotas, mg/l	147
Bendrasis fosforas, mg/l	22,1
Riebalai, mg/l	310
Skendinčiosios medžiagos, mg/l	674



8 pav. AB Vilniaus paukštyno nuotekų siurblinė (Vaičiūtė 2016)



9 pav. AB Vilniaus paukštyno nuotekų valymo proceso schema (Vaičiūtė 2016)

2.1.3. Tiriamosios nuotekos

Kiekvieno eksperimento pradžioje reaktoriai buvo pripildomi nuotekomis, atvežtomis iš AB Vilniaus paukštyno. Nuotekos tyrimams buvo imtos iš paukštyno teritorijoje esančios nevalytų nuotekų siurblynės, į kurią jos atiteka iš skerdyklos cecho. Paimtos nuotekos buvo kuo skubiau transportuojamos į laboratoriją, palaikant jų 4 °C temperatūrą ir nedelsiant pradedamas eksperimentas. Tyrimams naudotų nuotekų charakteristikos pateiktos 6 lentelėje.

6 lentelė. Nustatytos tiriamųjų nuotekų teršalų koncentracijos (Vaičiūtė 2016)

Parametras	BDS ₇ , mg/l	ChDS, mg/l	NH ₄ -N, mg/l	PO ₄ -P, mg/l	pH
Vidurkis	1700	3239	37,7	24,4	7,32
Standartinis nuokrypis	599	1056	9,4	11,0	0,17
Minimali reikšmė	1059	2286	28,2	14,4	7,09
Maksimali reikšmė	2501	4843	47,1	43,0	7,48
Mėginių skaičius	3	4	2	4	3

2.1.4. Reagentų optimalaus kiekio nustatymas

Prieš pagrindinį tyrimą buvo atliktas paruošiamasis tyrimas, kurio metu nustatyti optimalūs reagentų (koagulianto, neutralizatoriaus ir flokulianto) kiekiai. Koaguliuojant nuotekas reikia palaikyti pH 7-7,2 ribose. Šiuo tikslu į mėginį kartu su koaguliantu dozuojamas 5 % NaOH tirpalas. Reikiamas neutralizatoriaus kiekis buvo nustatytas bandymų būdu, lašinant į mėginį NaOH tirpalą tol, kol buvo pasiektas reikiamas pH. Nustatant optimalų koagulianto kiekį į tiriamas nuotekas buvo pridėti skirtingi kiekiai koagulianto ir jau nustatytas NaOH kiekis. Optimalus koagulianto kiekis nustatytas pagal susidariusių dribsnių stiprumą ir nuotekų skaidrumą. Koaguliacijai naudotas geležies chloridas, optimalus nustatytas jo kiekis – 1,47 ml/l 10 % FeCl₃, reikiamas neutralizatoriaus kiekis – 0,64 ml/l 5 % NaOH.

Optimalus flokulianto kiekis nustatytas analogiškai, į sukoaguliuotas nuotekas pridėjus skirtingą kiekį flokulianto. Optimalus flokuliantas parinktas pagal susidariusių flokulių stiprumą ir nuotekų skaidrumą. Naudotas flokuliantas – poliakrilamidų mišinys (EKOTAKAS, UNAFLOC 4195), kuris yra realiai naudojamas UAB Vilniaus paukštyno flotacijos procese. Optimalus nustatytas flokulianto kiekis – 3 ml/l 0,1 % poliakrilamido tirpalo.

2.1.5. Tyrimo eiga

Pirmieji mėginiai buvo iš karto imami iš atvežtų nuotekų ($t=0$), o likusios nuotekos išpiltos į reaktorius. Pripildžius kiekvieną reaktorių 10 l atvežtų nuotekų, pradedamas skaičiuoti eksperimento laikas.

Tam tikrais laiko intervalais iš abiejų reaktorių buvo imama po 0,5 l nuotekų, kurios buvo koaguliuojamos ir flokuliuojamos taip imituojant flotacijos metu vykstančius procesus.

Iš reaktorių paimtų mėginių koaguliacija / flokuliacija buvo atliekama naudojant maišyklę, nurodyta eiga:

- į mėginius kartu su neutralizatoriumi įterpiamas koaguliantas ir maišoma 200 aps. / min greičiu 30 sekundžių;
- greitis sumažinamas iki 50 aps. / min ir maišoma 1 minutę;
- įterpus flokulantą greitis padidinamas iki 200 aps. / min ir maišoma 30 sekundžių;
- maišymo greitis sumažinamas iki 50 aps. / min ir maišoma 1 minutę;
- išjungus maišyklę mėginys paliekamas 2 minutėms pastovėti tam, kad nusėstų susidariusios flokulės.

Cheminėms nuotekų analizėms naudotos nuskaidrėjusios nuotekos.

Pirmųjų dviejų eksperimentų trukmė siekė 8 valandas, o mėginiai buvo imami kas dvi valandas. Išanalizavus šių eksperimentų rezultatus, kitų dviejų eksperimentų trukmę nuspręsta sutrumpinti iki 5 valandų, o mėginius imti kas valandą.

2.1.6. Cheminės nuotekų analizės

Tam tikrais laiko intervalais iš abiejų reaktorių imtuose nuotekų mėginiuose ir nuotekų mėginiuose, gautuose po koaguliacijos / flokuliacijos, buvo nustatomos biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7), cheminio deguonies suvartojimo (ChDS), amonio azoto (NH_4-N), nitratų azoto (NO_3-N), nitritų azoto (NO_2-N), fosfatų fosforo (PO_4-P) koncentracijos ir pH. Cheminės nuotekų analizės buvo nustatomos šiais būdais:

- BDS_7 – skiedimo ir sėjimo, pridėjus alitiokarbamido, elektrocheminiu metodu (LST EN 1899-1:2000, LST ISO 5814:1998);
- ChDS – titrimetriniu metodu (LST ISO 6060:2003);
- PO_4-P ir azoto junginiai – Spectroquant testais ir Genesys 10 UV-Vis spektrofotometru (Thermo Fisher Scientific, JAV);

- O₂ matuojamas deguonies matuokliu SevenGo pro SG6 (Mettler Toledo, Šveicarija);
- pH matuojamas pH matuokliu inoLab pH 730 (WTW, Vokietija).

2.1.7. Skiedimai

Dėl didelių teršalų koncentracijų nuotekų mėginiai buvo skiedžiami. Siekiant sumažinti nuotekų drumztumą, nustatant azoto junginių ir PO₄-P koncentracijas, nuotekos buvo filtruojamos per membraninius filtrus, kurių poringumas 0,45 µm (ALBET LabScience, Vokietija). Taikyti skiedimai pateikiami 7 lentelėje.

7 lentelė. Tiriamųjų mėginių kiekis kiekvienu laiko momentu t=n ir taikyti skiedimai (Vaičiūtė 2016)

Rodikliai	Kontrolinis mėginys	Prieš K/F		Po K/F	
		Aeruojamas reaktorius	Maišomas reaktorius	Aeruojamas reaktorius	Maišomas reaktorius
ChDS	(1) ²	1:5 (1)	1:5 (1)	1:2 (1)	1:2 (1)
BDS ₇	(1) ¹	1:500 (1)	1:500 (1)	1:100 (1)	1:100 (1)
		1:250 (1)	1:250 (1)	1:200 (1)	1:200 (1)
NH ₄ -N	(1) ¹	1:5 kai filtruojama per 0,45 µm filtrą vakuuminiu siurbliu (1 mėginys kiekvienam rodikliui)	1:5 kai filtruojama per 0,45 µm filtrą vakuuminiu siurbliu (1 mėginys kiekvienam rodikliui)	Mėginys filtruojamas per 0,45 µm filtrą vakuuminiu siurbliu be skiedimo (1 mėginys kiekvienam rodikliui)	Mėginys filtruojamas per 0,45 µm filtrą vakuuminiu siurbliu be skiedimo (1 mėginys kiekvienam rodikliui)
NO ₂ -N	(1) ¹				
NO ₃ -N	(1) ¹				
PO ₄ -P	(1) ¹				
pH		(1)	(1)	(1)	(1)

Pastabos: skliaustuose pateiktos reikšmės rodo mėginių kieki.

¹ – kontroliniai mėginiai buvo ruošiami kiekvienu laiko momentu t=n; ² – ChDS tyrimui kontrolinis mėginys buvo ruošiamas tik t=0.

2.1.8. Naudotos formulės

Atlikus chemines analizes, buvo skaičiuojamas teršalų sumažėjimas po koaguliacijos / flokuliacijos kiekvienu laiko momentu $t=n$, kuris toliau vadinamas atitinkamo teršalo koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumu ($E_{K/F}^{t=n}$) ir buvo skaičiuojamas pagal formulę:

$$E_{K/F}^{t=n} = \frac{C_{\text{prieš } K/F}^{t=n} - C_{\text{po } K/F}^{t=n}}{C_{\text{prieš } K/F}^{t=n}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Čia: $C_{\text{prieš } K/F}^{t=n}$ – teršalo koncentracija tam tikru laiko momentu $t=n$ prieš koaguliaciją / flokuliaciją, mg/l;

$C_{\text{po } K/F}^{t=n}$ – teršalo koncentracija tam tikru laiko momentu $t=n$ po koaguliaciją / flokuliaciją, mg/l.

Pradinės teršalų koncentracijos (prie $t=0$) sumažėjimas po koaguliacijos / flokuliacijos kiekvienu laiko momentu $t=n$, buvo skaičiuojamas pagal formulę:

$$E^{t=n} = \frac{C_{\text{prieš } K/F}^{t=0} - C_{\text{po } K/F}^{t=n}}{C_{\text{prieš } K/F}^{t=0}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Čia: $C_{\text{prieš } K/F}^{t=0}$ – pradinė teršalo koncentracija, mg/l;

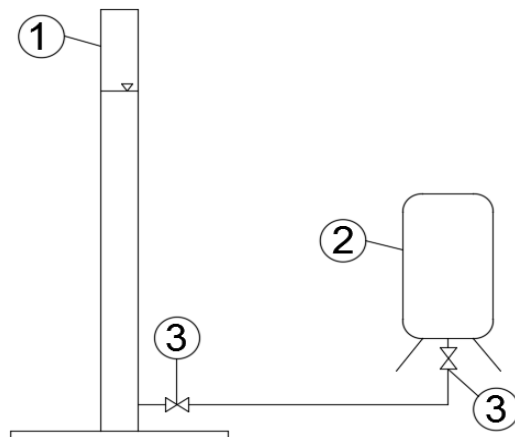
$C_{\text{po } K/F}^{t=n}$ – teršalo koncentracija tam tikru laiko momentu $t=n$ po koaguliacijos / flokuliacijos, mg/l.

2.2. Bandomojo tyrimo metodika

Tyrimas buvo atliktas 2016 m. lapkričio 28 d. įmonės UAB „Vičiūnai ir partneriai“ vietinės nuotekų valyklos patalpose kartu su įmonės „EKOTON“ specialistais.

2.2.1. Bandomasis stendas

Tyrimas atliktas bandomajame stende, imituojančiame flotacijos procesą. Bandomąjį standą sudarė: cilindro formos 1,1 l talpos reaktorius ir saturatorius, kurio sukuriamas slėgis 6 barai. Bandomojo stendo schema pateikiama 11 paveiksle.



11 pav. Bandomojo stendo schema: 1 – reaktorius, 2 – saturatorius, 3 – sklendė
(Vaičiūtė 2016)

2.2.2. Tiriamosios nuotekos

Tiriamosios įmonės UAB „Vičiūnai ir partneriai“ gamybos procese susidarančios nuotekos. Pagrindinis šios įmonės prekinis ženklas „VIČI“. Veiklos sritis – maisto produktų iš surimio (krabų lazdelės, krabų mėsa, baitai, čankasai, krabų žnyplės ir kt.) gamyba.

Nuotekos buvo imamos iš siurblinės, esančios vietinės nuotekų valyklos patalpose. Tiriamųjų nuotekų charakteristikos pateiktos 8 lentelėje. Duomenys gauti iš įmonės „Vičiūnai ir partneriai“ duomenų bazės.

8 lentelė. Bandomojo tyrimo nuotekų charakteristikos (UAB „Vičiūnai ir partneriai“ duomenys 2016)

Rodiklis	Vidutinė koncentracija, mg/l
Skendinčiosios medžiagos	1200
ChDS	3600
BDS ₇	2480
Riebalai	406
pH	7,7

2.2.3. Tyrimo eiga

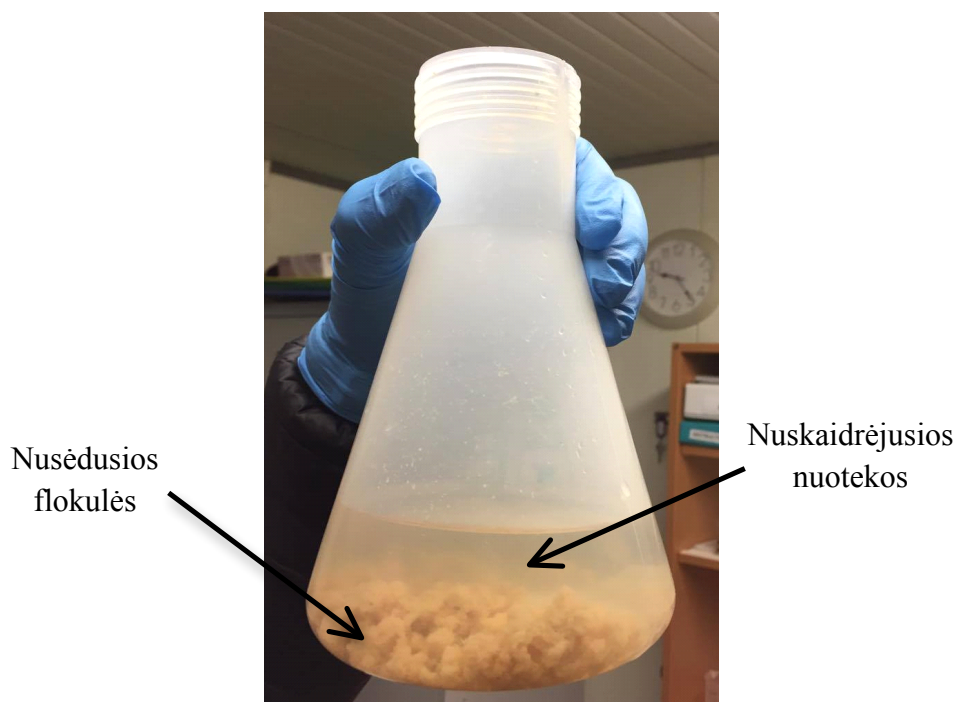
Pirmiausia buvo parinktas tinkamas koaguliantas ir nustatyta optimali jo dozė. Koaguliantas parinktas vizualiai, pagal susidariusių flokulių stiprumą ir nuotekų skaidrumą. Naudojant parinktą koaguliantą nustatytas tinkamas flokuliantas ir optimali jo dozė. Flokuliantas parinktas analogiškai kaip ir koaguliantas.

Parinkti reagentai ir nustatyti optimalūs jų kiekiai pateikiami 9 lentelėje. 12 paveiksle pateikiama nuotrauka, kurioje tiriamosios nuotekos po koaguliacijos / flokuliacijos.

Tiriamosioms nuotekoms nustatytas optimalus koaguliantas – geležies (III) sulfatas. Naudotas 2 % tirpalas. Optimalus nustatytas koagulianto kiekis $0,35 \text{ l/m}^3$. Parinktas optimalus flokuliantas – 0,1 % anijoninis poliakrilamidas. Optimalus nustatytas flokulianto kiekis – 50 ml/m^3 .

9 lentelė. Parinkti reagentai ir optimalūs jų kiekiai (Vaičiūtė 2016)

Cheminė medžiaga	Cheminis pavadinimas	Produkto pavadinimas	Kiekis
Koaguliantas	Geležies (III) sulfatas	PIX-113	$0,35 \text{ l (2 \%)/m}^3$
Flokuliantas	Žemos jonizacijos anijoninis poliakrilamidas	SNF AN 956	50 mg/m^3 arba $50 \text{ ml (0,1 \%)/m}^3$



12 pav. Tiriamos nuotekos po koaguliacijos / flokuliacijos (Vaičiūtė 2016)

Parinkus optimalius reagentus, atliktas flotacijos bandymas bandomajame stende. Bandomasis reaktorius, imituojantis flotatorių, buvo pripildytas tiriamosiomis nuotekomis, į kurias prieš tai buvo įterptos optimalios koagulianto ir flokulianto dozės. Recirkuliacijai naudotos nufiltruotos nuotekos po koaguliacijos ir flokuliacijos, kurios buvo tiekiamos į saturatorių, siekiant prisotinti jas oru. Filtruotų nuotekų–oro mišinys tiekiamas į bandomąjį reaktorių, kur jis yra sumaišomas su reagentais apdorotomis nuotekomis. Mišinio ir valomų nuotekų santykis 2:5. Mišinyje esantys oro burbuliukai kildami į paviršių prisitvirtina prie valomose nuotekose esančių lėtai sėdančių dalelių ir išplukdo jas į paviršių, tokiu būdu vandens paviršiuje susiformuoja puta.

Paimti nuskaidrintų nuotekų mėginiai buvo užkonservuoti, o juose esančių teršalų koncentracijos nustatytos nugabenus jas į laboratoriją.

2.2.4. Cheminės nuotekų analizės

Tiriamose nuotekose po flotacijos buvo nustatomos biocheminio deguonies suvartojimo per 7 paras (BDS_7), cheminio deguonies suvartojimo (ChDS), skendinčių medžiagų (SM), riebalų koncentracijos ir pH. Cheminės nuotekų analizės buvo nustatomos šiais būdais:

- BDS_7 – perskaičiuotas iš nustatytos ChDS koncentracijos po flotacijos, pagal pradinį ChDS ir BDS_7 santykį;
- ChDS – spektrofotometrinio metodu (ASTM D1252);
- SM – filtruojant nuotekas per stiklo pluošto filtrą (EN 872:2005);
- riebalai – EPA metodo 1664A modifikacija;
- pH matuojamas pH matuokliu HI 9811-5 (Hanna, Jungtinė Karalystė).

3. REZULTATAI

Šiame skyriuje pateikiami laboratorinio ir bandomojo tyrimų metu gauti rezultatai ir jų analizė. Laboratorinio tyrimo medžiaga buvo paskelbta 20-ojoje jaunųjų mokslininkų konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“.

3.1. Laboratorinio tyrimo rezultatai

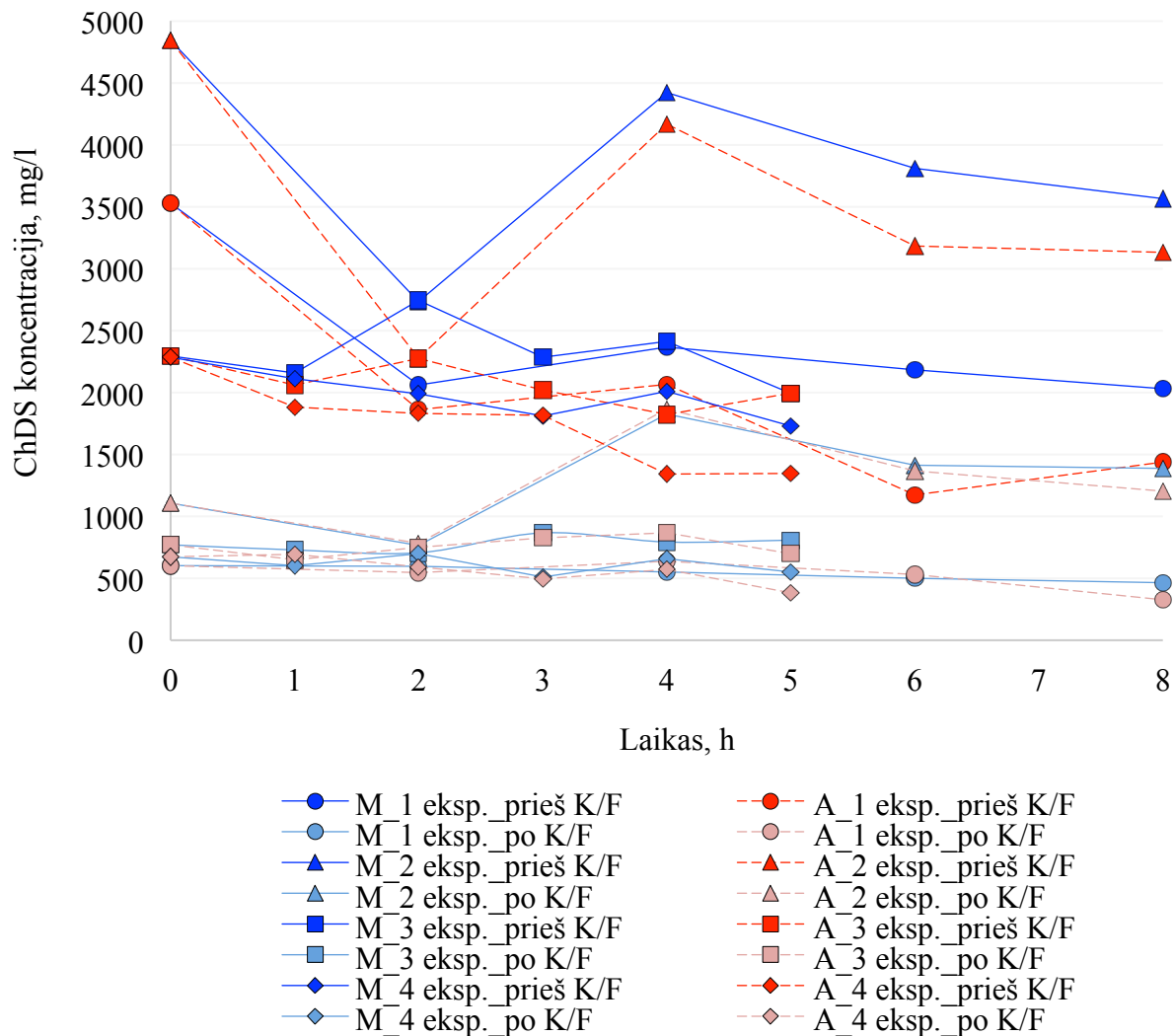
3.1.1. Cheminis deguonies suvartojimas

ChDS koncentracijos nuotekose, paimtose iš maišomo ir aeruojamo reaktorių skirtingais laiko intervalais prieš ir po koaguliacijos / flokuliacijos, pateikiamos 10 lentelėje ir 13 paveiksle.

10 lentelė. Nustatytos ChDS koncentracijos (Vaičiūtė 2016)

Laikas, h	Maišomas reaktorius			Aeruojamas reaktorius		
	Konc. prieš K/F, mg/l	Konc. po K/F, mg/l	Pradinės ChDS konc. sumažėjimas po t=n, %	Konc. prieš K/F, mg/l	Konc. po K/F, mg/l	Pradinės ChDS konc. sumažėjimas po t=n, %
0	2704	683	75	2704	683	75
1	2134	667	75	1971	672	75
2	2264	668	75	1989	629	77
3	2047	688	75	1917	662	76
4	2262	668	75	1744	692	74
5	1861	680	75	1670	541	80
6	2185	502	81	1171	529	80
8	2031	464	83	1439	326	88

Gauti rezultatai patvirtina, jog gamybinių nuotekų teršalų koncentracijos gali smarkiai svyruoti: antrojo eksperimento metu nustatyta pradinė ChDS koncentracija beveik 1,5 karto didesnė nei pirmojo eksperimento ir daugiau nei du kartus didesnė, nei trečiojo ir ketvirtojo eksperimento metu nustatytos pradinės ChDS koncentracijos.

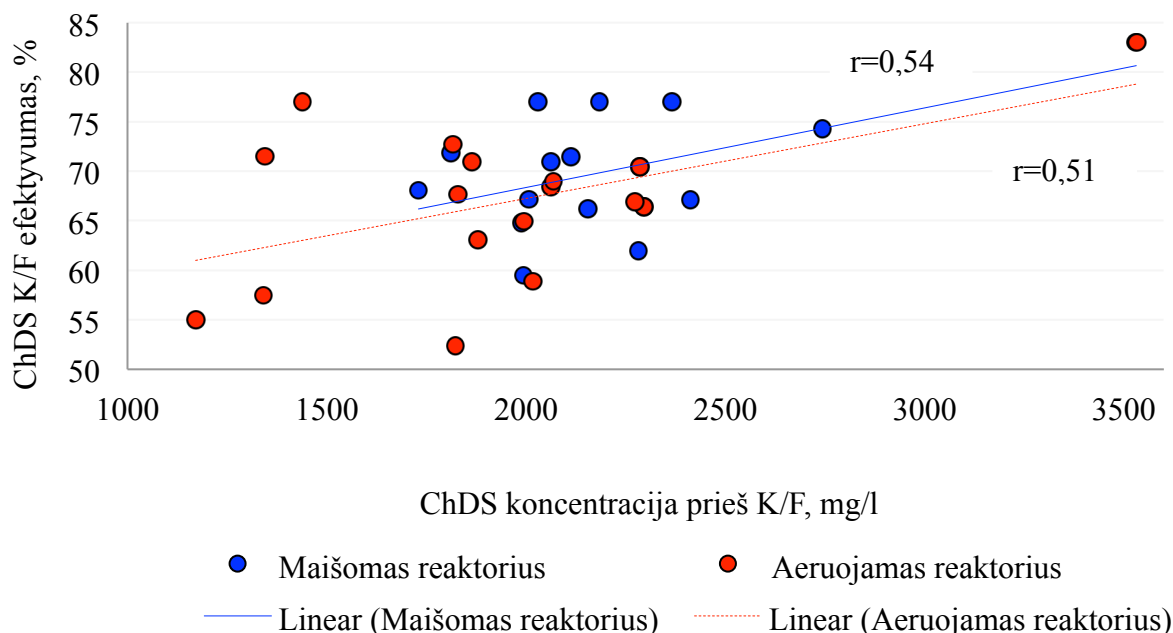


13 pav. ChDS koncentracijos nuotekose, paimtose iš maišomo (M) ir aeruojamo (A) reaktorių skirtingais laiko intervalais prieš ir po koaguliacijos / flokuliacijos (K/F) (Vaičiūtė 2016)

Iš rezultatų matyti, jog mėginiuose, imtuose iš maišomo reaktoriaus, ChDS koncentracijos visais atvejais yra didesnės, lyginant su mėginiais, imtais iš aeruojamo reaktoriaus. Be to, ChDS koncentracija mėginiuose, imtuose iš aeruojamo reaktoriaus, laikui bėgant mažėja labiau: po 8 valandų ChDS koncentracija mėginiuose, imtuose iš maišomo reaktoriaus, vidutiniškai sumažėja 25 %, o mėginiuose, imtuose iš aeruojamo reaktoriaus – 47 %. Manoma, kad toks skirtumas susidarė dėl aerobinių bakterijų veiklos. Aeruojant susidaro palankios sąlygos mikroorganizmams, kurie organines medžiagas oksiduoja į paprastus galutinius produktus (anglies dvideginį, vandenį ir kt.), tokiu būdu sumažindami ChDS koncentraciją.

14 paveiksle pateikiamas koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo priklausomybės nuo ChDS koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją maišomame ir aeruojamame

reaktoriuose grafikas. Pastebimas teigiamas tiesinis vidutinio stiprumo koreliacijos ryšys (maišomame reaktoriuje $r=0,54$, aeruojamame $r=0,51$): kuo didesnė ChDS koncentracija buvo prieš koaguliaciją / flokuliaciją, tuo didesnis ChDS koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumas.



14 pav. ChDS koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo priklausomybė nuo ChDS koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją maišomame ir aeruojamame reaktoriuose (Vaičiūtė 2016)

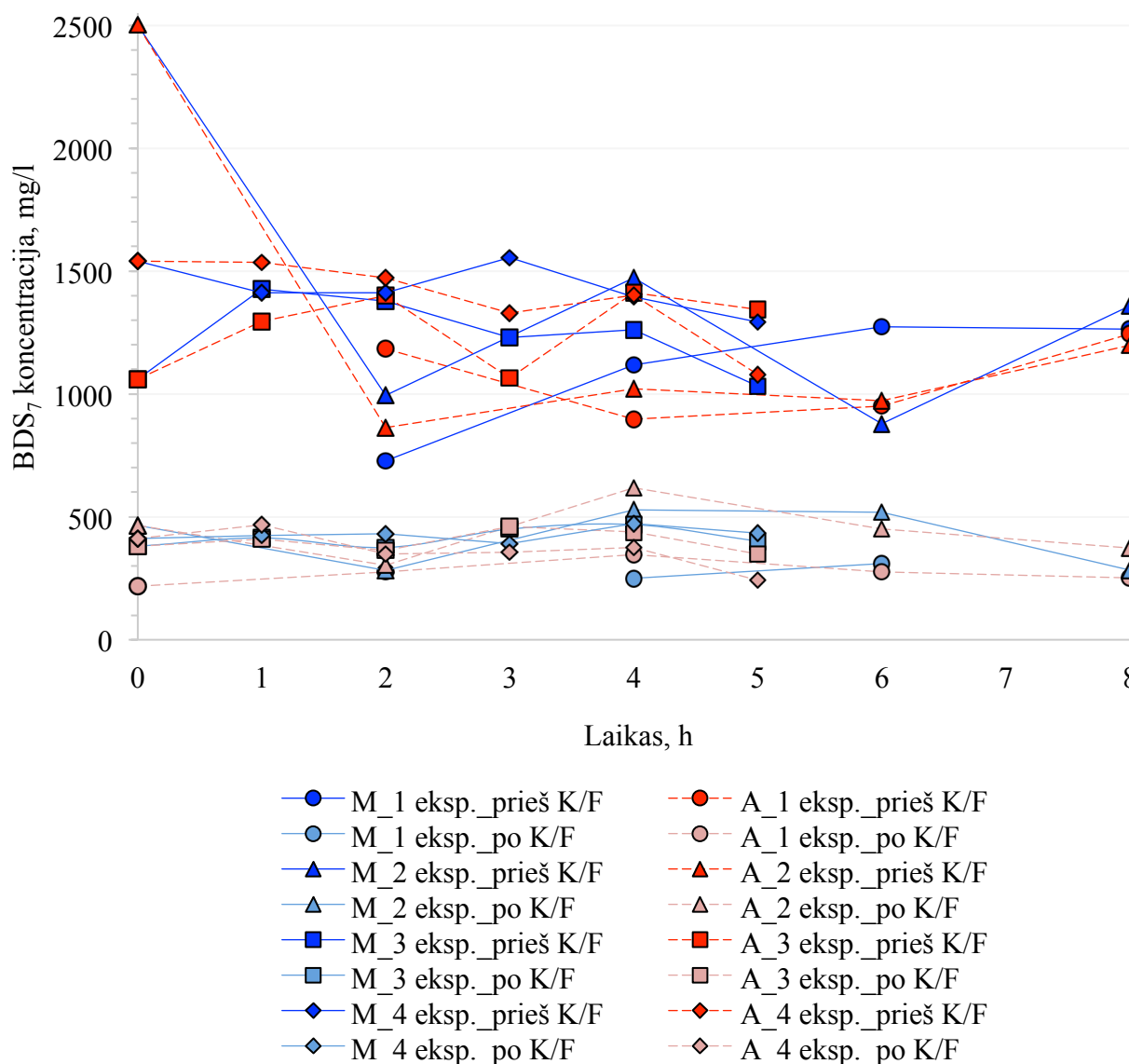
Vertinant išlyginamosios talpos įtaką koaguliacijos / flokuliacijos procesui, pastebėta, kad ilgėjant nuotekų išbuvimo reaktoriuose trukmei ChDS koncentracija po koaguliacijos / flokuliacijos mažėja: po pirmos valandos ChDS koncentracija abiejuose reaktoriuose sumažėja 75 %, o po 8 valandų pradinė ChDS koncentracija maišomame reaktoriuje sumažėja 83 %, aeruojamame – 88 %.

Šviežių nuotekų pradinė ChDS koncentracija (prie $t=0$) buvo lygi 2704 mg/l. Šioms nuotekoms išbuvus reaktoriuose 8 valandas ir jas sukoaguliavus / suflokuliavus, ChDS koncentracija jose sumažėjo iki 464 mg/l maišomame reaktoriuje ir iki 326 mg/l aeruojamame reaktoriuje. Aeruojamame reaktoriuje ChDS koncentracija po koaguliacijos / flokuliacijos sumažėjo labiau dėl to, kad ChDS koncentracija šiame reaktoriuje prieš koaguliaciją / flokuliaciją visada buvo mažesnė, lyginant su maišomu reaktoriumi.

Po koaguliacijos / flokuliacijos sumažėjusi ChDS koncentracija yra lygi nevalytų buitinių nuotekų ChDS koncentracijai (ribinė ChDS vertė 800 mg/l; Metcalf *et al.* 2003), tai leidžia tolimesniam nuotekų valymui taikyti biologinį valymą.

3.1.2. Biocheminis deguonies suvartojimas per 7 paras

BDS₇ koncentracijos nuotekose, paimtose iš maišomo ir aeruojamo reaktorių skirtingais laiko intervalais, prieš ir po koaguliacijos / flokuliacijos, pateikiamos 15 paveiksle ir 11 lentelėje. BDS₇ tyrimo rezultatų tendencijos yra panašios, kaip ir ChDS rezultatų.



15 pav. BDS₇ koncentracijos nuotekose, paimtose iš maišomo (M) ir aeruojamo (A) reaktorių skirtingais laiko intervalais prieš ir po koaguliacijos / flokuliacijos (K/F) (Vaičiūtė 2016)

Rezultatai rodo, jog mėginiuose, imtuose iš maišomo reaktoriaus, BDS₇ koncentracijos dauguma atvejų yra didesnės, lyginant su mėginiais, imtais iš aeruojamo reaktoriaus. Be to, BDS₇ koncentracija mėginiuose, imtuose iš aeruojamo reaktoriaus, laikui bėgant mažėja labiau:

po 8 valandų BDS₇ koncentracija mėginiuose, imtuose iš maišomo reaktoriaus, vidutiniškai sumažėja 23 %, o mėginiuose, imtuose iš aeruojamo reaktoriaus – 28 %. Manoma, kad toks skirtumas, kaip ir ChDS atveju, susidarė dėl aerobinių bakterijų veiklos.

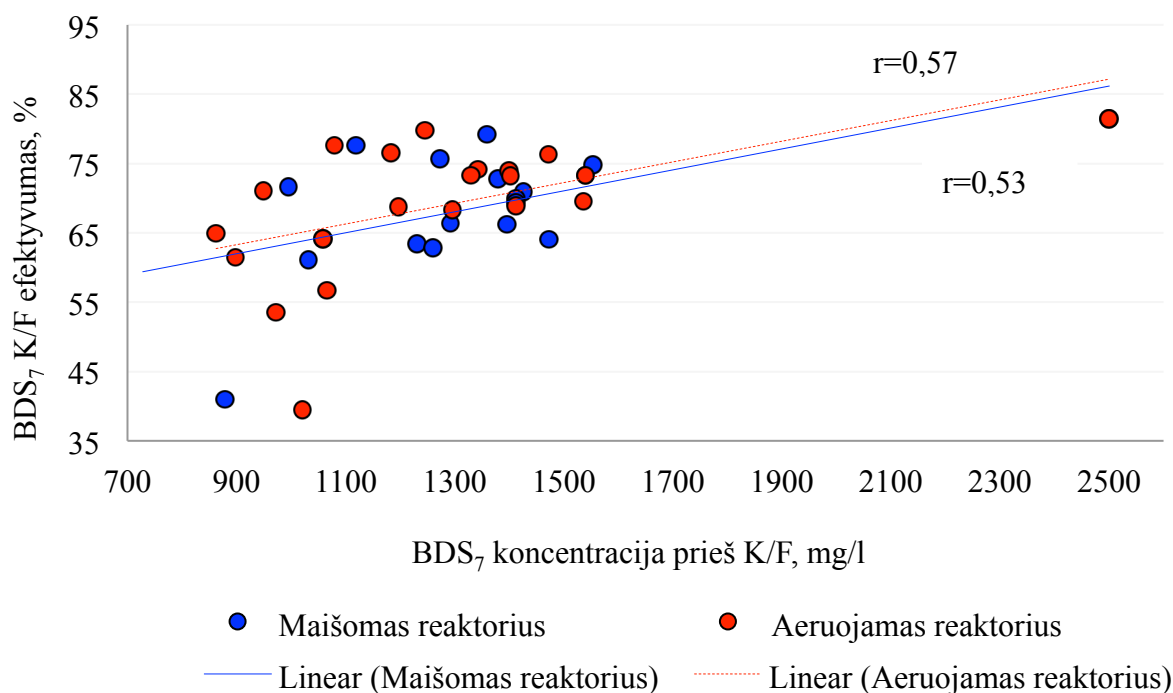
11 lentelė. Nustatytos BDS₇ koncentracijos (Vaičiūtė 2016)

Laikas, h	Maišomas reaktorius			Aeruojamas reaktorius		
	Konc. prieš K/F, mg/l	Konc. po K/F, mg/l	Pradinės BDS ₇ konc. sumažėjimas po t=n, %	Konc. prieš K/F, mg/l	Konc. po K/F, mg/l	Pradinės BDS ₇ konc. sumažėjimas po t=n, %
0	1700	368	78	1700	368	78
1	1419	419	75	1416	439	74
2	1128	363	79	1229	323	81
3	1392	421	75	1198	408	76
4	1312	430	75	1183	445	74
5	1162	418	75	1211	294	83
6	1076	414	76	961	363	79
8	1311	283	83	1221	313	82

16 paveiksle pateikiamas BDS₇ koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo priklausomybės nuo BDS₇ koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją maišomame ir aeruojamame reaktoriuose grafikas. Pastebimas teigiamas tiesinis vidutinio stiprumo koreliacijos ryšys (maišomame reaktoriuje $r=0,53$, aeruojamame $r=0,57$): kuo didesnė BDS₇ koncentracija buvo prieš koaguliaciją / flokuliaciją, tuo didesnis BDS₇ koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumas.

Vertinant išlyginamosios talpos įtaką koaguliacijos / flokuliacijos procesui, pastebėta, kad ilgėjant nuotekų išbuvimo reaktoriuose trukmei BDS₇ koncentracija po koaguliacijos / flokuliacijos mažėja: po pirmos valandos BDS₇ koncentracija maišomame reaktoriuje sumažėja 75 %, aeruojamame – 74 %, o po 8 valandų pradinė BDS₇ koncentracija maišomame reaktoriuje sumažėja 83 %, aeruojamame – 82 %.

Šviežių nuotekų pradinė BDS₇ koncentracija (prie $t=0$) buvo lygi 1700 mg/l. Šioms nuotekoms išbuvus reaktoriuose 8 valandas ir jas sukoaguliavus / suflokuliavus, BDS₇ koncentracija jose sumažėjo iki 283 mg/l maišomame reaktoriuje ir iki 313 mg/l aeruojamame reaktoriuje. Vertinant BDS₇ tyrimo sudėtingumą, galima teigti, kad BDS₇ koncentracijos abiejuose reaktoriuose yra panašios.



16 pav. BDS₇ koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo priklausomybė nuo BDS₇ koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją maišomame ir aeruojamame reaktoriuose (Vaičiūtė 2016)

Po koaguliacijos / flokuliacijos BDS₇ koncentracija aeruojamame reaktoriuje tik išbuvusi išlyginamojoje talpoje 5 valandas, o maišomame reaktoriuje 8 valandas tampa lygi nevalytų buitinių nuotekų BDS₇ koncentracijai (ribinė BDS₇ vertė 400 mg/l; Metcalf *et al.* 2003), kuri leistų tolimesniam valymui taikyti biologinį valymą. Kita vertus po koaguliacijos / flokuliacijos proceso BDS₇ koncentracija pasiekia vertes, kurios leidžia nuotekas išleisti į nuotakyną (ribinė BDS₇ vertė 800 mg/l; Nuotekų tvarkymo reglamentas, 2006).

3.1.3. ChDS ir BDS₇ santykis

ChDS ir BDS₇ koncentracijų nuotekose, paimtose iš maišomo ir aeruojamo reaktorių skirtingais laiko intervalais, prieš ir po koaguliacijos / flokuliacijos, santykis pateikiamas 12 lentelėje.

Ilgėjant tiriamų nuotekų išbuvimo trukmei reaktoriuose, pastebimas ChDS ir BDS₇ santykio mažėjimas. Kuo mažesnis santykis tarp ChDS ir BDS, tuo lengviau oksiduojami teršalai.

12 lentelė. BDS₇ ir ChDS koncentracijų santykis tiriamose nuotekose (Vaičiūtė 2016)

Laikas (t), h	Maišomas reaktorius		Aeruojamas reaktorius	
	Prieš K/F	Po K/F	Prieš K/F	Po K/F
0	1,8	2,2	1,8	2,2
1	1,5	1,6	1,4	1,5
2	2,1	1,8	1,5	1,6
3	1,5	1,6	1,6	1,8
4	1,8	1,8	1,5	1,8
5	1,6	1,6	1,4	1,9
6	1,7	1,6	1,2	1,9
8	1,6	-	1,2	1,3

3.1.4. Nitritų ir nitratų azotas

NO₂-N ir NO₃-N koncentracijos buvo tiriamos tik pirmojo eksperimento metu. Tyrimo metu išbuvimo talpos įtaka NO₂-N ir NO₃-N koncentracijoms nebuvo nustatyta. Nustatytos NO₂-N koncentracijos mėginiuose iš abiejų reaktorių neviršijo 1 mg/l, NO₃-N – 2 mg/l. Po koaguliacijos / flokuliacijos NO₂-N koncentracijos sumažėjo vidutiniškai iki 0,3 mg/l, NO₃-N iki 1 mg/l.

3.1.5. Amonio azotas

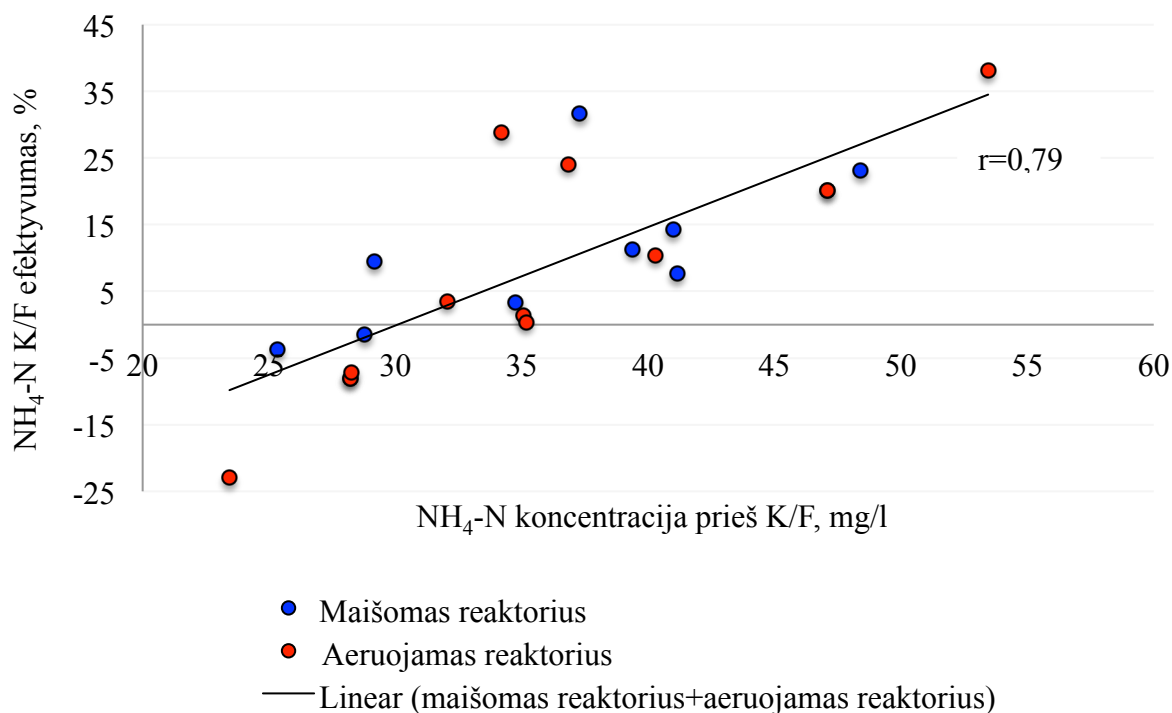
NH₄-N koncentracijos nuotekose, paimtose iš maišomo ir aeruojamo reaktorių skirtingais laiko intervalais, prieš ir po koaguliacijos / flokuliacijos, pateikiamos 13 lentelėje.

Reaktoriaus tipas ir išbuvimo reaktoriuose trukmė NH₄-N koncentracijai nuotekose po koaguliacijos / flokuliacijos neturi įtakos. Vidutinė NH₄-N koncentracija maišomame reaktoriuje buvo 36,1±7,0 mg/l, po koaguliacijos / flokuliacijos ši koncentracija sumažėjo iki 32,2±3,5 mg/l. Aeruojamame reaktoriuje NH₄-N koncentracija buvo 35,9±8,5 mg/l, po koaguliacijos / flokuliacijos sumažėjo iki 31,5±2,4 mg/l. Po koaguliacijos / flokuliacijos NH₄-N koncentracijos maišomame reaktoriuje vidutiniškai sumažėjo 9±10 %, aeruojamame reaktoriuje – 8±19 %.

13 lentelė. Nustatytos NH₄-N koncentracijos (Vaičiūtė 2016)

Laikas, h	Maišomas reaktorius			Aeruojamas reaktorius		
	Konc. prieš K/F, mg/l	Konc. po K/F, mg/l	K/F efektyvumas, %	Konc. prieš K/F, mg/l	Konc. po K/F, mg/l	K/F efektyvumas, %
0	37,7	34,1	6	37,7	34,1	6
1	34,8	33,6	3	35,1	34,6	1
2	39,2	31,7	20	37,2	30,2	20
3	39,4	34,9	11	53,5	33,1	38
4	35,1	30,8	12	31,7	32,7	-3
5	48,4	37,2	23	32,1	31,0	3
6	25,4	26,3	-4	36,8	28,0	24
8	28,8	29,2	-1	23,4	28,8	-23
Vidurkis	36,1	32,2	9	35,9	31,5	8
St. nuokrypis	7,0	3,5	10	8,5	2,4	19

Tyrimo metu išbuvimo talpos įtaka NH₄-N koncentracijai nebuvo nustatyta. Tačiau buvo nustatytas teigiamas tiesinis stiprus ($r=0,79$) koreliacinis ryšys tarp NH₄-N koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo ir NH₄-N koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją: didėjant NH₄-N koncentracijai prieš koaguliaciją / flokuliaciją, NH₄-N koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumas irgi didėja. NH₄-N koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo priklausomybės nuo NH₄-N koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją grafikas pateikiamas 17 paveiksle.



17 pav. NH₄-N koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo priklausomybė nuo NH₄-N koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją maišomame ir aeruojamame reaktoriuose (Vaičiūtė 2016)

3.1.6. Fosfatų fosforas

PO₄-P koncentracijų reikšmės, nustatytos tyrimo metu, pateikiamos 14 lentelėje.

PO₄-P koncentracijos viso eksperimento metu maišomame reaktoriuje buvo didesnės lyginant su aeruojamu. Pastebimas PO₄-P koncentracijos didėjimas maišomame reaktoriuje: po 8 valandų išbuvimo trukmės PO₄-P koncentracija maišomame reaktoriuje padidėjo 22 %. Taip yra dėl to, kad nuotekas maišant maišykle, susidaro anaerobinės sąlygos, dėl to vyksta polifosfatų hidrolizė ir į nuotekas išskiriami ortofosfatai. Aeruojamame reaktoriuje PO₄-P koncentracija sumažėjo 20 % dėl organinių junginių metabolizės, kurios metu iš nuotekų pasisavinami ortofosfatai.

Po koaguliacijos / flokuliacijos PO₄-P koncentracijos maišomame reaktoriuje vidutiniškai sumažėjo 76 ± 6 %, aeruojamame reaktoriuje – 69 ± 13 %, nepriklausomai nuo nuotekų išbuvimo išlyginamojoje talpoje trukmės. Maišomame reaktoriuje PO₄-P koncentracija sumažėjo labiau dėl didesnių pradinio teršalo koncentracijų šiame reaktoriuje. PO₄-P

koncentracija po koaguliacijos / flokuliacijos sumažėjo, nes fosfatai, sureagavę su metalo jonais, virto netirpiais junginiais.

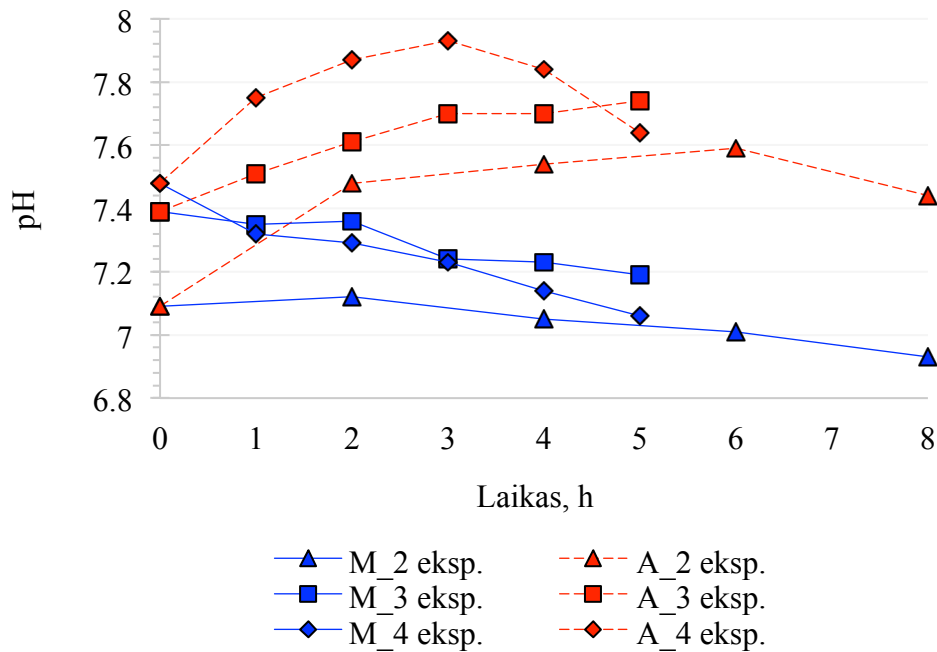
14 lentelė. Nustatytos PO₄-P koncentracijos (Vaičiūtė 2016)

Laikas (t), h	Maišomas reaktorius			Aeruojamas reaktorius		
	Konc. prieš K/F, mg/l	Konc. po K/F, mg/l	K/F efektyvumas, %	Konc. prieš K/F, mg/l	Konc. po K/F, mg/l	K/F efektyvumas, %
0	24,4	6,5	71	24,4	6,5	71
1	26,2	6,9	78	20,2	3,5	83
2	29,8	7,3	75	28,9	4,4	80
3	23,2	8,1	67	16,4	10,4	41
4	30,1	5,6	81	20,3	6,1	64
5	28,5	6,1	79	27,2	6,9	65
6	24,5	6,3	85	14,1	4,8	69
8	29,7	8,1	73	19,4	4,5	77
Vidurkis	27,1	6,9	76	21,3	5,9	69
St. nuokrypis	2,8	0,9	6	5,1	2,2	13

3.1.7. pH

Tam tikrais laiko intervalais iš reaktorių imtų mėginių pH reikšmės pateikiamos 18 paveiksle.

Tyrimo metu nustatytas tiriamųjų nuotekų pH 6,9 – 7,9. Tyrimo rezultatai parodė šią tendenciją: aeruojamų nuotekų pH didėjo, o maišomų nuotekų pH mažėjo, ilgėjant nuotekų išbuvo reaktoriuose trukmei. Tikėtina, kad nuotekų pH priklauso nuo mikroorganizmų veiklos. pH mažėja dėl mikroorganizmų vykdomo organinių junginių skaidymo: baltymai skaidomi į amino rūgštis, o riebalai – į riebalines rūgštis, kurios mažina pH reikšmę. Aeruojamų nuotekų pH, priešingai, didėja dėl lakiųjų riebalų rūgščių suvartojimo.



18 pav. Prieš koaguliaciją / flokuliaciją nustatytos pH reikšmės (Vaičiūtė 2016)

3.2. Ekonominis palyginimas

Nuotekos išlyginamojoje talpoje skendinčiame būvyje buvo palaikomos dviem būdais – maišant ir aeruojant. Maišymui buvo naudojama savadarbė maišykle, kurios galia iki 5 W. Aeracijai – HIBLOW (Techno Takatsuki Co., Japan) gamintojo orapūtė, kurios našumas 60 l/min., galia 51 W.

Tiekiamojo oro debitas turi būti kiek įmanoma mažesnis, bet kad nuotekos reaktoriuje būtų maišomos ir palaikomos skendinčiame būvyje. Nuotekų sumaišymui aeracijos būdu užtikrinti eksperimentiniu būdu nustatytas reikiamas oro kiekis – 9,0 l/min., kuris buvo reguliuojamas sklende, o oro perteklius išleidžiamas per orlaidį. Dėl šios priežasties netikslinga lyginti naudotą orapūtę su maišykle, kadangi buvo naudojama tik 15 % orapūtės našumo.

Pagal nustatytą reikiamą oro kiekį buvo parinkta ir ekonominiam palyginimui naudota to paties gamintojo orapūtė, kurios našumas 10 l/min., o galia 10 W.

15 lentelėje pateikiami maišyklės ir orapūčių parametrai bei jų elektros sąnaudos.

15 lentelė. Įrangos parametrai ir elektros sąnaudos (Vaičiūtė 2017; duomenys paimti iš gamintojo katalogo)

Parametrai	Maišyklė	Orapūtė	Orapūtė
Gamintojas	-	HIBLOW	HIBLOW
Modelis	-	V-60	V-10
Galia, W	5	51	10
Suvartojimas, kWh/d	0,120	1,224	0,240
1 kWh kaina, €	0,114		
Kaina, €/d	0,01	0,14	0,03

Priėmus, jog įranga dirba 24 valandas per parą, o 1 kWh kaina – 0,114 €, buvo apskaičiuotos elektros sąnaudos. Elektros sąnaudos tiesiogiai proporcingos įrangos galiai. Parinktos orapūtės galia du kartus didesnė lyginant su maišyklės galia, taigi ir elektros sąnaudos du kartus didesnės.

Atliktas ekonominis skaičiavimas konkrečiam atvejui. Norint patikrinti rezultatus, palyginimui buvo atliktas skaičiavimas priimant, jog išlyginamosios talpos matmenys – 5x5x5 m. Skaičiavimuose buvo naudojama AMD.18.32.950 (Grundfos, Danija) maišyklė, kurios galia 1,25 kW. Maišyklė parinkta iš 1 priede pateikiamo grafiko pagal išlyginamosios talpos tūrį. Aeracijai – GM 3 S (AERZEN, Vokietija) gamintojo orapūtė, kurios galia 4 kW. Orapūtė parinkta pagal oro debitą, reikalingą nuotekoms palaikyti skendinčiame būvyje ($3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) ir slėgio nuostolius (2 priedas). 16 lentelėje pateikiami maišyklės ir orapūtės parametrai bei jų elektros sąnaudos.

Skaičiavimai rodo, jog orapūtės elektros sąnaudos tris kartus didesnės, lyginant su maišykle. Kadangi aukščiau išanalizuoti rezultatai parodė, jog tarp aeracijos ir maišymo nėra labai ryškaus skirtumo, ekonominiu pagrindu nuotekų maišymui išlyginamojoje talpoje rekomenduojama rinktis maišyklę.

16 lentelė. Įrangos parametrai ir elektros sąnaudos (Vaičiūtė 2017; duomenys paimti iš gamintojų katalogų)

Parametrai	Maišyklė	Orapūtė
Gamintojas	Grundfos	AERZEN
Modelis	AMD.18.32.950	GM 3 S
Galia, W	1250	4000
Suvartojimas, kWh/d	30	96
1 kWh kaina, €	0,114	
Kaina, €/d	3	11
Kaina, €/metus	1 248	3 995
Kaina, €/10 metų	12 483	39 946

3.3. Bandomojo tyrimo rezultatai

Pradinės tiriamųjų nuotekų teršalų koncentracijos gautos iš įmonės UAB „Vičiūnai ir partneriai“ duomenų bazės, o teršalų koncentracijos po flotacijos nustatytos laboratorijoje. Šios teršalų koncentracijos ir jų pašalinimo flotacijos procese efektyvumai pateikiami 17 lentelėje. 19 paveiksle pateikiamos bandomojo reaktoriaus nuotraukos prieš ir po flotacijos.

17 lentelė. Tiriamųjų gamybinių nuotekų teršalų koncentracijos ir valymo efektyvumas (Vaičiūtė 2016)

Rodiklis	Nevalytų nuotekų teršalų koncentracijos, mg/l	Teršalų koncentracijos po flotacijos, mg/l	Flotacijos efektyvumas, %
SM, mg/l	1200	40	97
ChDS, mgO ₂ /l	3600	880	76
BDS, mgO ₂ /l	2480	620	75
Riebalai, mg/l	406	92	77
pH	7,7	6,8	-

Iš lentelės duomenų matyti, jog nevalytų nuotekų teršalų koncentracijos yra labai aukštos, lyginant su buitinėmis nuotekomis. Tokios nuotekos privalo būti apvalomos prieš jas išleidžiant į miesto nuotakyną.

Šviežių nuotekų pradinė ChDS koncentracija buvo lygi 3600 mg/l, po flotacijos ši koncentracija sumažėjo 76 %. Pradinė BDS₇ koncentracija buvo lygi 2480 mg/l, po flotacijos ši koncentracija sumažėjo 75 %. Panaudojus parinktus reagentus ir atlikus flotaciją, teršalų koncentracijos žymiai sumažėjo ir atitinka reikalavimus gamybinėms nuotekoms, išleidžiamoms į nuotakyną (Nuotekų tvarkymo reglamentas, 2006).



19 pav. Bandomasis reaktorius: kairėje prieš flotaciją, dešinėje po flotacijos (Vaičiūtė 2016)

Lyginant su UAB Vilniaus paukštyno šviežiomis nuotekomis ($t=0$), šių nuotekų pradinės organinių teršalų koncentracijos yra didesnės daugiau nei 1,3 karto. Nepaisant to, abiem atvejais pasiekiamas panašus nuotekų valymo efektyvumas, ChDS atveju 75–76 %, BDS₇ – 75–78 %, kuris tenkina minimalaus nuotekų išvalymo efektyvumo reikalavimus (ChDS ≥ 75 %, BDS₇ = 70–90 %, Nuotekų tvarkymo reglamentas 2006). Dėl šios priežasties daroma prielaida, jog laboratorinio paukščių skerdyklos nuotekų tyrimo rezultatus galima pritaikyti kitoms maisto gamybos procese susidarančioms nuotekoms.

IŠVADOS

1. Nuotekų mėginiuose, imtuose iš maišomo reaktoriaus, organinių junginių koncentracijos dauguma atvejų buvo didesnės, lyginant su mėginiais, imtais iš aeruojamo reaktoriaus. Be to, organinių junginių koncentracija mėginiuose, imtuose iš aeruojamo reaktoriaus, laikui bėgant mažėjo labiau: po 8 valandų ChDS koncentracija mėginiuose, imtuose iš maišomo reaktoriaus, vidutiniškai sumažėjo 25 %, BDS₇ koncentracija – 23%, o mėginiuose, imtuose iš aeruojamo reaktoriaus, ChDS koncentracija vidutiniškai sumažėjo – 47 %, BDS₇ koncentracija – 28 %.

2. Organinių medžiagų koncentracijos po koaguliacijos / flokuliacijos mažėjo ilgėjant nuotekų išbuvimo reaktoriuose trukmei: po pirmosios valandos ChDS koncentracija abiejuose reaktoriuose sumažėja 75 %, BDS₇ koncentracija maišomame reaktoriuje sumažėja 75 %, aeruojamame – 74 %, o po 8 valandų pradinė ChDS koncentracija maišomame reaktoriuje sumažėja 83 %, aeruojamame – 88 %, BDS₇ koncentracija maišomame reaktoriuje sumažėja 83 %, aeruojamame – 82 %.

3. Lyginant reaktoriaus tipą, pastebėta, kad aeruojamame reaktoriuje pradinės organinių medžiagų koncentracijos sumažėjimas po koaguliacijos / flokuliacijos buvo tik nežymiai didesnis lyginant su maišomu reaktoriumi. Dėl to galima teigti, jog reaktoriaus tipas neturi įtakos koaguliacijos / flokuliacijos procesui.

4. Azoto ir fosforo junginių atveju reaktoriaus tipas ir išbuvimo trukmė jame neturėjo įtakos šių junginių koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumui.

5. Nuotekų maišymas orapūte yra tris kartus brangesnis būdas. Kadangi aeruojamame reaktoriuje teršalų koncentracijos sumažėjimas po koaguliacijos / flokuliacijos buvo tik nežymiai didesnis lyginant su maišomu reaktoriumi, ekonominiu pagrindu nuotekų maišymui išlyginamojoje talpoje rekomenduojama rinktis maišyklę.

6. Tyrimų metu nustatytas teigiamas tiesinis koreliacijos ryšys tarp teršalo koncentracijos prieš koaguliaciją / flokuliaciją ir šio teršalo koaguliacijos / flokuliacijos efektyvumo: vidutinio stiprumo ryšys organiniams teršalams ($r=0,51-0,57$) ir stiprus ryšys NH₄-N ($r=0,79$).

7. Šviežių paukščių skerdyklos nuotekų ir maisto produktų iš surimio gamybos metu susidarančių nuotekų (prie $t=0$) organinių teršalų valymo efektyvumas buvo vienodas: ChDS atveju siekė 75–76 %, BDS₇ – 75–78 %.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

- Asano, T. ir kt. 2007. *Water reuse: issues, technologies, and applications*. New York (N.Y.): McGraw-Hill. 1570 p.
- Baltrėnas, P.; Butkus, D.; Oškinis, V. ir kt. 2008. *Aplinkos apsauga: vadovėlis*. Vilnius: Technika. 576 p.
- Bendra informacija apie Lietuvos mėsos sektorių* [interaktyvus]. 2015. Lietuvos respublikos žemės ūkio ministerija [žiūrėta 2016 m. lapkričio 29 d.]. Prieiga per internetą <<https://zum.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/zemes-ir-maisto-ukis/maisto-pramone/mesopramone/bendra-informacija-apie-lietuvos-mesos-sektoriu>>
- Bratby, J. 2006. *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. London: IWA Publishing. 407 p.
- Buffer tanks* [interaktyvus]. 2010. Emis [žiūrėta 2016 m. gegužės mėn. 5 d.]. Prieiga per internetą: <<https://emis.vito.be/en/techniekfiche/buffer-tanks>>
- Burgess, A. 2015. *Jar testing* [interaktyvus]. Water & wastewater treatment [žiūrėta 2016 m. sausio 10 d.]. Prieiga per internetą: <<http://wwtonline.co.uk/features/technically-speaking-jar-testing#.WSR8gxOGNE4>>
- Casey, T. J. 1997. *Unit treatment processes in water and wastewater engineering*. Chichester: John Wiley and Sons. 280 p.
- Cheremisinoff, N. P. 1996. *Biotechnology for waste and wastewater treatment*. Westwood (N.J.): Noyes Publications. 231 p.
- Comninellis, C.; Chen, G. 2010. *Electrochemistry for the Environment*. New York: Springer-Verlag. 563 p.
- Danauskienė, L. 2009. *Taisyklingas paukščių svaiginimas ir skerdimas*. Dalomoji medžiaga. Kaišiadorys. 34 p.
- Davis, M. L. 2011. *Water and wastewater engineering: design principles and practice*. New York : McGraw-Hill. 912 p.
- Droste, R. L. 1997. *Theory and practice of water and wastewater treatment*. New York: John Wiley and Sons. 800 p.
- Edited by Wang, L. K.; Hung, Y. T; Shammass, N. K. 2007. *Advanced physicochemical treatment technologies*. Totowa (N.J.): Humana Press. 710 p.
- Edzwald, J. K.; Haarhoff, J. 2012. *Dissolved air flotation for water clarification*. Denver, CO: American Water Works Association; New York: McGraw Hill. 352 p.
- EKOTON Industrial group. 2017. *Operating manual: flotation unit with flocculator*. Ukraine. 54 p.

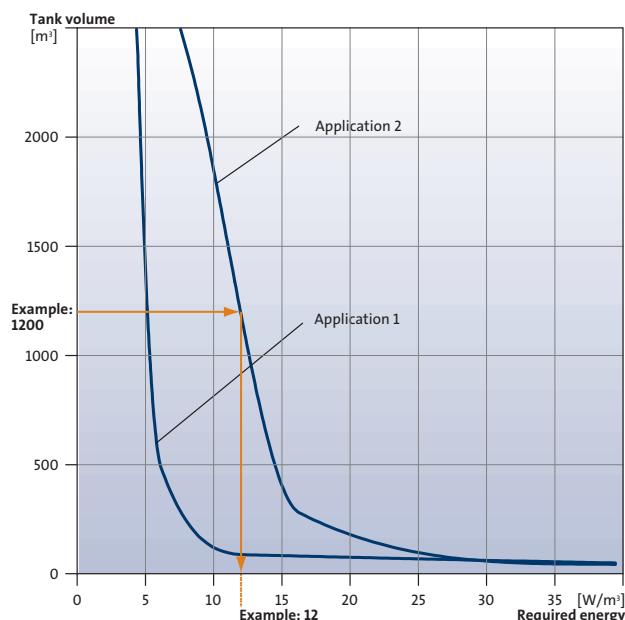
- Hammer, M. J.; Hammer, M. J. Jr. 2012. *Water and wastewater technology*, seventh edition. Ohio: Pearson Education. 460 p.
- Jördening, H. J.; Winter, J. 2005. *Environmental biotechnology. Concepts and Applications*. New Jersey: WILEY-VCH. 488 p.
- Karia, G. L.; Christian, R. A. 2013. *Wastewater treatment: concepts and design approach*, second edition. Delhi : PHI Learning Private. 437 p.
- LST EN 1899-1:2000 Vandens kokybė. Biocheminio deguonies suvartojimo per n parų (BDSn) nustatymas. 1 dalis. Skiedimo ir sėjimo, pridėjus aliltiokarbamido, metodas. Vilnius, 2000. 20 p.
- LST ISO 6060:2003 Vandens kokybė. Cheminio deguonies suvartojimo nustatymas. Vilnius, 2003. 12 p.
- Matis, K. A.; Zouboulis, A. I. 1995. *Flotation science and engineering*. New York: Marcel Dekker. 584 p.
- Metcalf & Eddy, Inc. 2003. *Wastewater engineering: treatment and reuse*. Boston (Mass.): McGraw-Hill. 1819 p.
- Meyn. 2007. *Food processing technology poultry processing solutions*. Nyderlandai. 38 p.
- Miasoiedov, O. 2016. Asmeninė konsultacija.
- Nuotekų tvarkymo reglamentas. Vilnius, 2006. 18 p.
- Patwardhan, A. D. 2008. *Industrial waste water treatment*. Delhi : PHI Learning Private. 292 p.
- Paukštienos sektoriaus apžvalga [interaktyvus]. 2016. Žemės ūkio informacijos ir kaimo verslo centro [žiūrėta 2016 m. gruodžio mėn. 28 d.]. Prieiga per internetą: <<https://www.vic.lt/?mid=383&id=23642>>
- Rosa, J. J.; Rubio, J. 2004. The FF (flocculation–flotation) process, *Minerals engineering*: 701-707.
- Rubio, J.; Souza, M. L.; Smith, R. W. 2002. Overview of flotation as a wastewater treatment technique iš *Minerals engineering*: 139-155.
- Water Environment Federation. 2008. *Industrial wastewater management, treatment, and disposal*. New York, NY : McGraw-Hill Professional. 568 p.
- Wun Jarn, N. 2006. *Industrial wastewater treatment*. London : Imperial College Press. 153 p.

Selection guide of Grundfos Mixers

1 PRIEDAS

This selection guide is for guidance only. For further information please contact Grundfos.

The selection charts (curves) for the Grundfos mixers are based on square and circular tank shapes.



Application 1

Activated sludge

Selector zones

Anoxic zones

Bivalent zones

Anaerobic zones

Application 2

Primary sludge 3% solid contents

Secondary sludge 6% solid contents

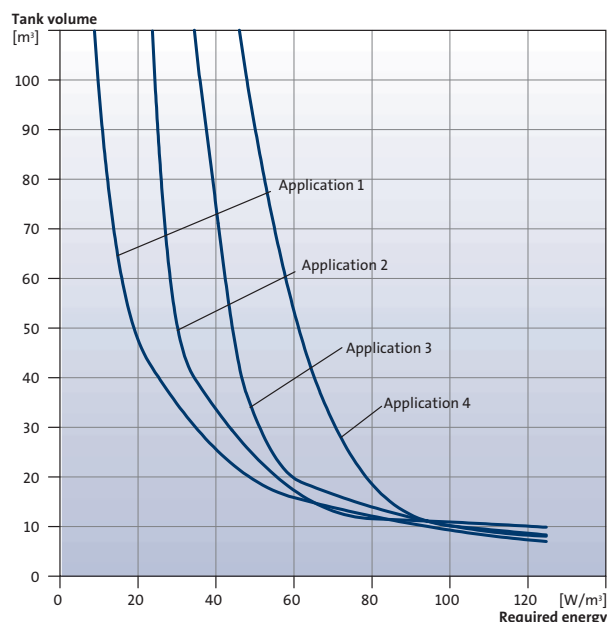
Digested sludge 8% solid contents

Application 3

Pump sump without screen

Application 4

Pump sump with sand



Example

For tank volumes larger than 2500 m³, please use the required energy value for 2500 m³.

Step 1 Select curve for application in question using the above definitions, for instance Application 2.

Step 2 Select tank volume, for instance 1200 m³.

Step 3 Use the curve chart to determine required energy.

This example = 12 W/m³ primary sludge.

Step 4 Calculate required power input, using this formula:

$$\frac{\text{Req. energy } 12 \text{ W/m}^3 \times \text{tank volume } 1200 \text{ m}^3}{1000} = 14.4 \text{ kW.}$$

Result: 1 unit of AMG.150.73.354, which will provide a power output of 15 kW (14.4 kW is required). Alternatively select 2 units of AMG.75.98.336.

Check that the maximum tank length is not exceeded. If this is the case the required energy must be split onto more mixers installed in series.

Mixer type	Motor power P2 (kW)	Maximum tank length for one mixer [m]			
		Application 1	Application 2	Application 3	Application 4
AMD.18.32.950	1.8	13 m	6 m	2.5 m	3.5 m
AMD.28.39.930	2.8	19 m	9 m	3.5 m	5.0 m
AMG.15.40.325	1.5	20 m	10 m	4.0 m	5.5 m
AMG.22.45.325	2.2	22 m	11 m	4.5 m	6.0 m
AMG.30.47.328	3.0	24 m	12 m	5.0 m	6.5 m
AMG.40.52.326	4.0	26 m	13 m	5.5 m	7.0 m
AMG.55.50.335	5.5	31 m	15 m	6.0 m	8.6 m
AMG.75.58.336	7.5	37 m	18 m	7.5 m	10.0 m
AMG.110.68.334	11.0	45 m	22 m	9.0 m	12.5 m
AMG.150.73.354	15.0	55 m	27 m	11.0 m	15.0 m
AMG.185.78.351	18.5	65 m	30 m	13.0 m	18.0 m

2 PRIEDAS

Performance data for air ($p_1 = 1,0 \text{ bar}$, $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $\rho = 1,189 \text{ kg/m}^3$) overpressure

Δp [mbar]	Blower size	GM 3 S / DN 50										GM 4 S / DN 80									
300	V̇ ₁ [m³/min]	0,66	1,10	1,61	2,13	2,48	2,94	3,18	3,66	3,87	4,12	1,01	1,66	2,17	3,00	3,54	4,16	4,78	5,41	5,70	
	t ₂ [°C]	74	62	57	54	53	52	51	50	50	50	68	59	56	53	52	51	50	49	49	
	nG [rpm]	1400	1830	2330	2840	3190	3640	3880	4350	4560	4800	1400	1870	2240	2840	3230	3680	4130	4590	4800	
	nM [rpm]	2800	2800	2800	2840	2840	2840	2870	2870	2870	2890	2800	2800	2840	2840	2870	2870	2890	2890	2890	
	P _k [kW]	0,89	1,14	1,43	1,76	2,01	2,34	2,54	2,94	3,13	3,37	1,14	1,49	1,78	2,29	2,64	3,06	3,52	4,01	4,25	
	P _{mot} [kW]	1,5	1,5	2,2	3	3	3	4	4	4	5,5	1,5	2,2	3	3	4	4	5,5	5,5	5,5	
	Motor size	90 S	90 S	90 L	100 L	100 L	100 L	112 M	112 M	112 M	132 S	90 S	90 L	100 L	100 L	112 M	112 M	132 S	132 S	132 S	
Lp(A)[dB] _{w/o.H./w.H.}	78/68	80/70	83/71	87/72	87/73	89/75	90/74	92/75	93/76	93/76	77/<65	78/65	79/66	79/66	84/66	86/69	87/69	88/70	89/71		
400	V̇ ₁ [m³/min]	0,55	0,98	1,53	2,01	2,4	2,86	3,07	3,57	3,79	4,00	0,87	1,50	2,21	2,90	3,42	4,06	4,64	5,27	5,56	
	t ₂ [°C]	107	83	73	68	66	64	63	62	61	61	94	77	70	66	64	62	61	60	60	
	nG [rpm]	1400	1830	2370	2840	3220	3680	3880	4380	4590	4800	1400	1860	2370	2870	3250	3710	4130	4590	4800	
	nM [rpm]	2800	2800	2840	2840	2870	2870	2870	2890	2890	2890	2800	2840	2840	2870	2890	2890	2890	2890	2890	
	P _k [kW]	1,13	1,45	1,86	2,24	2,57	3	3,19	3,71	3,94	4,18	1,46	1,91	2,43	2,97	3,4	3,94	4,47	5,07	5,35	
	P _{mot} [kW]	1,5	2,2	3	3	4	4	4	5,5	5,5	5,5	2,2	3	3	4	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	
	Motor size	90 S	90 L	100 L	100 L	112 M	112 M	112 M	132 S	132 S	132 S	90 L	100 L	100 L	112 M	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	
Lp(A)[dB] _{w/o.H./w.H.}	80/69	81/71	84/72	87/73	87/74	90/75	91/75	93/75	94/76	94/76	77/<65	79/67	81/67	83/68	85/67	87/70	88/71	89/72	89/72		
500	V̇ ₁ [m³/min]	0,91	1,43	1,94	2,29	2,78	3,04	3,47	3,68	3,90	0,77	1,42	2,11	2,80	3,30	3,93	4,51	5,14	5,43		
	t ₂ [°C]	107	91	83	80	77	75	74	73	72	126	97	85	80	77	75	73	72	71		
	nG [rpm]	1860	2370	2870	3220	3700	3960	4380	4590	4800	1420	1890	2390	2890	3250	3710	4130	4590	4800		
	nM [rpm]	2840	2840	2870	2870	2890	2890	2890	2890	2890	2840	2840	2870	2890	2890	2890	2890	2890	2890		
	P _k [kW]	1,78	2,26	2,76	3,12	3,64	3,94	4,45	4,72	4,99	1,81	2,38	3,00	3,66	4,15	4,8	5,42	6,12	6,45		
	P _{mot} [kW]	3	3	4	4	5,5	5,5	5,5	7,5	7,5	7,5	3	3	4	5,5	5,5	7,5	7,5	7,5		
	Motor size	100 L	100 L	112 M	112 M	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	100 L	100 L	112 M	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S		
Lp(A)[dB] _{w/o.H./w.H.}	83/72	85/72	88/73	88/74	91/76	93/76	95/76	95/76	95/76	77/<65	80/68	82/68	85/69	86/68	88/71	90/73	89/73	89/73			
600	V̇ ₁ [m³/min]	1,36	1,84	2,26	2,69	2,95	3,38	3,59	3,80	1,33	2,02	2,69	3,39	3,82	4,40	5,11	5,32				
	t ₂ [°C]	110	99	94	90	88	86	85	84	119	103	95	90	87	85	83	83				
	nG [rpm]	2390	2870	3280	3700	3960	4380	4590	4800	1910	2410	2890	3400	3710	4130	4650	4800				
	nM [rpm]	2870	2870	2890	2890	2890	2890	2890	2890	2870	2890	2890	2890	2890	2890	2930	2930				
	P _k [kW]	2,69	3,24	3,74	4,27	4,61	5,19	5,49	5,8	2,84	3,58	4,32	5,14	5,65	6,37	7,29	7,56				
	P _{mot} [kW]	4	4	5,5	5,5	7,5	7,5	7,5	7,5	4	5,5	5,5	7,5	7,5	7,5	11	11				
	Motor size	112 M	112 M	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	112 M	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	160 M	160 M			
Lp(A)[dB] _{w/o.H./w.H.}	87/73	89/74	89/75	92/76	95/76	96/76	96/76	96/76	81/69	84/70	87/70	87/69	88/72	91/75	89/74	89/74					
700	V̇ ₁ [m³/min]	1,27	1,78	2,17	2,60	2,86	3,29	3,50	3,72	1,92	2,58	3,28	3,71	4,37	5,01	5,22					
	t ₂ [°C]	132	117	110	105	102	99	98	97	122	111	104	101	97	95	94					
	nG [rpm]	2390	2890	3280	3700	3960	4380	4590	4800	2410	2890	3400	3710	4190	4650	4800					
	nM [rpm]	2870	2890	2890	2890	2890	2890	2890	2890	2890	2890	2890	2890	2930	2930	2930					
	P _k [kW]	3,09	3,76	4,29	4,9	5,28	5,93	6,27	6,62	4,14	4,99	5,92	6,5	7,43	8,35	8,66					
	P _{mot} [kW]	4	5,5	5,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	5,5	7,5	7,5	7,5	11	11	11					
	Motor size	112 M	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	160 M	160 M	160 M				
Lp(A)[dB] _{w/o.H./w.H.}	87/74	90/74	90/75	93/77	94/78	95/78	95/78	96/78	85/71	89/71	86/70	89/73	93/75	90/75	89/75						
800	V̇ ₁ [m³/min]	2,10	2,52	2,78	3,21	128	120	117	113	2,48	3,26	3,68	4,28	4,91	5,12						
	t ₂ [°C]	126	120	117	113	2890	3450	3760	4190	128	118	114	111	107	107						
	nG [rpm]	3290	3700	3960	4380	2890	2930	2930	2930	2890	3450	3760	4190	4650	4800						
	nM [rpm]	2890	2890	2890	2890	2890	2930	2930	2930	2890	2930	2930	2930	2930	2930						
	P _k [kW]	4,86	5,52	5,95	6,68	5,65	6,81	7,46	8,40	5,65	6,81	7,46	8,40	9,42	9,77						
	P _{mot} [kW]	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	11	11	11	7,5	11	11	11	11	11						
	Motor size	132 S	132 S	132 S	132 S	132 S	160 M	160 M	160 M	132 S	160 M	160 M	160 M	160 M	160 M						
Lp(A)[dB] _{w/o.H./w.H.}	91/76	94/79	93/80	94/79	91/73	87/72	91/74	95/76	91/76	90/76											
900	V̇ ₁ [m³/min]	2,71	3,17	3,59	4,19	4,82	5,03														
	t ₂ [°C]	132	133	129	124	120	119														
	nG [rpm]	3960	3450	3760	4190	4650	4800														
	nM [rpm]	2890	2930	2930	2930	2930	2930														
	P _k [kW]	6,63	7,60	8,33	9,36	10,5	10,9														
	P _{mot} [kW]	7,5	11	11	11	15	15														
	Motor size	132 S	160 M	160 M	160 M	160 M	160 M														
Lp(A)[dB] _{w/o.H./w.H.}	94/79	88/73	92/74	96/77	92/77	92/77															
1000	V̇ ₁ [m³/min]	4,74	4,94																		
	t ₂ [°C]	133	132																		
	nG [rpm]	4650	4800																		
	nM [rpm]	2930	2930																		
	P _k [kW]	11,6	12																		
	P _{mot} [kW]	15	15																		
	Motor size	160 M	160 M																		
Lp(A)[dB] _{w/o.H./w.H.}	94/77	94/78																			

Lower differential pressures on request