



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

**Aistė Kudirkaitė**

**PLAZMOS PANAUDOJIMO DALINIAM MĖSINĖS  
PRAMONINIŲ NUOTEKŲ VALYMOI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Doc. dr. Viktoras Račys

**KAUNAS, 2016**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

**PLAZMOS PANAUDOJIMO DALINIAM MĖSINĖS  
PRAMONINIŲ NUOTEKŲ VALYMU TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Aplinkosaugos inžinerija (kodas 612H17001)

**Konsultantai:**

Dokt. Martynas Tichonovas  
Dokt. Rūta Sidaravičiūtė

**Vadovas**

Doc. dr. Viktoras Račys  
2016 06 03

**Recenzentas**

Lekt. Edvinas Krugly  
2016 06 03

**Projektą atliko**

Aistė Kudirkaitė  
2016 06 03

**KAUNAS, 2016**



## KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Cheminės technologijos fakultetas

(Fakultetas)

Aistė Kudirkaitė

(Studento vardas, pavardė)

Aplinkosaugos inžinerija, 612H17001

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Plazmos panaudojimo daliniam mėsinės pramoninių nuotekų valymui tyrimas“

### AKADEMINIO SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

20 16 m. birželio 3 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Aistės Kudirkaitės**, baigiamasis projektas tema „Plazmos panaudojimo daliniam mėsinės pramoninių nuotekų valymui tyrimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Kudirkaitė Aistė. *Plazmos panaudojimo daliniam mėsinės pramoninių nuotekų valymui tyrimas*. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Viktoras Račys; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: bendroji inžinerija, technologijos mokslai.

Reikšminiai žodžiai: *mėsos pramonės nuotekų valymas, žematemperatūrinė plazma*.

Kaunas, 2016. 54 p.

## SANTRAUKA

Mėsos perdirbimo pramonėje vandens suvartojama daugiausiai iš visų maisto pramonės šakų, 24 % nuo bendro maisto ir gėrimų pramonėje suvartojamo vandens kiekio tenka mėsos pramonei, toliau gėrimų pramonė (13 %) ir pieno pramonė (12 %). Tik keli procentai iš suvartojamo vandens įeina į galutinio produkto sudėtį, likusi dalis yra nuotekos. Susidariusioms nuotekoms yra būdinga didelė organinių, mineralinių bei biogeninių medžiagų koncentracija. Jose gali būti patogeninių mikroorganizmų, galinčių sukelti įvairias ligas. Tokių nuotekų valymui įprastai naudojami biologinio valymo metodai [1].

Nors taikant biologinį valymo metodą galima pasiekti aukštą organinių medžiagų išvalymo laipsnį, tačiau norint išvalytą vandenį panaudoti pakartotinai būtina taikyti naujas, pažangias technologijas. Šiuo metu vis daugiau dėmesio sulaukia pažangiosios oksidacijos metodai. Taigi šio **darbo tikslas** – nustatyti mėsos perdirbimo pramonėje susidarančių nuotekų išvalymo efektyvumo kitimo dinamiką, taikant kompleksinį biologinio skaidymo bei pažangiosios oksidacijos metodus.

Efektyvumui nustatyti buvo atliktas eksperimentas, iš pradžių nuotekos buvo skaidomos biologiniame reaktoriuje, o toliau DBI reaktorių sistemoje. Nuotekos buvo imamos iš UAB „Klaipėdos mėsinė“. Eksperimento metu kintamieji parametrai buvo nuotekų išbuvimo trukmė biologiniame reaktoriuje bei DBI reaktorių sistemoje. Nuotekų išbuvimo trukmė biologiniame reaktoriuje buvo keičiama nuo pusės valandos iki šešių valandų, DBI reaktorių sistemoje – nuo 2 minučių iki 30 minučių. Nuotekų išvalymo efektyvumas nustatytas pagal bendrosios organinės anglies sumažėjimą. Pastebėta, jog išvalymo efektyvumas didėja ilgėjant nuotekų išbuvimo trukmei biologiniame reaktoriuje bei DBI reaktorių sistemoje, nustatyta optimali nuotekų išbuvimo trukmė biologiniame reaktoriuje – 280 minučių, DBI reaktorių sistemoje – 30 minučių. Bendras išvalymo efektyvumas pagal BOA esant 280 minučių biologinio skaidymo trukmei bei 30 minučių išbuvimo trukmei DBI reaktorių sistemoje – 65,6 %. Po valymo išnyko nuotekoms būdinga gelsva spalva bei nemalonus kvapas taip pat visiškai pašalinta mikrobiologinė tarša.

Pritaikius biologinio skaidymo bei pažangiosios oksidacijos metodus nuotekoms valyti UAB „Klaipėdos mėsinėje“ 50 % išvalyto vandens (13 700 m<sup>3</sup> per metus) galėtų būti recirkuliuojama ir panaudojama patalpų bei transporto plovimui. Tai sumažintų įmonės išlaidas nuotekoms valyti, o taip

pat būtų sunaudojama mažiau vandens. Paskaičiuoti reikalingi biologinio bei DBI reaktoriaus darbiniai tūriai yra lygūs  $14,6 \text{ m}^3$  bei  $1,6 \text{ m}^3$  atitinkamai. Paskaičiuotos elektros energijos sąnaudos reikalingos DBI reaktoriui yra lygios  $8,8 \text{ kWh/m}^3$ .

Kudirkaite Aiste. *Investigation of Plasma Application for Meat Processing Wastewater Treatment*. Master's thesis in Environmental Engineering / supervisor assoc. prof. Viktoras Racys. The Faculty of Chemical Technology Kaunas University of Technology.

Research area and field: general engineering, technological sciences.

Key words: treatment of meat processing wastewater, non – thermal plasma.

Kaunas, 2016. 54 p.

## SUMMARY

The meat processing industry uses 24 % of the total freshwater consumed by the food and beverage industry, with the beverage industry in particular consuming 13 % and dairy industry 12 % of freshwater. Only a few percent of consumed water is a component of the final product, the remaining part is wastewater. The main characteristics of it are: high biological and chemical oxygen demand, high fat content and high concentrations of dry residue, sedimentary and total suspended matter as well as nitrogen and phosphorus. It may also contain disease microorganisms, eggs of ascaris and intestinal parasites. Traditionally biological treatment methods are used for the treatment of meat processing wastewater.

Although biological treatment can achieve high efficiencies of organic matter and nutrient removal, the treated water needs further treatment in order to be reused. Therefore, advanced oxidation processes are becoming an alternative to conventional treatment and a complimentary treatment option, as either pre – treatment or post – treatment, to current biological processes. The goal of this thesis – to evaluate the effectiveness of meat processing wastewater treatment using combined biological and advanced oxidation processes.

To evaluate the effectiveness of wastewater treatment using combined biological and advanced oxidation processes the experiment was carried out. First, the meat processing wastewater was treated in biological reactor then in the dielectric barrier discharge (DBD) reactor. The wastewater used in the experiment was taken from „Klaipėdos mėsinė“. The experiment was focused on the determination of the optimum retention time of the wastewater in biological reactor as well as in the DBD reactor. The retention time was being changed within the range of 0,5 – 6 hours in biological reactor and 2 – 30 minutes in the DBD reactor. The effectiveness of wastewater treatment was evaluated according to total organic carbon (TOC) concentration in the treated water. The results showed that the effectiveness of wastewater treatment increases when the retention time in both biological and DBD reactors increases. It was concluded that the optimum retention time of the wastewater in biological reactor is 280 minutes and in DBD reactor – 30 minutes, the effectiveness of wastewater treatment obtained under mentioned conditions was 65,6 %. The microbiological tests showed that after

treatment of wastewater in DBD reactor the microbiological pollution was eliminated. Also, it was noticed that the slight yellow colour and the odor of wastewater disappeared.

It was concluded that wastewater treatment using combined biological and advanced oxidation processes in „Klaipėdos mėsine“ would be useful due to possibility of water reuse. About 50 % (13 700 m<sup>3</sup> annually) of treated water could be reused for cleaning of premises and transport. The volumes of biological reactor and DBD reactor were calculated according to wastewater flow rate, the calculated volumes are 14,6 m<sup>3</sup> and 1,6 m<sup>3</sup> for biological and DBD reactor respectively. Also the electricity consumption for the treatment of wastewater in DBD reactor was calculated, for 1 m<sup>3</sup> of wastewater 8,8 kWh of electricity energy is consumed.

# TURINYS

ĮVADAS.....	13
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	15
1.1. Mėsos pramonėje susidarantių nuotekų savybės.....	15
1.1.1. Mėsos perdirbimo pramonėje susidarantių nuotekų kiekiai.....	15
1.1.2. Nuotekose esantys teršalai ir jų koncentracijos .....	15
1.2. Mėsos pramonės nuotekų valymo metodai .....	16
1.2.1. Parengtinis valymas .....	16
1.2.2. Pirminis valymas.....	16
1.2.3. Antrinis valymas .....	18
1.2.4. Membranų panaudojimas mėsos pramonės nuotekoms valyti.....	19
1.2.5. Pažangios oksidacijos metodų taikymas mėsos pramonės nuotekoms valyti.....	21
1.3. Žemos temperatūros plazmos technologijos .....	23
1.3.1. Plazma .....	23
1.3.2. Žematemperatūros plazmos reaktoriai.....	23
1.3.3. Dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriai .....	24
1.3.4. Katalizatoriaus panaudojimas dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriuose .....	25
Apibendrinimas .....	26
2. METODINĖ DALIS .....	28
2.1. Eksperimento planas .....	28
2.2. Eksperimento atlikimo metodika .....	29
2.2.1. Įrangos aprašymas.....	29
2.2.2. Optimalių eksperimento sąlygų nustatymas .....	30
2.2.3. Eksperimento eiga.....	31
2.2.4. Bendrosios organinės anglies koncentracijos nustatymas mėginiuose.....	32
2.2.5. Mikroorganizmų skaičiaus vandenyje nustatymas .....	32
3. REZULTATAI.....	34
3.1. DBI reaktoriaus technologinių parametrų parinkimas .....	34



3.2. Nuotekų išvalymo efektyvumas .....	35
3.2.1. Nuotekų išvalymo efektyvumas biologiniame reaktoriuje .....	35
3.2.2. Bendras nuotekų išvalymo efektyvumas po skaidymo kompleksinėje biologinio valymo – žematemperatūros plazmos sistemoje .....	38
3.2.3. Praktinis biologinio – žematemperatūros plazmos valymo metodo pritaikymas.....	43
IŠVADOS.....	47
LITERATŪRA.....	48
PRIEDAI .....	53

## LENTELĖS

1 Lentelė. Mėsos pramonėje susidarančių nuotekų užterštumas.....	16
2 Lentelė. Mėsos pramonės nuotekų išvalymo efektyvumas taikant membranas.....	20
3 lentelė. DBI reaktoriaus technologinių parametrų įtaka ozono gamybai .....	34
4 lentelė. Nuotekų išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo skaidymo trukmės biologiniame reaktoriuje.....	36
5 lentelė. Nuotekų išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo jų išbuvimo trukmės biologiniame reaktoriuje bei DBI reaktorių sistemoje .....	39
6 lentelė. Mikroorganizmų skaičius vandenyje po skaidymo biologiniame ir DBI reaktoriuje. ....	42

## PAVEIKSLAI

1 pav. Principinė mėsos nuotekų biologinio valymo aerobinėmis sąlygomis schema.....	19
2 pav. UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> fotoreaktorius .....	21
3 pav. DBI reaktorių tipai.....	24
4 pav. Dielektrinio barjerinio išlydžio reaktorių konfigūracijos .....	25
5 pav. Tinklelio padengto TiO <sub>2</sub> panaudojimas dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriuje.....	26
6 pav. Eksperimento schema.....	28
7 pav. Eksperimentinis biologinis reaktorius .....	29
8 pav. Pilotinė DBI reaktorių sistema .....	30
9 pav. DBI reaktoriuje pagaminto ozono kiekio sunaudojus 1kWh elektros energijos priklausomybė nuo DBI galios. ....	35
10 pav. Nuotekų išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo biologinio skaidymo trukmės .....	36
11 pav. Nuotekų išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo jų išbuvimo trukmės biologiniame reaktoriuje bei DBI reaktorių sistemoje .....	41
12 pav. DBI reaktoriuje išvalyto vandens mikrobiologinis užterštumas .....	42
13 Pav. Vandens panaudojimo UAB „Klaipėdos mėsinė“ schema. ....	44
14 pav. „Klaipėdos mėsinės“ nuotekų valymo panaudojant biologinį skaidymą bei žematemperatūrę plazmą principinė schema .....	46

## **SANTRUMPOS**

BDS – biocheminis deguonies suvartojimas

BOA – bendroji organinė anglis

ChDS – cheminis deguonies suvartojimas

DBI – dielektrinis barjerinis išlydis

## IVADAS

Kasmet pasaulyje yra suvartojama vis daugiau mėsos, todėl plečiasi ir mėsos perdirbimo pramonė. FAO (angl. Food and Agriculture Organization of the United Nations) duomenimis, XX a. septintajame dešimtmetyje vienam žmogui teko vidutiniškai 24,2 kg mėsos per metus (neįskaitant žuvies ir gautos iš jūros gyvūnų), 2015 m. šis rodiklis padidėjo beveik du kartus ir siekia 41,3 kg per metus. Mėsos vartojimui ir toliau didėjant prognozuojama, jog 2030 metais vienam žmogui teks 45 kg mėsos [2].

Vienam kilogramui mėsos pagaminti sunaudojama nuo 4325 iki 15 415 litrų vandens [3]. Tik keli procentai iš suvartojamo vandens įeina į galutinio produkto sudėtį, likusi dalis yra nuotekos. Susidariusioms nuotekoms yra būdinga didelė organinių, mineralinių bei biogeninių medžiagų koncentracija. Jose gali būti patogeninių mikroorganizmų, galinčių sukelti įvairias ligas. Tokių nuotekų valymui įprastai naudojami biologinio valymo metodai, tačiau griežtėjant aplinkosauginiams reikalavimams, būtina ieškoti naujų, pažangių valymo technologijų, kurias taikant būtų pasiektas didesnis nuotekų išvalymo laipsnis, o išvalytas vanduo būtų tinkamas panaudoti dar kartą (pvz. įrangos ar patalpų plovimui). Taikant antrinį vandens panaudojimą būtų gerokai sumažintos vandens sąnaudos.

Pažangiosios oksidacijos metodai sulaukia vis daugiau susidomėjimo. Vienas iš šių metodų – tai žemos temperatūros plazmos technologijos. Žemos temperatūros plazma esant atmosferiniam slėgiui gaunama vykstant dujų išlydžiui, kuris sukeliamas sukuriant stiprų elektrinį lauką neutraliose dujose. Pirma, susidaro laisvieji elektronai, po to vyksta molekulių jonizacija, disociacija, susidaro aktyvūs radikalai  $O^{\bullet}$ ,  $\bullet OH$ ,  $HO_2^{\bullet}$  bei stiprus oksiduojantis agentas – ozonas. Teršalų molekulės yra atakuojamos šių radikalų ir idealiu atveju oksiduojamos iki  $CO_2$  ir  $H_2O$ .

Lyginant su kitomis nuotekų valymo technologijomis plazmos technologijos išsiskiria šiais privalumais: nesusidaro aplinkai kenksmingų medžiagų, šios technologijos nenaudoja papildomų cheminių medžiagų, plazmai gauti reikalinga tik elektros energija. Taip pat paminėtina tai, kad panaudojant plazmą galima suskaidyti patvarius organinius teršalus, kurių nepašalina įprastos valymo technologijos.

Yra įvairių žematemperatūros plazmos reaktorių, šiame darbe nuotekų valymui buvo taikomas dielektrinio barjerinio išlydžio (DBI) reaktorius. Pirma, nuotekos buvo apdorojamos taikant įprastą biologinio valymo metodą, toliau valomos minėtame DBI reaktoriuje.

**Darbo tikslas** – nustatyti mėsos perdirbimo pramonėje susidarančių nuotekų išvalymo efektyvumo kitimo dinamiką, taikant kompleksinį biologinio skaidymo bei pažangiosios oksidacijos metodus.

***Darbo objektas*** – mėsos pramonės nuotekos po pirminio valymo flotatoriuje.

***Darbo uždaviniai:***

1. Atlikti mokslinės literatūros analizę ir išsiaiškinti, kokios technologijos taikomos mėsos pramonės nuotekoms valyti, bei parengti darbo metodinę dalį.
2. Atlikti technologinių parametrų tyrimus DBI reaktorių sistemoje.
3. Nustatyti mėsos pramonės nuotekų išvalymo efektyvumo priklausomybę nuo valymo trukmės biologiniame reaktoriuje bei DBI reaktorių sistemoje.
4. Ištirti valomo vandens mikrobiologinio užterštumo kitimą.
5. Apibendrinti kompleksinio biologinio skaidymo bei pažangiosios oksidacijos metodo pritaikymo galimybę UAB „Klaipėdos mėsinėje“.

# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Mėsos pramonėje susidarančių nuotekų savybės

### 1.1.1. Mėsos perdirbimo pramonėje susidarančių nuotekų kiekiai

Mėsos perdirbimo pramonėje daugiausia vandens suvartojama skerdienos plovimui, skerdiena plaunama pašalinus kailį bei po išdarinėjimo. Vanduo taip pat yra naudojamas įrangos plovimui ir aušinimui. Susidarančių nuotekų kiekiai mėsos perdirbimo pramonėje yra nepastovūs, jie priklauso nuo to koks procesas yra vykdomas. Paprastai skerdykloje dirbama pamainomis, pirma mėsa apdorojama, tai trunka nuo 8 iki 10 valandų, ir tuomet 6 – 8 valandas vyksta plovimas. Mėsos apdirbimo metu susidaro palyginti nedideli nuotekų kiekiai tuo tarpu kai vykdomas plovimas (tiek skerdienos, tiek įrangos) nuotekų kiekiai yra gerokai didesni. EPA (angl. United States Environmental Protection Agency) duomenimis, gautais išanalizavus 24 skerdyklų nuotekų kiekius, vidutiniškai apdirbus 100 kg gyvos masės susidaro 534 litrai nuotekų. Vidutinio dydžio ir didelės skerdyklos per dieną apdoroja nuo 43 000 kg iki 344 000 kg gyvos masės, taigi per dieną susidarančių nuotekų kiekis gali svyruoti nuo 230 m<sup>3</sup> iki 1837 m<sup>3</sup>. Susidarančių nuotekų kiekis taip pat priklauso nuo to kokias technologijas naudoja įmonė ir kiek minimizuoja vandens sunaudojimą [4].

### 1.1.2. Nuotekose esantys teršalai ir jų koncentracijos

Mėsos perdirbimo pramonėje susidarančių nuotekų sudėtyje yra kraujo, minkštųjų audinių, pašalintų apipjaustymo metu, kaulų, šlapimo ir fekalijų taip pat gali būti dirvožemio ar šiaudų nuo kailio. Taigi susidarančias nuotekas pagrinde sudaro įvairūs, sunkiai skaidomi organiniai junginiai: riebalai, baltymai esantys tiek kietos tiek ištirpusios formos. Prieš valant susidariusias nuotekas jos yra filtruojamos per sieta, kuriame sulaikomi teršalai esantys kietoje formoje. Tačiau net ir po šio etapo mėsos pramonės nuotekos palyginti su buitinėmis nuotekomis pasižymi dideliu BDS bei ChDS rodikliu, jose didelė azoto bei fosforo koncentracija.

Didelę BDS rodiklio vertę lemia nuotekose esantis kraujas (vidutiniškai apdirbus 100 kg gyvos masės susidaro 3,2 kg kraujo), riebalai, šlapimas bei fekalijos. Dėl nuotekose esančio šlapimo bei fekalijų joms taip pat būdinga didelė azoto bei fosforo koncentracija. Didelę fosforo koncentraciją taip pat lemia įvairūs valikliai naudojami įrangos plovimui. Be minėtų rodiklių mėsos pramonės nuotekoms būdingas ir bakteriologinis užterštumas. Jose gali būti ir patogenų, tokių kaip *salmonella ssp.*,

*campylobacter jejuni*, *ascaris sp.*, *giardia lamblia*, *cryptosporidium parvum* [1,4]. Pirmoje lentelėje pateikta mėsos pramonės nuotekoms būdingas užterštumas.

**1 Lentelė. Mėsos pramonėje susidarančių nuotekų užterštumas [1].**

Užterštumo rodiklis	Koncentracija, mg/L		Leidžiama koncentracija mg/L	
	Intervalas	Vidutinė reikšmė	ES standartai [5]	Lietuvos standartai [6]
BOA	70 – 1200	546	–	–
ChDS	500 – 15900	4221	125	125
BDS <sub>5</sub>	150 – 4635	1209	25	25
Bendras azotas	50 – 841	427	10	10
Bendras fosforas	25 – 200	50	1	1

## 1.2. Mėsos pramonės nuotekų valymo metodai

### 1.2.1. Parengtinis valymas

Mėsos pramonės nuotekos valomos panašiai kaip buitinės nuotekos. Iš pradžių taikomas parengtinis valymas, šiame etape nuotekos filtruojamos per sietus, čia sulaikomos stambios priemaišos: kaulų dalelės, kietos riebalų dalelės, kailis. Naudojami įvairių tipų sietai: statiniai, besisukančio būgno, vibruojantys. Priklausomai nuo sieto akučių dydžio sulaikomos skirtingo dydžio kietos dalelės. Dažniausiai iš pradžių nuotekos filtruojamos per sietą, kurio akučių diametras 6 – 25 mm, vėliau per smulkesnį sietą (akučių diametras mažesnis už 6 mm). Parengtinio valymo efektyvumas pagal kietąsias daleles lygus 50 – 70 %, pagal BDS rodiklį 25 – 40 % [7].

### 1.2.2. Pirminis valymas

Pirminio valymo etape iš nuotekų pašalinamos smulkios neištirpusios ir koloidinės priemaišos taip pat riebalai. Tam naudojami fizikocheminiai metodai: koaguliacija, flokuliacija, flotacija.

- **Koaguliacija**

Koaguliacijos metu smulkios neištirpusios ir koloidinės priemaišos šalinamos iš nuotekų privertus jas sulipti į didesnius, akimi matomus junginius, gebančius nusėsti. Tam naudojami specialūs reagentai – koagulantai. Pagrindiniai naudojami koagulantai – aliuminio sulfatas  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , aliuminio oksichloridas  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}$ , geležies(III) chloridas  $\text{FeCl}_3$ , geležies(II) sulfatas  $\text{FeSO}_4$ , geležies(III)



sulfatas  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . Atlikta nemažai tyrimų taikant skirtingus koaguliantus, keli pavyzdžiai pateikti šiame skyriuje [8].

Satyanarayanan ir kt. atliko tyrimą mėsos pramonės nuotekas apdorojant kalkių ir geležies sulfato mišiniu. Nuotekos, prieš apdorojant koaguliantais, buvo 1,5 valandos laikomos sėdintuve, po šio laiko kietųjų dalelių sumažėjo 75 %, o ChDS rodiklis sumažėjo 32 %. Po sėdinimo nuotekos buvo apdorojamos kalkių ir geležies sulfato mišiniu, kurių dozės atitinkamai 400 mg/L ir 100 mg/L. Naudojant tokį mišinį išvalymo efektyvumas pagal ChDS rodiklį – 56,8 % [9].

Amuda ir kt. atliko tyrimą mėsos pramonės nuotekas apdorojant skirtingais koaguliantais. Iš pradžių nuotekos 24 valandas buvo laikomos sėdintuve, po šio laiko kietųjų dalelių ir bendro fosforo koncentracija sumažėjo 65 % ir 32 % atitinkamai. Toliau nuotekos buvo apdorojamos skirtingais koaguliantais: geležies chloridu, geležies sulfatu bei aliuminio sulfatu. Koaguliantų dozės buvo nuo 0 iki 2000 mg/L. Tyrimo metu nustatyta, jog esant optimaliai koagulianto dozei (750 mg/L) nuotekų išvalymo efektyvumas pagal ChDS rodiklį yra 65 %, 63 % ir 65 % atitinkamai naudojant aliuminio sulfatą, geležies chloridą bei geležies sulfatą. Kietųjų dalelių pašalinimo efektyvumas didžiausias naudojant aliuminio sulfatą (34 %), toliau geležies chloridą (28 %) bei geležies sulfatą (20 %). Bendro fosforo pašalinimo efektyvumas yra lygus 45 %, 32 % ir 39 % atitinkamai naudojant aliuminio sulfatą, geležies chloridą bei geležies sulfatą. Iš gautų rezultatų galima padaryti išvadą, jog naudojant aliuminio sulfatą pasiekiamas didžiausias išvalymo efektyvumas. Aliuminio sulfatą naudojant su polielektrolitu galima pasiekti dar didesnę išvalymo laipsnį, esant aliuminio sulfato dozei 750 mg/L ir polielektrolito (poliakrilamidas) dozei 20 mg/L pasiektas išvalymo efektyvumas pagal ChDS rodiklį – 92 %, pagal kietąsias daleles – 95 %, pagal bendrą fosforą – 96 % [10].

Apibendrinus minėtus tyrimus galima daryti išvadą, jog norint pasiekti aukštą išvalymo laipsnį reikalingi nemaži reagentų kiekiai. Tai lemia dideles sąnaudas, todėl dažniausiai koaguliacija taikoma kaip pirminis mėsos pramonės nuotekų apdirbimo metodas.

- **Flotacija**

Flotacija – teršalų atskyrimas nuo nuotekų naudojant oro burbuliukus. Šio metodo esmė – tai mikroskopinio dydžio oro burbuliukų panaudojimas, kurie prikimba prie priemaišų jas iškeldami į paviršių. Flotacijos metodu iš nuotekų išskiriamos išplaukiančios priemaišos (riebalai). Nuotekų paviršiuje susidaro išskiriama medžiaga prisotintas putų sluoksnis. Sėdančios medžiagos nusėda dugne. Putoms šalinti naudojamas specialus grandiklis, nuosėdos šalinamos sraigtu [11].

Taikant flotacijos procesą mėsos pramonės nuotekoms valyti pasiekiamas išvalymo efektyvumas pagal ChDS rodiklį yra nuo 30 iki 90 %, pagal BDS rodiklį nuo 70 iki 80 % [12].

De Sena ir kt. tyrė flotacijos proceso efektyvumą valant mėsos pramonės nuotekas. Tyrimo metu nuotekos buvo imtos po parengtinio apdorojimo. Flotacijos proceso efektyvumas buvo padidintas papildomai naudojant koaguliantą (geležies sulfatą), nustatyta optimali koagulianto dozė 80 mg/L  $\text{Fe}^{3+}$ .

Nuotekų išvalymo efektyvumas tokioje sistemoje pagal ChDS rodiklį siekė 80,3 %, pagal BDS – 70,3 %, pagal kietąsias daleles – 75,5 % [13].

### 1.2.3. Antrinis valymas

Šiame etape įprastai taikomas biologinis valymas. Biologiniam nuotekų valymui panaudojami mikroorganizmai, jie gali būti aerobiniai (gyvenantys aplinkoje, kurioje yra deguonies) ir anaerobiniai (gyvenantys aplinkoje, kurioje nėra deguonies).

Biologinis aerobinis nuotekų valymas vyksta aerotankuose. Aerotankuose, tiekiant mikroorganizmų gyvavimui reikalingą deguonį ir intensyviai maišant nuotekas, sudaromos palankios sąlygos mikroorganizmams daugintis ir kauptis. Mikroorganizmai organinius teršalus naudoja mitybai bei gyvybinei veiklai palaikyti, jie suskaido nuotekose esančius teršalus į vandenį, anglies dvideginį, nitratus ir kt. Biologinis anaerobinis nuotekų valymas vykdomas hermetiškuose įrenginiuose. Juose esant anaerobinėms sąlygoms bakterijos organinius teršalus suskaido iki metano, anglies dvideginio, sieros vandenilio ir kitų dujų [14].

Mėsos pramonės nuotekoms valyti dažniausiai taikomas aerobinis skaidymas. Taip yra dėl to, jog anaerobinis skaidymas yra efektyvus tik tuomet kai nuotekos yra labai stipriai užterštos, t.y. ChDS rodiklis didesnis nei 4000 mg/L. Mėsos pramonės nuotekų užterštumas pagal ChDS rodiklį po parengtinio bei pirminio valymo yra nuo 400 iki 1600 mg/L. Be to taikant anaerobinį skaidymą maistinių medžiagų (fosforo ir azoto) pašalinimas yra žemas, taigi reikalingas papildomas nuotekų apdirbimas [15, 16].

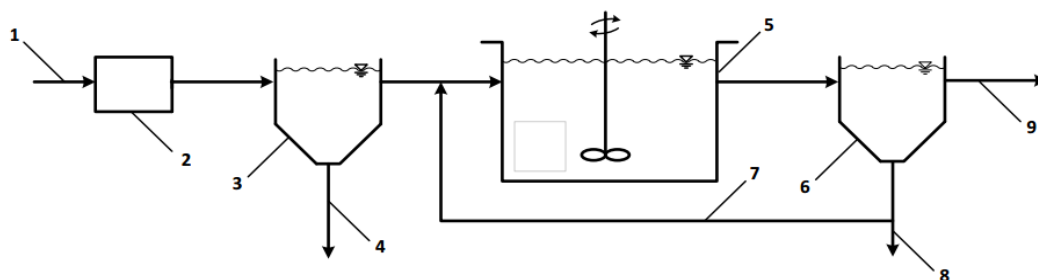
Biologinio aerobinio valymo sistemose nuotekos yra vekiamos aktyviuoju dumblo. Tai natūraliai susiformuojanti biocenozę, kurios sudėtis priklauso nuo nuotekų sudėties ir valymo režimo. Aktyvusis dumblas yra tamsiai rudos spalvos dribsniai, kurie sudaryti iš mikroorganizmų (iki 70%) ir įvairios sudėties teršalų dalelių (apie 30%). Geros kokybės veiklusis dumblas greitai sukimba į 1 – 5 mm skersmens dribsnius, o vanduo virš dumblo būna skaidrus ir be smulkių dumblo dalelių.

Vykstant aerobiniam skaidymui susidaro gan daug aktyviojo dumblo, jis nusodinamas antriniame sėsdintuve, tuomet dalis jo yra grąžinama atgal į aerotanką, kita dalis – perteklinis dumblas – pašalinama. Perteklinis dumblas gali būti nukreipiamas į metantanką.

Svarbiausi technologiniai parametrai, kurie turi būti kontroliuojami biologinio aerobinio proceso metu yra:

- veikliojo dumblo koncentracija, apkrova ir amžius;
- ištirpusio deguonies koncentracija;
- nuotekų išbuvimo trukmė aerotanke;
- recirkuliacijos laipsnis [17].

Principinė biologinio valymo aerobinėmis sąlygomis schema pateikta paveikslėlyje.



**1 pav. Principinė mėsos nuotekų biologinio valymo aerobinėmis sąlygomis schema: 1 – atitekantis nuotekų srautas, 2 – parengtinis valymas ruošiant nuotekas tolesniam valymui (sietas), 3 – kietųjų ir dalies koloidinių dalelių atskyrimas prieš biologinį valymą (flotatorius), 4 – pirminis dumblas, 5 – biologinis reaktorius, 6 – sėdintuvas, 7 – cirkuliacinis veiklusis dumblas, 8 – perteklinis veiklusis dumblas, 9 – išvalytos nuotekos [17].**

Biologinis aerobinis skaidymas plačiai taikomas mėsos pramonės nuotekoms valyti, taip yra dėl to, jog šis procesas yra efektyvus bei palyginti nebrangus. Yra atlikta daug tyrimų įvertinančių biologinio skaidymo efektyvumą skaidant mėsos pramonės nuotekas. Plačiau šie tyrimai aprašyti 3.2.1 skyriuje.

#### **1.2.4. Membranų panaudojimas mėsos pramonės nuotekoms valyti**

Membranų technologijos: atvirkštinė osmozė, nanofiltracija, ultrafiltracija ir mikrofiltracija iš mėsos pramonės nuotekų srauto pašalina kietąsias daleles, koloidus bei makromolekules. Priklausomai nuo membranų porų dydžio gali būti pasiektas skirtingas išvalymo laipsnis, kuo mažesnis porų dydis tuo didesnis išvalymo laipsnis. Membranos gali būti taikomos įvairiuose etapuose po parengtinio valymo, po biologinio valymo taip pat gali būti įtvirtinamos ir biologinio reaktoriaus viduje.

Almandozas ir kt. atliko tyrimą ir įvertino mikrofiltracijos efektyvumą valant mėsos pramonės nuotekas. Nuotekos pirma buvo filtruojamos per sietą, kuris sulaiko stambias priemaišas, o tuomet filtruojamos per membraną. Naudojamos membranų porų dydis buvo 0,085  $\mu\text{m}$ , filtracijos metu buvo palaikomas 100 kPa slėgis. Rezultatai parodė, jog kietųjų dalelių po mikrofiltracijos nuotekose visai neliko (100 % išvalymo efektyvumas) taip pat pasiektas aukštas bakterijų išvalymo laipsnis (87 – 99 %). Bendrosios organinės anglies, bendro fosforo ir ChDS rodiklio išvalymo efektyvumai yra atitinkamai 44,81 %, 45,22 %, 90,63 % [18].

Gürelas ir kt. tyrė membraninio bioreaktoriaus efektyvumą valant mėsos pramonės nuotekas. Tyrimo metu membrana buvo įtvirtinta biologinio reaktoriaus viduje. Valant nuotekas tokioje sistemoje buvo pasiektas aukštas bendros organinės anglies bei ChDS rodiklio išvalymo efektyvumas (96 % ir

97 % atitinkamai). Šių rodiklių sumažėjimas rodo, jog šis metodas efektyviai šalina organinius teršalus, tačiau mineralinių medžiagų pašalinimo efektyvumas žemas (bendro azoto – 44 %, bendro fosforo – 65 %) [19].

Yordanovas taip pat atliko ultrafiltracijos efektyvumo valant mėsos pramonės nuotekas tyrimą. Nuotekos buvo imtos po biologinio valymo. Filtracija buvo atliekama esant 330 l/m<sup>2</sup>·val. apkrovai ir 4 barų slėgiui. Tyrimo metu nustatyta, jog kietųjų dalelių bei riebalų pašalinimo efektyvumas atitinkamai yra 98 % ir 99 %, ChDS rodiklio išvalymo efektyvumas kaip ir anksčiau minėtame tyrime didesnis nei 90 % (šiuo atveju buvo gauta 94,5 %), o pagal BDS rodiklį nuotekų išvalymo efektyvumas siekia 97,8 % [20].

Sroka ir kt. ištyrė atvirkštinės osmozės proceso efektyvumą valant mėsos pramonės nuotekas. Prieš valant nuotekas atvirkštinės osmozės įrenginyje jos buvo apdorojamos biologiniame aerobiniame reaktoriuje. Taikant atvirkštinę osmozę išvalymo efektyvumas pagal BDS, ChDS rodiklius bei bendro azoto, bendro fosforo koncentraciją yra atitinkamai 50,0 %, 85,8 %, 97,5 %, 90,0 % [21].

Taigi lyginant gautus rezultatus galima daryti išvadą, jog ultrafiltracija yra efektyviausia pagal ChDS, BDS rodiklių sumažėjimą po valymo, atvirkštinė osmozė yra efektyviausia šalinant azotą.

Apibendrintus aptartų tyrimų rezultatus galima matyti 2 – oje lentelėje.

**2 Lentelė. Mėsos pramonės nuotekų išvalymo efektyvumas taikant membranas.**

Membranos tipas	Porų dydis (µm)	BOA išvalymo efektyvumas, %	ChDS išvalymo efektyvumas, %	BDS išvalymo efektyvumas, %	Bendro azoto išvalymo efektyvumas, %	Šaltinis
Mikrofiltracija	0,080 – 0,550	44,81	90,63	-	45,22	[18]
Ultrafiltracija	0,030	75,00 – 96,00	83,00 – 97,00	-	27 – 44	[19]
Ultrafiltracija	0,010 – 0,100	-	94,52 – 94,74	97,80 – 97,89	-	[20]
Atvirkštinė osmozė	0,001 – 0,005	-	85,80	50,00	90,00	[21]

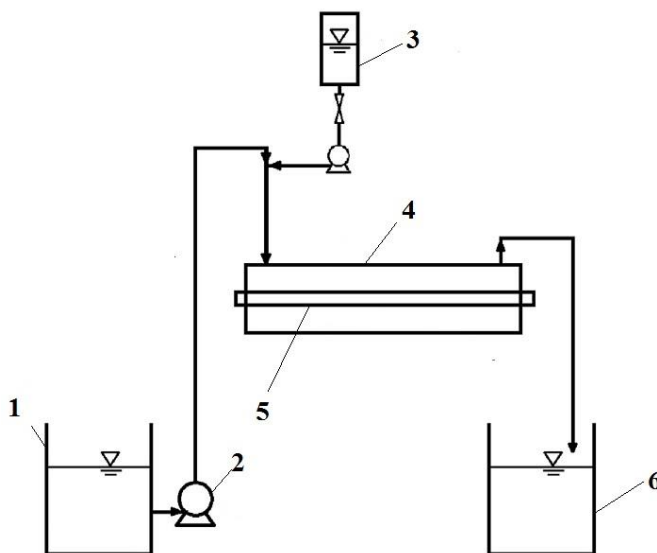
Iš aptartų tyrimų galima daryti išvadą, jog taikant membranas galima pasiekti didelį organinių teršalų išvalymo laipsnį taip pat membranos pašalina kietąsias daleles, riebalus bei bakterijas iš mėsos pramonės nuotekų. Tačiau vienas didžiausių membranų trūkumų yra tas, jog apdorojant stipriai užterštus nuotekų srautus membranų poros yra užkemšamos, todėl sumažėja išvalymo efektyvumas. Ant membranų paviršiaus susidaro bioplėvelė, taip pat poras gali užkimšti ir didelė kietųjų dalelių koncentracija. Taigi membranas reikia nuolat valyti arba papildomai naudoti cheminius reagentus, kurie neleistų nuosėdoms kauptis ant membranų [22].

### 1.2.5. Pažangios oksidacijos metodų taikymas mėsos pramonės nuotekoms valyti

Pažangios oksidacijos metodai sulaukia vis daugiau dėmesio. Jie gali būti taikomi tiek atskirai, tiek kartu su įprastais valymo metodais. Pagrindinis pažangios oksidacijos metodų privalumas – tai visiškas organinių teršalų sunaikinimas nepernešant jų į kitą terpę ir nesusidarant antrinei taršai (pvz. pavojingoms atliekoms). Pažangios oksidacijos metodo esmė – stiprių oksiduojančių agentų: ozono, vandenilio peroksido panaudojimas. Dažnai papildomai yra naudojami katalizatoriai (Fe, Mn,  $\text{TiO}_2$ ) bei UV spinduliuotė. Organiniai teršalai yra oksiduojami reakcijų metu susidarantių aktyvių radikalų ( $\cdot\text{OH}$ ,  $\text{HO}_2\cdot$ ,  $\text{HO}_3\cdot$ ,  $\cdot\text{O}_2^-$ ) ir suskaidomi iki jonų ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), anglies dvideginio ( $\text{CO}_2$ ) ir vandens [23].

Mėsos pramonės nuotekoms valyti pažangios oksidacijos metodai daugiausia taikomi kartu su biologiniu valymo metodu. Pažangios oksidacijos metodais galima suskaidyti organinius teršalus, kurių mikroorganizmai nesuskaido taip pat taikant šiuos metodus galima pašalinti mikrobiologinę taršą. Viena plačiausiai naudojamų pažangios oksidacijos technologijų mėsos pramonės nuotekoms valyti – tai fotoreaktorius, kuriame panaudojant UV spindulius bei vandenilio peroksidą susidaro aktyvus hidroksilo radikalas, kuris oksiduoja ir suskaido teršalus [1].

Proceso schema pateikta 2 – amame paveikslėlyje. Nuotekos yra paduodamos į fotoreaktorių, kuriame yra įtvirtinta UV lempa. Į fotoreaktorių taip pat tiekiamas vandenilio peroksido tirpalas. Įvykus reakcijai nuotekos yra išleidžiamos.



2 pav. UV/ $\text{H}_2\text{O}_2$  fotoreaktorius: 1 – nuotekų talpa, 2 – siurblys, 3 –  $\text{H}_2\text{O}_2$  tirpalo talpa, 4 – fotoreaktorius, 5 – UV lempa, 6 – išvalytas vanduo [1].

Luizas ir kt. tyrė mėsos pramonės nuotekų išvalymo efektyvumą naudojant vien tik UV spinduliuotę bei UV spinduliuotę kartu su vandenilio peroksidu. Nuotekos tyrimui buvo imtos po biologinio valymo, tuomet jos papildomai buvo apdorotos koaguliantu (geležies sulfatu). Taip

paruoštos nuotekos buvo apdorojamos dviem būdais: tik UV spinduliuote ir UV spinduliuote kartu su vandenilio peroksidu. Apdorojant tik UV spinduliuote reikalingas ilgas laiko tarpas (600 – 840 minutės), per šį laiko tarpą pasiektas nuotekų išvalymo efektyvumas pagal ChDS rodiklį siekė 31 %. Taikant UV spinduliuotę kartu su vandenilio peroksidu per žymiai trumpesnę laiką (100 minučių) buvo pasiektas geresnis rezultatas (nuotekų išvalymo laipsnis pagal ChDS rodiklį – 49 %). Abejais atvejais po valymo iš nuotekų buvo pašalinti mikroorganizmai [24].

Cao ir kt. atliko tyrimą skaidant mėsos pramonės nuotekas kombinuotoje sistemoje. Iš pradžių nuotekos buvo apdorojamos anaerobiniame bioreaktoriuje (3,8 dienas), toliau nuotekos buvo apdorojamos UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fotoreaktoriuje (3,6 valandos, vandenilio peroksido dozė – 3,5 mg/h-vienam miligramui BOA). Nuotekas apdorojus tokioje sistemoje išvalymo efektyvumas pagal bendrosios organinės anglies koncentraciją, ChDS bei BDS rodiklius yra atitinkamai 95 %, 98 %, 97 % [25].

Bustillo – Lecompte ir kt. palygino mėsos pramonės nuotekų išvalymo efektyvumą bei kainą taikant tik UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> procesą bei kombinuotą biologinio bei UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> valymo sistemą. Biologinis valymas buvo atliekamas anaerobiniame bei aerobiniame reaktoriuose. Taigi kombinuota biologinio bei UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> valymo sistema susidėjo iš trijų elementų. Rezultatai parodė, jog nuotekas valant tik UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fotoreaktoriuje išvalymo efektyvumas yra mažas (50 % pagal bendrosios organinės anglies koncentraciją), o kaina didelė (67 \$ vienam kilogramui bendrosios organinės anglies pašalinti). Tuo tarpu kombinuota biologinio bei UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> fotoreaktoriaus sistema galima pasiekti aukštą išvalymo efektyvumą (99 % pagal bendrosios organinės anglies koncentraciją) mažomis sąnaudomis (2,19 \$ vienam kilogramui bendrosios organinės anglies pašalinti). Paskaičiuota, jog tokioje sistemoje vieną kubinį metrą mėsos pramonės nuotekų išvalyti kanuoja 21,65 \$. Sąnaudos buvo skaičiuotos atsižvelgiant į elektros energijos bei cheminių medžiagų suvartojimą taip pat į išlaidas reikalingas įrangai veikti bei prižiūrėti (siurbiai bei UV lempos), tyrimo metu neatsižvelgta į išlaidas susijusias su įrangos instaliavimu ir paleidimu [26, 27].

Apibendrinus analizuotuose straipsniuose gautus rezultatus galima daryti išvadą, jog mėsos pramonės nuotekas valant kombinuotose pažangios oksidacijos – biologinio valymo sistemose galima pasiekti aukštą išvalymo laipsnį palyginti mažomis sąnaudomis. Taikant pažangios oksidacijos metodus suskaidomi teršalai, kurių negali suskaidyti mikroorganizmai taip pat nuotekos yra dezinfekuojamos. Visgi pažangios oksidacijos metodai yra brangūs ir taikyti juos atskirai vietoje įprastų valymo metodų yra ekonomiškai neefektyvu.

### 1.3. Žemos temperatūros plazmos technologijos

#### 1.3.1. Plazma

Plazma – tai jonizuotos dujos, kuriose yra laisvųjų elektronų, jonų bei neutralių molekulių ir atomų. Plazma dažnai yra įvardijama kaip ketvirtoji medžiagos būseną, kadangi ji pasižymi unikaliomis fizikinėmis savybėmis, skiriančiomis ją nuo kietųjų medžiagų, skysčių bei dujų.

Galima išskirti dvi plazmos rūšis – tai aukštos temperatūros ir žemos temperatūros plazma. Aukštos temperatūros plazmoje visi elektronai, jonai bei neutralios dalelės turi vienodą kinetinę energiją (temperatūrą). Jų temperatūra siekia nuo 5000 K iki 50000 K. Žemos temperatūros plazmoje laisvieji elektronai pasižymi didesne kinetine energija, jų temperatūra yra aukštesnė nei kitų sunkesniųjų plazmos dalelių (jonų, neutralių atomų bei molekulių temperatūra siekia nuo 300 K iki 400 K) ir gali siekti 10 000 – 250 000 K temperatūrą.

Aukštos temperatūros plazmai gauti reikalingos didelės energijos sąnaudos, tuo tarpu taikant žemos temperatūros plazmos reaktorių sunaudojama mažiau energijos, taigi ir jų pritaikymas vandens valymui sulaukia daugiau susidomėjimo. Žemos temperatūros plazma esant atmosferiniam slėgiui gaunama vykstant dujų išlydžiui, kuris sukeliamas sukuriant stiprų elektrinį lauką neutraliose dujose. Pirma, susidaro laisvieji elektronai, po to vyksta molekulių jonizacija, disociacija, susidaro aktyvūs radikalai  $O^{\bullet}$ ,  $^{\bullet}OH$ ,  $HO_2^{\bullet}$  bei stiprus oksiduojantis agentas – ozonas. Teršalų molekulės yra atakuojamos šių radikalų ir idealiu atveju oksiduojamos iki  $CO_2$  ir  $H_2O$  [28].

Plazmos panaudojimas tiek vandens, tiek išlakų valymui turi daug privalumų:

- galima suskaidyti patvarius organinius teršalus, kurių nepašalina įprastos valymo technologijos;
- plazmos technologijos nenaudoja papildomų cheminių medžiagų, plazmai gauti reikalinga tik elektros energija;
- nesusidaro aplinkai kenksmingų medžiagų;
- pasiekiamas aukštas išvalymo laipsnis [29].

#### 1.3.2. Žematemperatūrės plazmos reaktoriai

Yra įvairių žematemperatūrės plazmos reaktorių, jų klasifikacija yra sudėtinga ir priklauso nuo keleto charakteristikų tokių kaip:

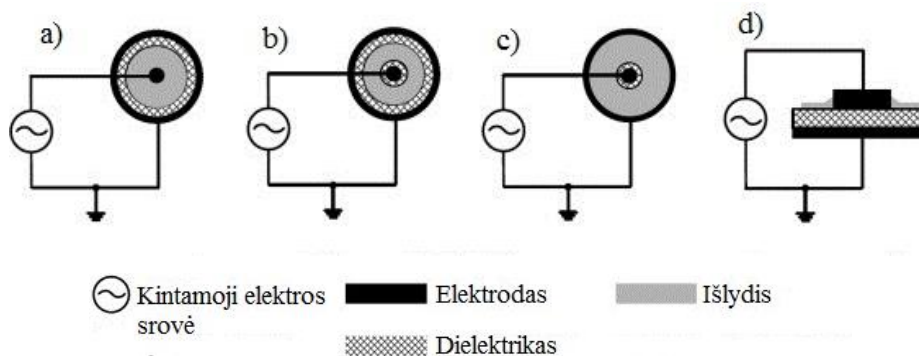
- Išlydžio tipas (nuolatinės srovės ar pulsuojančios srovės „corona“ išlydis, dielektrinis barjerinis išlydis ir t.t.);

- Maitinimo šaltinio tipas (nuolatinės srovės, kintamosios srovės, pulsuojančios srovės, mikrobangų ir t.t.);
- Kitų charakteristikų (elektrodų konfigūracijos, poliariškumo, įtampos dydžio ir t.t.) [30].

### 1.3.3. Dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriai

Dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriai – viena perspektyviausių technologijų. Šiuose reaktoriuose gaunama stabili žemos temperatūros plazma taip pat jie pasižymi didele ozono išeiga. Plačiai ištirtas DBI reaktorių efektyvumas valant nuotekas užterštas organiniais dažais, tyrimai rodo, jog galima pasiekti nuo 90 iki 99 % išvalymo efektyvumą [31, 32].

DBI reaktoriuose plazma gaunama tarp dviejų aukštos įtampos elektrodų, tarp kurių yra įterptas dielektriko sluoksnis. Naudojama kintamoji elektros srovė. Kaip dielektrikas naudojamas stiklas, kvarcas arba keramika. DBI reaktoriai skirstomi į paviršinius ir tūrinius. (žr. 4 pav.). Tūrinio tipo DBI reaktoriuje išlydis vyksta oro tarpelyje, esančiame tarp dielektriko ir elektrodų. Paviršiniame DBI reaktoriuje elektrodas tiesiogiai liečiasi su dielektriku, išlydis vyksta ant dielektriko paviršiaus.



3 pav. DBI reaktorių tipai: a, b, c tūrinių DBI reaktorių konfigūracijos, d) paviršinis DBI reaktorių [30].

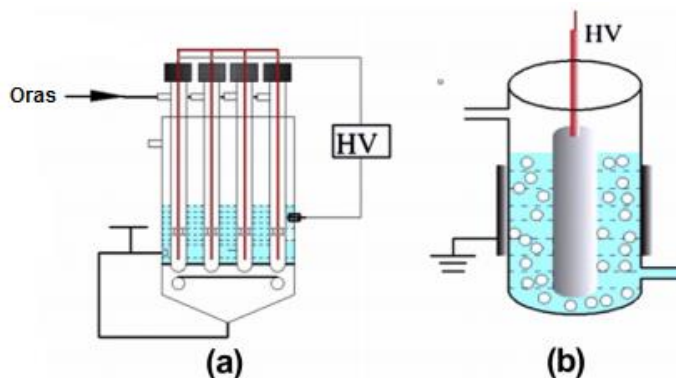
Kelios DBI reaktorių konstrukcijos pavaizduotos 5 – ajame paveikslėlyje.

Naudojant keturių plazmą generuojančių vamzdelių sistemą (žr. pav 5a) buvo atliktas eksperimentas skaidant metilvioleto dažus, šių dažų koncentracija vandenyje buvo 22,4 mg/L. Visiškas spalvos išnykimas buvo stebimas po 30 minučių esant 40 W įtampai ir deguonies padavimo debitui 0,3 m<sup>3</sup>/h [33].

Dar viena galima dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriaus konstrukcija pavaizduota 5b paveikslėlyje. Šiuo atveju plazma generuojama cilindriniam elektrodą ir yra leidžiama per nuotekų sluoksnį. Šio reaktoriaus privalumas tas, kad jame pilnai panaudojami susidarę aktyvūs radikalai taip pat ir ozonas. Atliktuose eksperimentuose su kristalvioleto dažais buvo pastebėta, kad tiek spalvos



nykimas, tiek bendros organinės anglies koncentracijos sumažėjimas didėjo kai buvo didinama naudojamos energijos galia. Visgi didinant energijos galią energijos išeiga mažėja. Didžiausia energijos išeiga (86,3 g/kWh) buvo gauta esant 14 kV įtampai, esant šiai energijos išeigai išvalymo efektyvumas pagal bendros organinės anglies koncentraciją – 86,3 % (pradinė kristalvioleto dažų koncentracija buvo 50 mg/L, tirpalo tūris – 100 ml, oro tiekimo greitis – 200 ml/min, reakcijos trukmė – 10 minučių) [34].



**4 pav. Dielektrinio barjerinio išlydžio reaktorių konfigūracijos: a) plazmą generuojančių vamzdelių sistema, b) cilindrinis reaktorius [30].**

#### **1.3.4. Katalizatoriaus panaudojimas dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriuose**

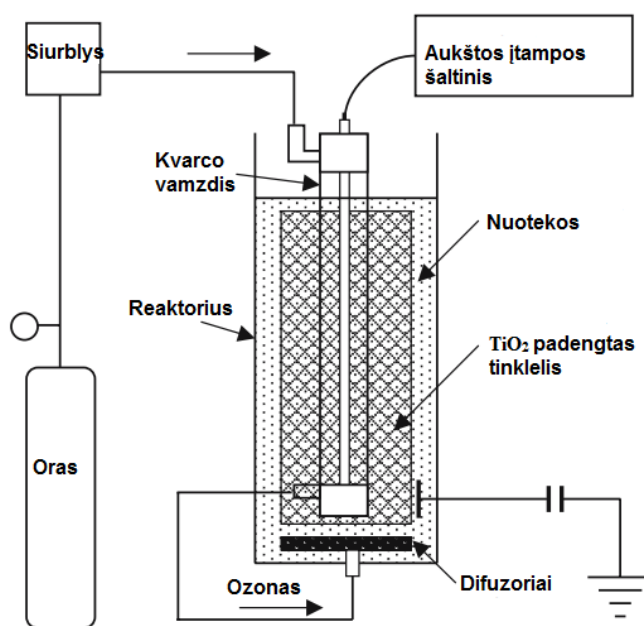
Katalizatorius – tai medžiaga, kuri padidina cheminės reakcijos greitį tačiau pati reakcijoje nėra sunaudojama. Dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriuose vienas plačiausiai naudojamų katalizatorių – tai titano dioksidas ( $\text{TiO}_2$ ). Lyginant su kitais katalizatoriais titano dioksidas pasižymi cheminiu stabilumu taip pat jo panaudojimą lėmė ir tai, jog jis palyginti nebrangus.

Naudojant titano dioksidą išvalymo efektyvumas gali gerokai padidėti. Taip yra dėl to, kad padidinama aktyvių hidroksilo ir superoksido radikalų koncentracija. Šie radikalai yra gaunami fotokatalitinės reakcijos metu. Ši reakcija yra inicijuojama kuomet titano dioksidas yra apšviečiamas UV spinduliais. UV spinduliai dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriuje susidaro dujų išlydžio metu.

Atlikti tyrimai parodė, jog hidroksilo radikalų koncentracija naudojant titano dioksidą dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriuje buvo 1,7 karto didesnė nei tuo atveju kai titano dioksidas buvo nenaudojamas. Visgi titano dioksido panaudojimas dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriuose yra sudėtingas dėl kelių priežasčių. Viena iš jų yra ta, kad titano dioksido miltelius po valymo yra sunku atskirti nuo vandens, kita – jog titano dioksido milteliai vandenyje linkę sulipti, taigi sumažėja paviršiaus plotas ir valymo efektyvumas. Kad šiuos trūkumus pašalinti gali būti suformuojamas titano dioksido nanosluoksnis ant tam tikrų nešančiųjų medžiagų paviršiaus. Nešančiosios medžiagos gali būti įvairios: stiklas, pluoštas, nerūdijantis plienas, neorganinės medžiagos, smėlis, aktyvinta anglis, silicio gelis [29].

Bene labiausiai ištirta ir plačiausiai naudojama nešančioji medžiaga yra aktyvinta anglis. Aktyvinta anglis yra poringa, amorfinė medžiaga, kuri yra gaunama iš anglį turinčių medžiagų, tai gali būti durpės, mediena, riešutų kevalai. Titano dioksido nanosluoksnis suformuojamas ant aktyvintos anglies granulių. Šios granulės maišomos su nuotekomis adsorbuoja teršalus ant paviršiaus. Apšvietus UV spinduliais inicijuojama fotokatalitinė reakcija, susidaro aktyvūs radikalai, kurie adsorbuotus teršalus suskaido ir taip aktyvinta anglis yra regeneruojama ir gali būti toliau naudojama [35].

Kitas galimas  $\text{TiO}_2$  panaudojimo būdas – tai nanosluoksnio suformavimas ant tinklelio (žr. pav. 5). NAGRINĖTAME pavyzdyje buvo naudotas aliuminio vielos tinkelis (120mm · 120 mm), vielos storis buvo 0,6 mm [36].



5 pav. Tinklelio padengto  $\text{TiO}_2$  panaudojimas dielektrinio barjerinio išlydžio reaktoriuje [37].

## Apibendrinimas

Literatūros apžvalgoje analizuota mėsos perdirbimo įmonėje susidarančių nuotekų kiekiai ir jų užterštumas, šių nuotekų valymo metodai bei aptartos žematemperatūros plazmos technologijos.

Mėsos perdirbimo pramonėje susidarančių nuotekų sudėtyje yra kraujo, minkštųjų audinių, pašalintų apipjaustymo metu, kaulų, šlapimo ir fekalijų taip pat gali būti dirvožemio ar šiaudų nuo kailio. Taigi susidarančias nuotekas daugiausia sudaro įvairūs, sunkiai skaidomi organiniai junginiai: riebalai, baltymai esantys tiek kietos tiek ištirpusios formos. Mėsos pramonės nuotekoms dėl minėtų teršalų yra būdingi dideli  $\text{BDS}_5$  (nuo 150 mg/L iki 4635 mg/L) bei ChDS (nuo 500 iki 15 900 mg/L) rodikliai taip pat jose didelė fosforo (nuo 25 iki 200 mg/L) bei azoto koncentracija (nuo 50 iki 841 mg/L).

Nuotekos valomos keliais etapais. Iš pradžių filtruojamos per sietus, čia sulaikomos stambios priemaišos. Tuomet pridėjus koagulantų ir flokulantų išsodinamos smulkios neištirpusios ir koloidinės priemaišos. Toliau nuotekos valomos flotatoriuje, kur naudojant oro burbuliukus iš nuotekų išskiriamos išplaukiančios priemaišos (riebalai). Taip paruoštos nuotekos valomos biologiniame reaktoriuje. Biologiniame reaktoriuje mikroorganizmai teršalus idealiu atveju suskaido iki anglies dvideginio ir vandens. Susidaręs dumblas sėdintuve išsėda, o išvalytos nuotekos yra išleidžiamos į nuotekų priimtuvą. Vienas pagrindinių šios taikomos technologijos trūkumų – nepakankamas išvalymo laipsnis. Taip pat, po valymo nuotekose lieka daug mikroorganizmų. Taigi norint išvalytą vandenį grąžinti į technologinį procesą ar panaudoti jį dar kartą kitoms reikmėms, po biologinio valymo reikia papildomai apdoroti nuotekas. Tam naudojamos membranos arba pažangios oksidacijos metodai.

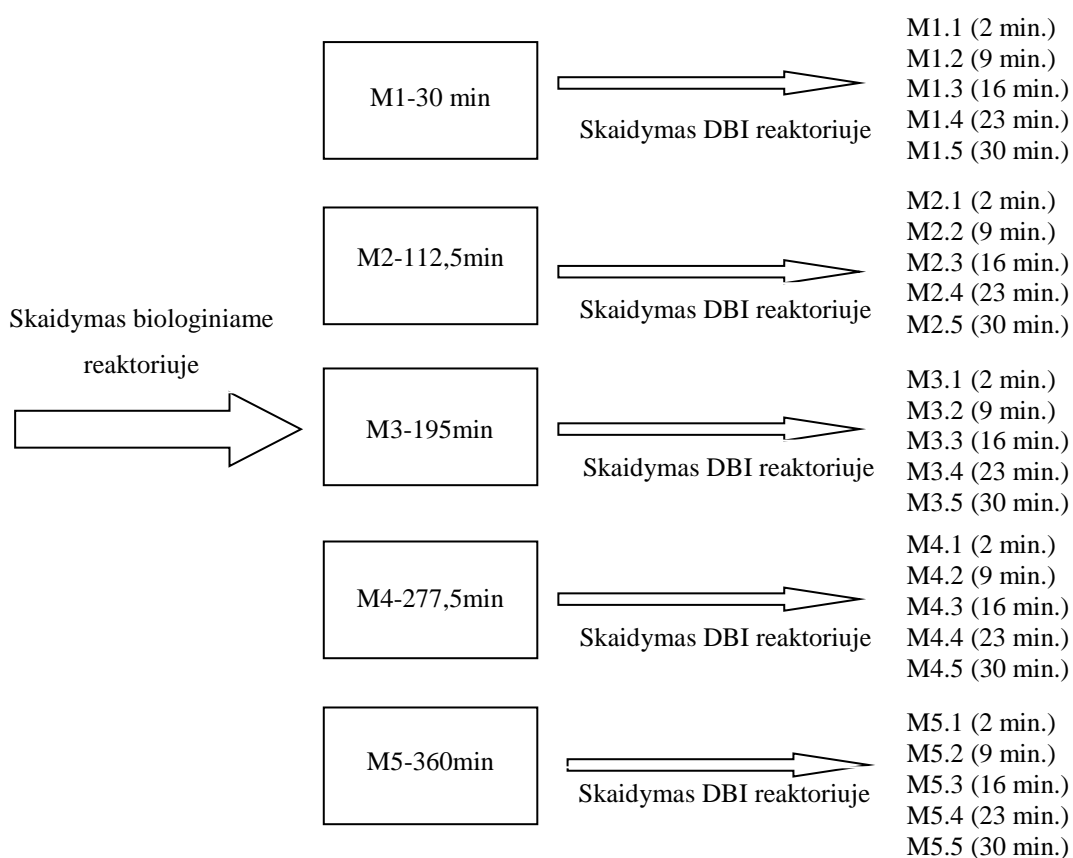
Toliau aptartos žematemperatūros plazmos technologijos. Viena perspektyviausių technologijų žemos temperatūros plazmai gauti – dielektrinio barjerinio išlydžio reaktorius. Pateikiami šių reaktorių tipai bei taikymo pavyzdžiai. Taip pat analizuota katalizatoriaus panaudojimo galimybė šiuose reaktoriuose.

## 2. METODINĖ DALIS

### 2.1. Eksperimento planas

Darbo metu buvo tiriamas mėsos pramonėje susidarančių nuotekų išvalymo efektyvumas taikant kompleksinį biologinio skaidymo bei žematemperatūros plazmos metodą. Efektyvumas buvo tirtas atliekant eksperimentus. Siekiant gauti patikimus rezultatus buvo atliekami pakartojimai. Eksperimento planas sudarytas naudojant programinę įrangą MODE 10, eksperimento rezultatai buvo apdoroti naudojant statistinių duomenų analizės programą IBM SPSS.

Eksperimentą sudaro dvi dalys: pirma – nuotekų skaidymas biologiniame reaktoriuje, antra – nuotekų skaidymas DBI reaktorių sistemoje. Eksperimento metu kintamieji parametrai – nuotekų išbuvimo laikas biologiniame reaktoriuje bei DBI reaktorių sistemoje. Biologiniame reaktoriuje pastovūs parametrai parinkti tokie: aeravimo intensyvumas – 20 l/min, dumblo koncentracija – 2 g/L. Eksperimento metu buvo palaikoma 5 mg/L deguonies koncentracija. DBI reaktoriuje pastovūs parametrai – tai į reaktorių paduodamo oro debitas (11 l/min) bei išlydžio galia – 15% (28,8 W).



6 pav. Eksperimento schema.

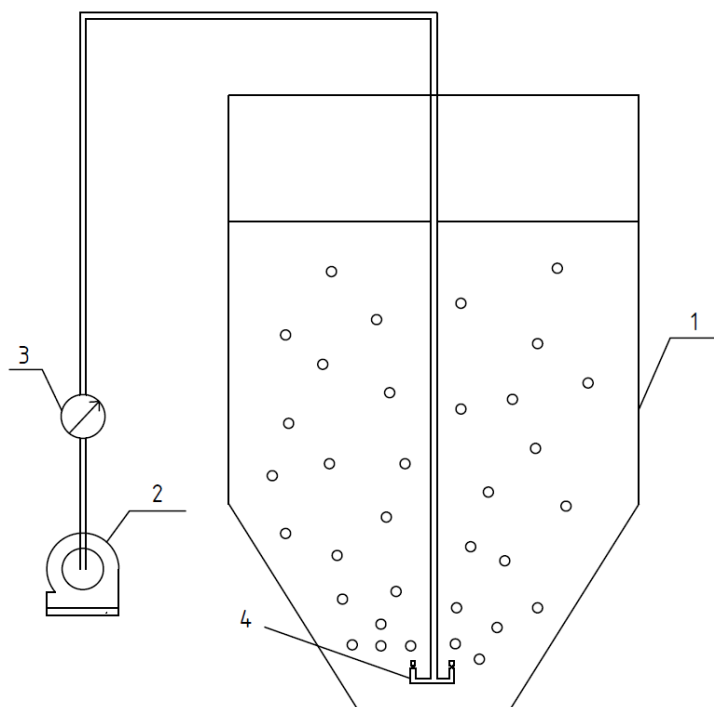
## 2.2. Eksperimento atlikimo metodika

### 2.2.1. Įrangos aprašymas

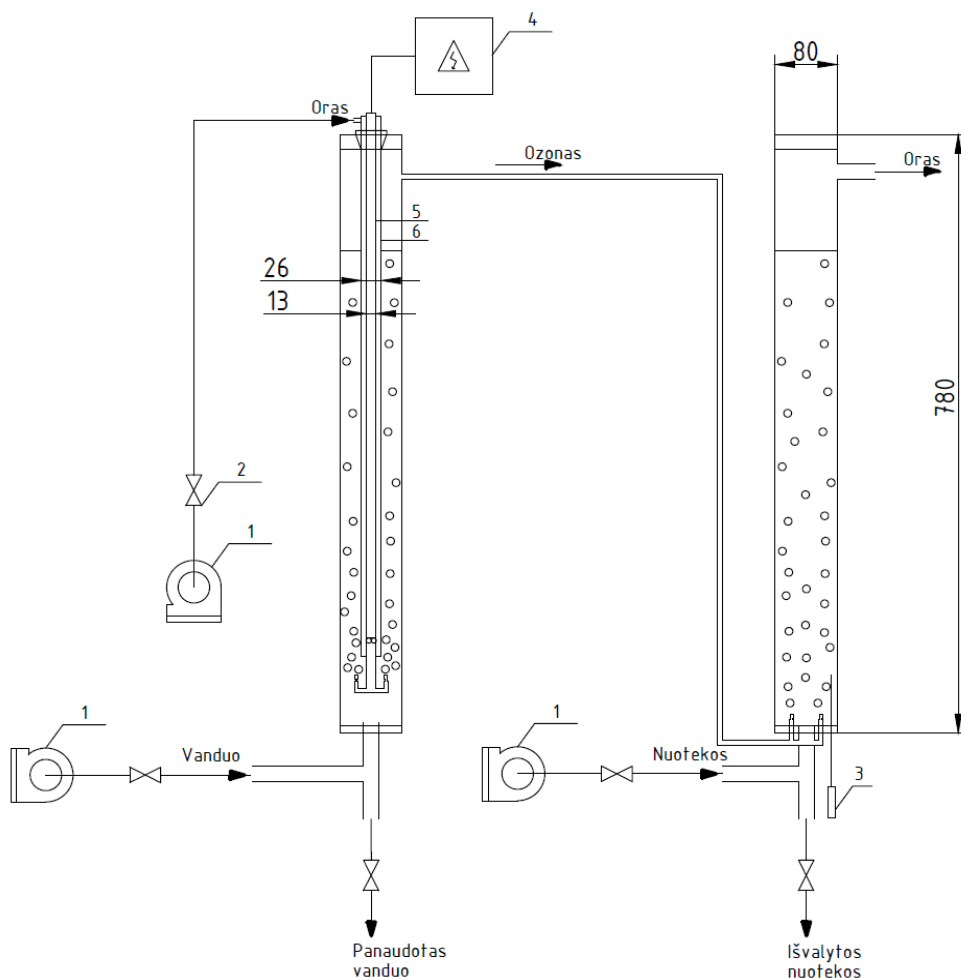
Eksperimentui atlikti naudotas biologinis reaktorius (žr. pav. 7 ) bei DBI reaktorių sistema (žr. pav. 8 ).

Biologinis reaktorius – tai 50L talpos indas. Eksperimento metu šis indas buvo užpildytas nuotekų ir aktyviojo dumblo mišiniu (45L), į reaktorių buvo tiekiamas oras orapūte 2.

DBI reaktorių sistemą sudaro du reakcijos indai, pirmajame reakcijos inde generuojamas ozonas, antrajame gautas ozonas oksiduoja nuotekose esančius teršalus. Pirmajame reakcijos inde įtvirtintas centrinis aukštos įtampos elektrodas (5) bei jį supantis išorinis elektrodas (6). Reakcijos indas pagamintas iš stiklo, jo skersmuo 80 mm, o ilgis 780 mm. Išorinis elektrodas pagamintas iš kvarcinio vamzdelio, jo skersmuo 26 mm, ilgis – 680 mm. Centrinis aukštos įtampos elektrodas pagamintas iš stiklinio vamzdelio ir užpildytas 100 g/L koncentracijos NaCl tirpalu. Ozonas generuojamas naudojant aukštos kintamosios įtampos maitinimo šaltinį (4). Orapūte (1) oras tiekiamas į tarpą esantį tarp centrinio ir išorinio elektrodo, čia veikiant stipriam elektriniam laukui susidaro dielektrinis barjerinis išlydis. Šio išlydžio zonoje iš ore esančio deguonies susidaro ozonas, esant vandens garų gali susidaryti įvairūs aktyvūs radikalai. Šis dujų mišinys difuzoriais išpučiamas į reakcijos indą užpildytą vandeniu, iš šio reakcijos indo ozonas yra paduodamas į antrąjį reakcijos indą, užpildytą nuotekomis.



7 pav. Eksperimentinis biologinis reaktorius: 1 – korpusas, 2 – orapūtė, 3 – rotametas, 4 – difuzoriai.



8 pav. Pilotinė DBI reaktorių sistema: 1 – siurblys, 2 – sklendė, 3 – mėginių paėmimo švirkštas, 4 – aukštos kintamosios įtampos šaltinis.

### 2.2.2. Optimalių eksperimento sąlygų nustatymas

Nuotekų skaidymui DBI sistemoje parinktos šios sąlygos: tiekiamo oro debitas – 11 l/min, DBI galia – 15% (28,8 W). Šios sąlygos parinktos atlikus eksperimentus, kurių metu nustatyta kiek gramų ozono galima gauti sunaudojus 1 kWh elektros energijos esant skirtingoms išlydžio galioms. Eksperimento tikslas – parinkti tokią išlydžio galią, kuriai esant ozono gamyba yra optimaliausia, t.y. mažiausiomis energijos sąnaudomis pagaminti kuo daugiau ozono.

Eksperimento metu buvo keičiama DBI galia (10,6 W, 28,8 W, 54,9 W, 90 W, 133,7 W) bei tiekiamo oro debitas (3 L/min, 7 L/min, 11 L/min, 15 L/min), nustačius ozono koncentraciją išeinančių dujų sraute apskaičiuota ozono išeiga (žr. formulė 1) bei ozono kiekis (žr. formulė 2), kuris yra pagaminamas sunaudojus 1 kWh elektros energijos.

**Ozono nustatymas.** Ozonas buvo nustatinėjamas naudojant standartinį jodometrinį metodą (remtasi šaltiniu [37]). Šiuo tikslu dalis dujų išeinančių iš DBI reaktoriaus buvo paimama naudojant specialų siurbli ir jose esantis ozonas absorbuojamas impindžeryje esančiu absorbciniu kalio jodido

tirpalu. Toliau kalio jodido tirpalas titruojamas natrio tiosulfatu ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ). Titravimo metu nustačius impindžeryje susidariusį jodo kiekį, apskaičiuojama tiriamosiose dujose esanti ozono koncentracija.

**DBI galios nustatymas.** DBI galia buvo nustatinėjama naudojant Lissajous metodą (remtasi šaltiniu [38]), kurio metu nustatoma DBI reaktoriaus išlydžio galia naudojant osciloskopą. Bendra prietaiso galia nustatoma naudojant tinklo elektros sąnaudų matuoklį. Pagal šių prietaisų parodymus apskaičiuojama galia.

Nustačius ozono koncentraciją iš DBI reaktoriaus išeinančių dujų sraute apskaičiuojama ozono išėiga:

$$A = \frac{C_{\text{ozono}} \cdot Q_{\text{oro}} \cdot 60}{1000}; \quad (1)$$

Čia A – ozono išėiga, g/h;

$C_{\text{ozono}}$  – ozono koncentracija iš DBI reaktoriaus išeinančių dujų sraute, mg/L;

$Q_{\text{oro}}$  – oro padavimo į DBI reaktorių debitas, L/min.

Nustačius DBI galią apskaičiuojama kiek ozono galima pagaminti sunaudojus 1 kWh elektros energijos:

$$E = \frac{A}{P \cdot 1000}; \quad (2)$$

Čia E – energijos sąnaudos, g/kWh;

A – ozono išėiga, mg/L;

P – DBI galia, W.

### 2.2.3. Eksperimento eiga

Ekperimentui reikalingos nuotekos imtos iš UAB „Klaipėdos mėsinė“, aktyvusis dumblas iš UAB „Kauno vandenys“. Toliau atliekami tokie veiksmai:

1. 30 litrų nuotekų ir 15 litrų aktyviojo dumblo supilama į biologinį reaktorių (žr. pav. 7).
2. Įjungiamas orapūtė (2), naudojant rotametą nustatomas aeravimo intensyvumas (20 l/min) ir pradedamas vykdyti biologinis skaidymas (paimamas M0 mėginys).
3. Nustatytais laiko tarpais (žr. pav. 6) iš biologinio reaktoriaus imamas 2,5 litro nuotekų mėginys M1, M2, M3, M4, M5.

4. Paėmus nuotekų mėginį leidžiama nusėsti dumbliui (palaukiama apie 30 min) tuomet į mėgintuvėlį įpilama apie 10 ml nuotekų ir išmatuojama bendrosios organinės anglies koncentracija (žr. 2.3.4 skyriuje).
5. Pirmasis DBI reaktoriaus reakcijos indas siurbliu (1) užpildomas vandeniu (1,6 L), antrasis reaktorių užpildomas nuskaidrėjusiomis nuotekomis (1,6 L), paimtomis iš biologinio reaktoriaus tam tikrais nustatytais laiko tarpais. Nustačius reikiamas sąlygas (tiekiama oro debitas – 11 l/min, galingumas – 15%) pradedamas nuotekų skaidymas reaktoriuje. Po 2 min nuo proceso pradžios švirkštu paimamas nuotekų mėginys, toliau mėginiai paimami po 9 min, po 16 min, po 23 min ir po 30 min nuo proceso pradžios. Paėmus visus mėginius tirinama bendrosios organinės anglies koncentracija juose.

#### **2.2.4. Bendrosios organinės anglies koncentracijos nustatymas mėginiuose**

Mėginiai buvo analizuojami bendrosios organinės anglies analizatoriumi. Prieš juos analizuojant reikia paruošti mėginius. Paruošimas vykdomas taip:

- 10 ml mėginio filtruojama per filtro popierėlį;
- Nufiltruotas mėginys parūgštinamas 1 ml sieros rūgšties;
- Parūgštinus mėginį pro jį burbuliuojamos azoto dujos tam, jog pašalinti neorganinę anglį ( $\text{CO}_2$ ).

Taip paruoštas mėginys toliau analizuojamas bendrosios organinės anglies analizatoriuje.

#### **2.2.5. Mikroorganizmų skaičiaus vandenyje nustatymas**

Mikroorganizmų skaičius vandenyje nustatytas tiriamuosius mėginius išsėjant į agarizuotas mitybines terpes, kuriose užauga mikroorganizmų kolonijos. Šiuo metodu nustatomas gyvybingų ląstelių skaičius.

Pirma buvo paruošta mitybinė terpė. Atsivėrus reikiamą kiekį mitybinės terpės ji pilama į kolbą, užpilama distiliuotu vandeniu ir tirpinama vandens vonioje tol, kol ištirpsta. Ištirpus kolba užkemšama kamščiu ir statoma į autoklavą. Autoklavuojama 1 atm slėgyje trisdešimt minučių. Išautoklavuota terpė išpilstoma į sterilias Petri lėkšteles (po 20 ml). Lėkštelės paliekamos tol, kol terpė sustingsta, paskui apverčiamos dugnu į viršų ir statomos į termostatą (nustatoma 20 – 21°C temperatūra), kad išgaruotų kondensacinis vanduo.

Sėjimas atliktas paviršiniu būdu, sterilia pipete paimamas vanduo ir į Petri lėkštelę ant mitybinės terpės paviršiaus užpilama 1 ml, kiekvienas išsėjimas kartojamas 3 kartus. Į Petri lėkšteles buvo išsėtas mėginys M4 (po biologinio skaidymo ir po skaidymo DBI reaktoriuje, žr. pav. 6) bei nulinis mėginys



(jame buvo tik agarizuota mitybinė terpė). Po išsėjimo lėkštelės paliekamos pastovėti 5 – 10 min kol vanduo susigeria į terpę, paskui lėkštelės apverčiamos dugnais į viršų ir dedamos į termostatą (nustatoma 30° C temperatūra).

Bakterijų kolonijos skaičiuojamos po 48 valandų inkubacijos termostate. Jei kolonijų skaičius viršija 500 jos neskaiciuojamos, priimama, jog mikroorganizmų augimas yra masinis.

### 3. REZULTATAI

#### 3.1. DBI reaktoriaus technologinių parametru parinkimas

Eksperimento metu buvo keičiama DBI galia bei tiekiamo oro debitas (žr. lent. 3), nustačius ozono koncentraciją išeinančių dujų sraute apskaičiuota ozono išeiga (žr. formulę 1) bei ozono kiekis, kuris yra pagaminamas sunaudojus 1 kWh energijos (žr. formulę 2). Gauti rezultatai pateikti lentelėje.

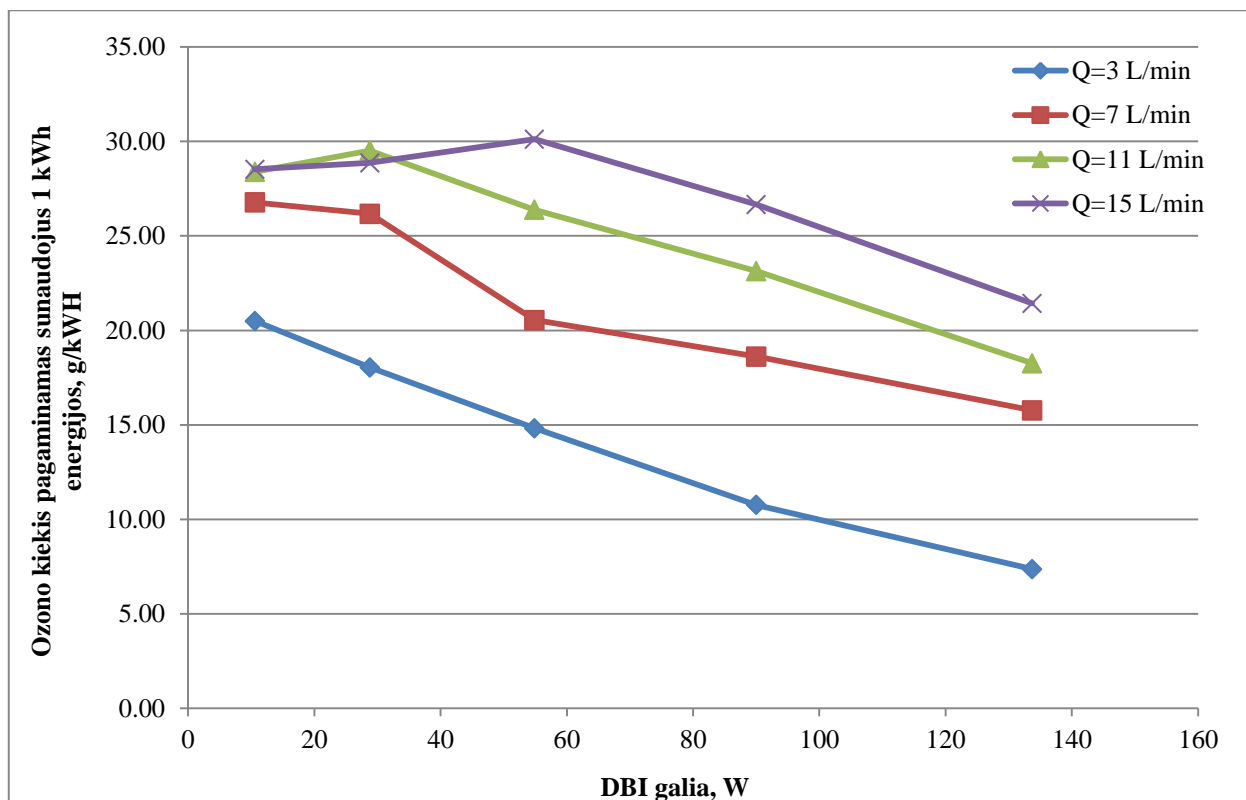
**3 lentelė. DBI reaktoriaus technologinių parametru įtaka ozono gamybai.**

DBI galia, W	Oro padavimo debitas, L/min											
	3	7	11	15	3	7	11	15	3	7	11	15
	Ozono konc., mg/L				Ozono išeiga, g/h				Energijos sąnaudos, g/kWh			
10,6	1,21	0,68	0,46	0,34	0,217	0,284	0,301	0,302	20,50	26,78	28,39	28,53
28,8	2,89	1,79	1,29	0,92	0,520	0,754	0,850	0,831	18,04	26,17	29,52	28,87
54,9	4,52	2,69	2,19	1,84	0,814	1,128	1,448	1,654	14,82	20,55	26,38	30,12
90	5,38	3,99	3,16	2,67	0,969	1,676	2,083	2,400	10,77	18,62	23,14	26,67
133,7	5,47	5,02	3,70	3,18	0,985	2,108	2,442	2,866	7,37	15,77	18,26	21,43

Iš gautų duomenų nubraižytas grafikas (žr. pav. 9) vaizduojantis kiek gramų ozono galima sugeneruoti sunaudojus 1 kWh elektros energijos esant skirtingoms DBI galioms bei skirtingam tiekiamo oro debitui.

Iš grafiko matyti, jog didėjant tiekiamo oro debitui pagaminamas ozono kiekis (g/kWh) didėja. Taip pat analizuojant duomenis pastebėta, jog didėjant DBI galiai energijos sąnaudos didėja, t.y. pagaminamo ozono kiekis tenkantis 1 kWh elektros energijos mažėja.

Eksperimentui parinktos optimalios sąlygos (DBI galia 28,8 W, tiekiamo oro debitas – 11L/min), kuriomis sunaudojus 1 kWh energijos yra pagaminama 29,52 g ozono.



9 pav. DBI reaktoriuje pagaminto ozono kiekio sunaudojus 1kWh elektros energijos priklausomybė nuo DBI galios.

## 3.2. Nuotekų išvalymo efektyvumas

### 3.2.1. Nuotekų išvalymo efektyvumas biologiniame reaktoriuje

Tyrimo metu buvo išmatuota bendrosios organinės anglies (BOA) koncentracija pradiniam mėginyje ( $C_0$ ) bei mėginiuose M1, M2, M3, M4 bei M5 po tam tikro išbuvimo laiko biologiniame reaktoriuje (žr.pav. 6). Iš gautų duomenų apskaičiuotas nuotekų išvalymo efektyvumas:

$$Efektyvumas, \% = \frac{C_0 - C}{C_0} \cdot 100\%; \quad (3)$$

Čia  $C_0$  – bendrosios organinės anglies koncentracija pradiniam mėginyje, mg/L;

$C$  – bendrosios organinės anglies koncentracija tiriamajame mėginyje, mg/L.

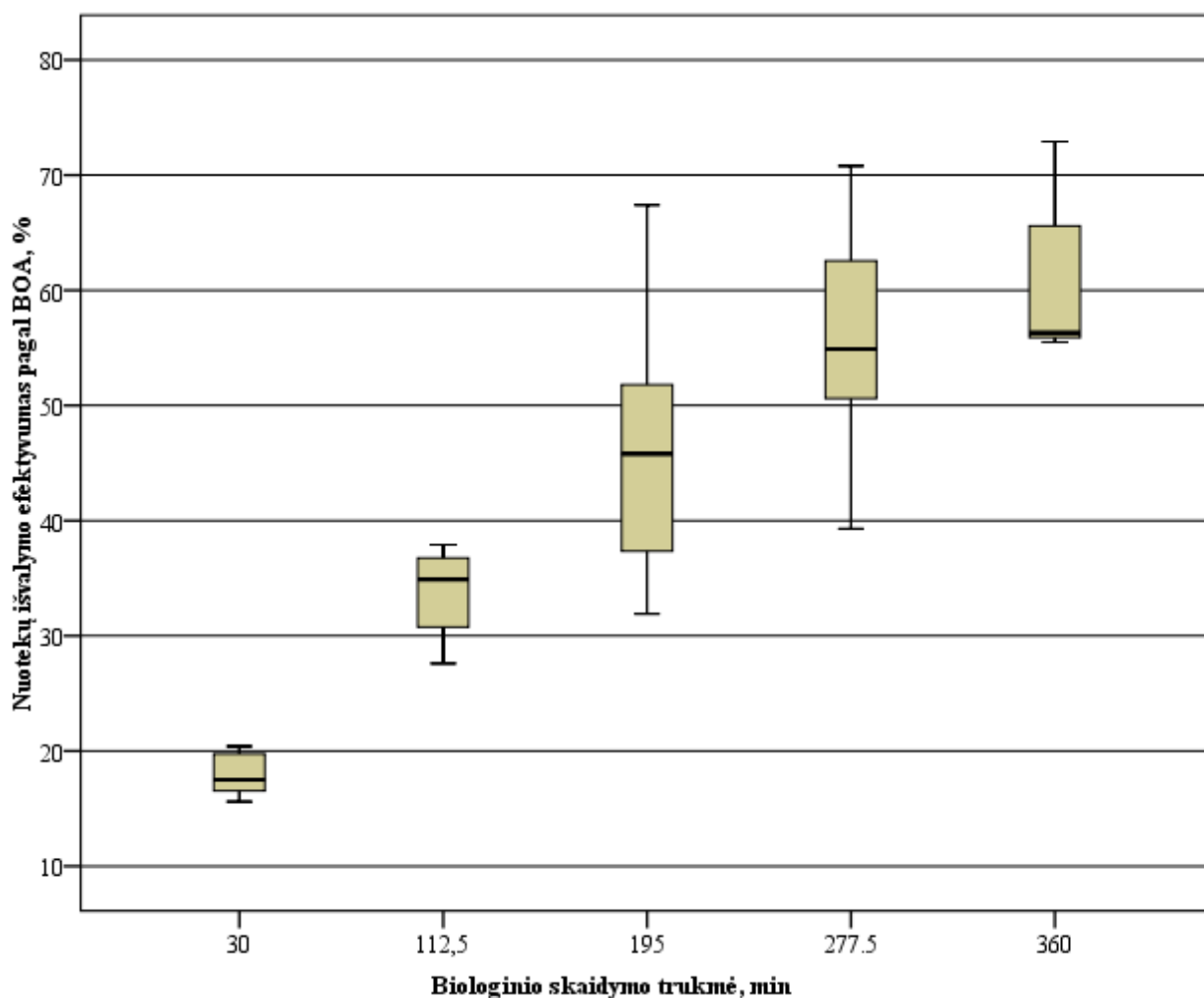
Buvo atlikti 7 pakartojimai, gauti duomenys pateikiami 1 – ajame priede. Gautiems duomenims analizuoti buvo naudojama statistinių duomenų analizės programa IBM SPSS. Toliau pateikiamoje lentelėje nurodomas vidutinis, minimalus ir maksimalus nuotekų išvalymo efektyvumas taip pat apskaičiuotas vidutinis standartinis nuokrypis ir mediana.

**4 lentelė. Nuotekų išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo skaidymo trukmės biologiniame reaktoriuje.**

Statistiniai rodikliai	Biologinio skaidymo trukmė, min				
	30	112,5	195	277,5	360
Vidurkis, %	19,17	36,31	46,20	55,90	61,10
Mediana, %	17,50	34,90	45,80	54,90	56,30
Standartinis nuokrypis	4,43	9,68	12,09	11,15	7,38
Minimali reikšmė, %	15,60	27,60	31,90	39,30	55,50
Maksimali reikšmė, %	28,50	56,70	67,40	70,80	72,90

\*Pradinis nuotekų užterštumas pagal BOA lygus 119 mg/L.

10 paveikslėlyje pateiktas „dėžės – ūso“ grafikas. Šiame grafike galima matyti kintamojo (šiuo atveju nuotekų skaidymo efektyvumo) imties centrą, išsibarstymo bei maksimalios ir minimalios reikšmių vaizdą. Stačiakampis („dėžė“) braižomas nuo apatinio kvartilio iki viršutinio kvartilio, jis padalintas brūkšniu į dvi dalis ties mediana. Nuo stačiakampio šono brėžiami „ūsai“ – į viršų iki maksimalios ir į apačią iki minimalios reikšmės [39].



**10 pav. Nuotekų išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo biologinio skaidymo trukmės.**

Akivaizdu, jog nuotekų skaidymo efektyvumas didėja ilgėjant biologinio skaidymo trukmei. Iš gauto „dėžės – ūso“ grafiko taip pat galima daryti išvadą, jog duomenų išsibarstymas kintant skaidymo trukmei nevienodas. Esant skaidymo trukmei 30 min gauti duomenys glaudūs, t.y. skirtumas tarp maksimalios ir minimalios reikšmės palyginti nedidelis. Esant ilgesnei skaidymo trukmei gautas mažesnis duomenų glaudumas. Tai galima paaiškinti tuo, jog biologinis procesas yra sunkiai kontroliuojamas ir priklauso nuo nuotekų užterštumo, kadangi eksperimentų metu nuotekos buvo imtos skirtingu laiku, jų užterštumas buvo nevienodas, taigi tai ir galėjo lemti duomenų išsibarstymą.

Iš grafiko taip pat galima matyti, jog nuotekų išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo biologinio skaidymo trukmės nėra tiesinė, didesnis išvalymo efektyvumo padidėjimas stebimas pradžioje. Lyginant rezultatus gautus po 277,5 minučių ir po 360 minučių skaidymo pastebėta, jog išvalymo efektyvumas kito tik keliais procentais (54,90 % ir 56,30 % atitinkamai) taigi galima daryti išvadą, jog tarša mažėja tik iki tam tikro laiko ir toliau skaidyti biologiniame reaktoriuje būtų ekonomiškai neefektyvu. Dėl šios priežasties kaip optimali skaidymo trukmė pasirinkta 277,5 minutės.

Apibendrinus galima daryti išvadą, jog biologinis aerobinis procesas yra efektyvi priemonė valant mėsos pramonės nuotekas. Lyginant šiame darbe gautus rezultatus su literatūroje analizuotais pavyzdžiais pastebėta, jog didesnis išvalymo laipsnis gautas esant ilgesnei nuotekų išbuvimo trukmei biologiniame reaktoriuje. Analizuotuose tyrimuose biologinio skaidymo trukmė svyravo nuo 12 valandų iki 24 dienų. Taigi šiame tyrime pasirinkta biologinio skaidymo trukmė palyginti trumpa, tokį pasirinkimą lėmė tai, jog nuotekos po biologinio skaidymo toliau apdorojamos DBI reaktorių sistemoje, taigi tikslas nėra pasiekti kuo didesnę išvalymo laipsnį biologinio proceso metu, svarbus bendras išvalymo efektyvumas pasiektas taikant kompleksinį biologinio skaidymo – žematemperatūros plazmos metodą.

Palyginimui pateikiami kelių nagrinėtų tyrimų rezultatai, kurie patvirtina, jog norint pasiekti aukštą išvalymo laipsnį reikalinga ilga nuotekų išbuvimo trukmė biologiniame reaktoriuje.

Sroka ir kt. tyrė biologinio skaidymo efektyvumo priklausomybę nuo technologinių parametrų tokių kaip veikliojo dumblo apkrovos, aeravimo intensyvumo, nuotekų išbuvimo trukmės aerotanke. Tyrimų metu dumblo apkrova buvo keičiama nuo 0,05 iki 0,75 ChDS/g sauso dumblo per dieną, rezultatai rodo, jog didinant dumblo apkrovą mėsos pramonės nuotekų išvalymo efektyvumas mažėjo. Nuotekų išbuvimo trukmė bioreaktoriuje buvo keičiama nuo 6 iki 15 valandų, iš gautų rezultatų padaryta išvada, jog didinant išbuvimo trukmę išvalymo efektyvumas didėja. Aeravimo intensyvumas buvo keičiamas nuo 420 iki 840 dm<sup>3</sup>/h, didinant aeravimo intensyvumą nuotekų išvalymo laipsnis didėja. Tyrimų metu nustatyta, jog esant optimaliems parametrams (dumblo apkrova – 0,15 g ChDS/g sauso dumblo per dieną, aeravimo intensyvumas – 840 dm<sup>3</sup>/h, nuotekų išbuvimo trukmė – 12 valandų) mėsos pramonės nuotekų išvalymo efektyvumas pagal ChDS rodiklį – 98,1%, pagal BDS rodiklį – 99,6%, fosforo ir azoto išvalymo efektyvumas yra atitinkamai 87,3 ir 98,2% [40, 41].

Bustillo Lecompte ir kt. taip pat atliko tyrimą skaidant mėsos pramonės nuotekas biologiniame aerobiniame reaktoriuje. Skaidymo efektyvumas biologiniame aerobiniame reaktoriuje buvo tirtas esant 3,34 ml/min srauto greičiui bei 7 dienų nuotekų išbuvimo trukmei, ištirpusio deguonies koncentracija buvo palaikoma apie 2 mg/L. Nuotekos pagal būdingus mėsos pramonės nuotekoms rodiklius buvo sintetinės laboratorijoje. Esant nuotekų užterštumui pagal BOA koncentraciją 1008 mg/L, pagal bendro azoto koncentraciją 254 mg/L gautas išvalymo efektyvumas yra 95,03% ir 73,46% atitinkamai pagal BOA bei bendro azoto koncentraciją. Esant mažesniai nuotekų užterštumui (BOA koncentracija mažesnė nei 1000 mg/L, bendro azoto mažiau nei 250 mg/L) gaunamas mažesnis nuotekų išvalymo efektyvumas, esant didesniai nuotekų užterštumui (BOA koncentracija didesnė nei 1000 mg/L, bendro azoto daugiau nei 250 mg/L) išvalymo efektyvumas didesnis. Taip pat pastebėta, jog išvalymo efektyvumas didėja didėjant nuotekų išbuvimo trukmei [27].

Mėsos pramonės nuotekų išvalymo efektyvumą biologiniame aerobiniame reaktoriuje taip pat tyrė Hsiao ir kt. Eksperimento metu nuotekos buvo imtos po parengtinio valymo (nufiltravus nuotekas per sieta, kurio akučių dydis 1mm). Reaktoriuje buvo palaikoma 3 mg/L ištirpusio deguonies koncentracija. Į reaktorių įtekančių nuotekų užterštumas pagal ChDS rodiklį siekė 750 mg/L. Kaip ir prieš tai aptartame tyrime buvo pastebėta, jog didinant nuotekų išbuvimo laiką pasiekiamas didesnis išvalymo laipsnis, šiuo atveju po 4,8 dienos pasiektas 94,4% išvalymo efektyvumas pagal ChDS rodiklį, po 24,3 – 97,2% [42].

### **3.2.2. Bendras nuotekų išvalymo efektyvumas po skaidymo kompleksinėje biologinio valymo – žematemperatūros plazmos sistemoje**

Bendras nuotekų išvalymo efektyvumas buvo apskaičiuotas išmatavus BOA koncentraciją pradiniam mėginyje (C0) ir mėginiuose M1.1., M1.2, ..., M5.5 (žr. 6 pav.) po skaidymo biologiniame reaktoriuje bei DBI reaktorių sistemoje. Efektyvumas apskaičiuotas pagal 3 formulę.

Gauti rezultatai pateikiami 2 – priede. Gautiems duomenims analizuoti buvo naudojama statistinių duomenų analizės programa IBM SPSS. Toliau pateikiamoje lentelėje nurodomas vidutinis, minimalus ir maksimalus nuotekų išvalymo efektyvumas taip pat apskaičiuotas vidutinis standartinis nuokrypis ir mediana.

**5 lentelė. Nuotekų išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo jų išbuvo trukmės biologiniame reaktoriuje bei DBI reaktorių sistemoje.**

<b>Biologinio skaidymo trukmė – 30 minučių</b>					
Statistiniai rodikliai	Nuotekų išbuvo trukmė DBI reaktoriuje, min				
	2	9	16	23	30
Vidurkis, %	25,79	28,51	31,13	33,40	37,14
Mediana, %	21,60	29,60	29,90	33,50	35,60
Standartinis nuokrypis	7,27	7,38	8,28	8,38	10,30
Minimali reikšmė, %	18,50	18,90	21,40	19,70	25,00
Maksimali reikšmė, %	36,80	39,00	43,40	43,70	53,60
<b>Biologinio skaidymo trukmė – 112,5 minučių</b>					
Statistiniai rodikliai	Nuotekų išbuvo trukmė DBI reaktoriuje, min				
	2	9	16	23	30
Vidurkis, %	42,86	44,96	47,16	50,21	51,63
Mediana, %	43,50	44,90	50,10	51,40	52,80
Standartinis nuokrypis	8,80	9,53	10,48	8,76	9,36
Minimali reikšmė, %	30,30	31,20	31,60	36,60	37,40
Maksimali reikšmė, %	56,90	60,00	61,30	62,90	63,70
<b>Biologinio skaidymo trukmė – 195 minutės</b>					
Statistiniai rodikliai	Nuotekų išbuvo trukmė DBI reaktoriuje, min				
	2	9	16	23	30
Vidurkis, %	52,13	52,39	54,13	56,06	57,80
Mediana, %	53,00	55,80	57,70	60,20	62,90
Standartinis nuokrypis	9,20	12,50	11,36	10,97	10,96
Minimali reikšmė, %	38,60	33,80	37,00	40,50	42,70
Maksimali reikšmė, %	68,40	70,30	70,30	70,40	71,20
<b>Biologinio skaidymo trukmė – 277,5 minutės</b>					
Statistiniai rodikliai	Nuotekų išbuvo trukmė DBI reaktoriuje, min				
	2	9	16	23	30
Vidurkis, %	58,11	60,21	61,30	62,57	64,06
Mediana, %	56,40	61,90	62,00	64,70	65,60
Standartinis nuokrypis	9,84	10,74	10,34	10,03	9,98
Minimali reikšmė, %	45,70	44,40	45,70	46,60	47,20
Maksimali reikšmė, %	72,00	74,00	74,20	74,50	75,80

<b>Biologinio skaidymo trukmė – 360 minučių</b>					
Statistiniai rodikliai	Nuotekų išbuvimo trukmė DBI reaktoriuje, min				
	2	9	16	23	30
Vidurkis, %	64,53	65,30	67,33	68,50	69,59
Mediana, %	62,30	63,30	64,40	66,00	66,90
Standartinis nuokrypis	6,45	6,08	5,52	5,15	5,81
Minimali reikšmė, %	57,60	57,80	62,80	64,60	65,10
Maksimali reikšmė, %	73,80	74,60	75,50	75,90	79,00

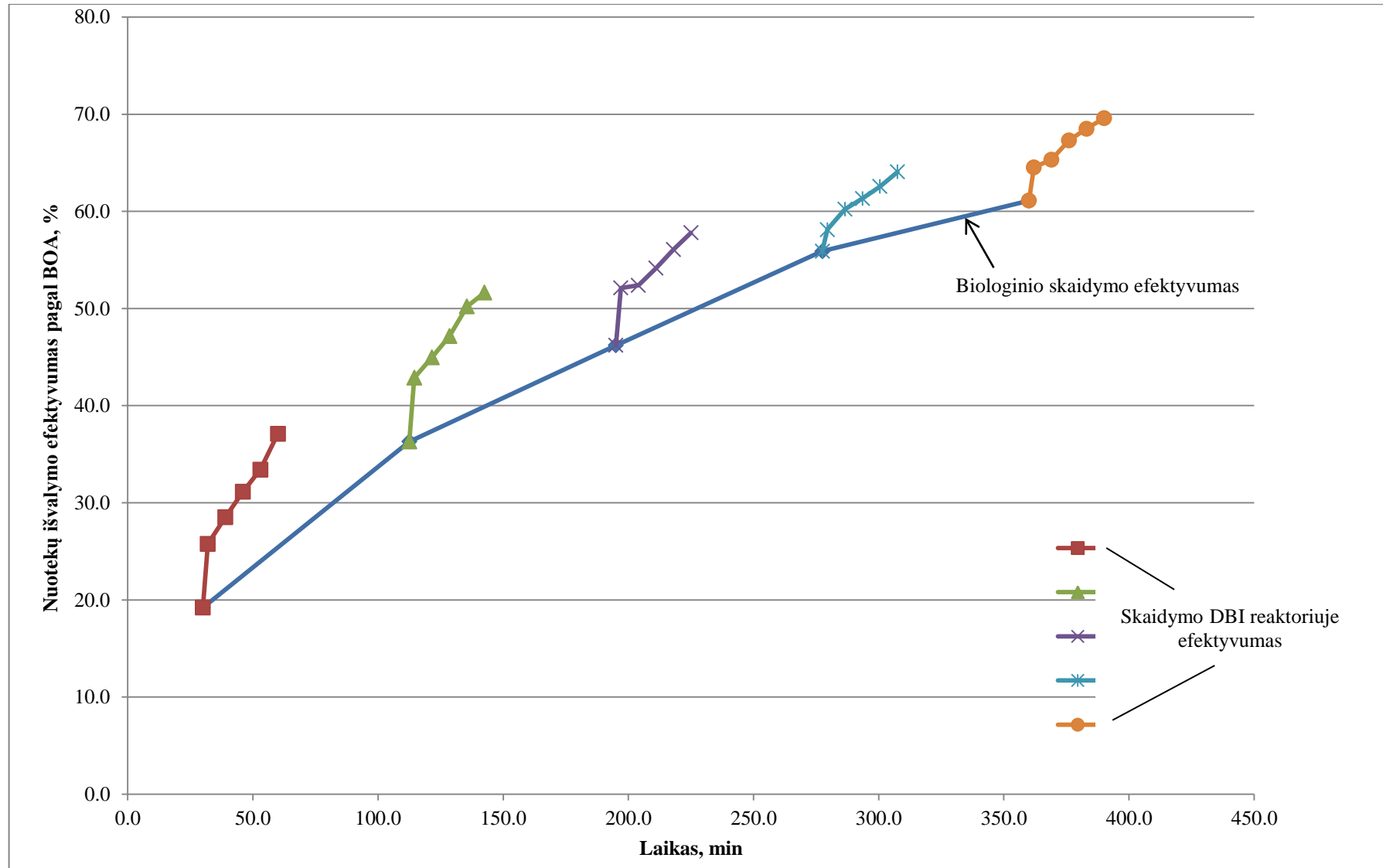
11 paveikslėlyje pateiktas apibendrintas nuotekų išvalymo efektyvumo grafikas. Jame pagrindinė kreivė vaizduoja biologinio skaidymo efektyvumą, papildomos kreivės išvestos iš tam tikrų taškų vaizduoja nuotekų išvalymo efektyvumą DBI reaktorių sistemoje.

Pirmas taškas grafike ( $x = 30$  min,  $y = 19,2$  %) žymi biologinio skaidymo efektyvumą esant 30 minučių skaidymo trukmei, iš šio taško išvesta papildoma kreivė žymi, jog mėginys toliau buvo skaidomas DBI reaktorių sistemoje. Ši papildoma kreivė susideda iš 5 taškų, kurie nusako nuotekų išvalymo efektyvumą esant skirtingai jų išbuvimo trukmei DBI reaktorių sistemoje (2, 9, 16, 23 ir 30 minučių). Šiuo atveju nuotekų išvalymo efektyvumas esant 30 minučių biologinio skaidymo trukmei yra lygus 19,2%, toliau 30 minučių nuotekas skaidant DBI reaktorių sistemoje jų išvalymo efektyvumas buvo padidintas 17,94%, taigi bendras išvalymo efektyvumas lygus 37,14%. Kitus grafike vaizduojamus taškus reikėtų analizuoti analogiškai.

Didžiausias nuotekų išvalymo efektyvumas (69,6%.) gautas kai biologinio skaidymo trukmė lygi 360 minučių, o nuotekų išbuvimo laikas DBI reaktorių sistemoje lygus 30 minučių. Panašūs rezultatai gauti ir tuomet kai nuotekos biologiniame reaktoriuje buvo skaidomos 277,5 minutes, o toliau 30 minučių valomos DBI reaktorių sistemoje, šiuo atveju pasiektas nuotekų išvalymo laipsnis lygus 64,1%.

Kaip jau minėta optimali skaidymo trukmė biologiniame reaktoriuje pasirinkta 277,5 minutės (žr. 3.2.1 sk.). DBI reaktorių sistemoje optimali skaidymo trukmė pasirinkta 30 minučių, po 30 minučių pasiekiamas ne tik didžiausias išvalymo efektyvumas pagal BOA, bet taip pat iš nuotekų yra pašalinami mikroorganizmai. Tuo įsitikinta atlikus išvalytų nuotekų sterilumo tyrimus (žr. lent. 6). Gauti rezultatai rodo, jog po biologinio skaidymo nuotekose yra labai daug mikroorganizmų, o po valymo DBI reaktorių sistemoje mikroorganizmų skaičius ženkliai sumažėja. Kuo ilgesnis nuotekų išbuvimo laikas DBI reaktorių sistemoje, tuo mažiau mikroorganizmų lieka išvalytame vandenyje, po 30 minučių skaidymo DBI reaktorių sistemoje mikroorganizmai visiškai pašalinami (žr. pav. 12).

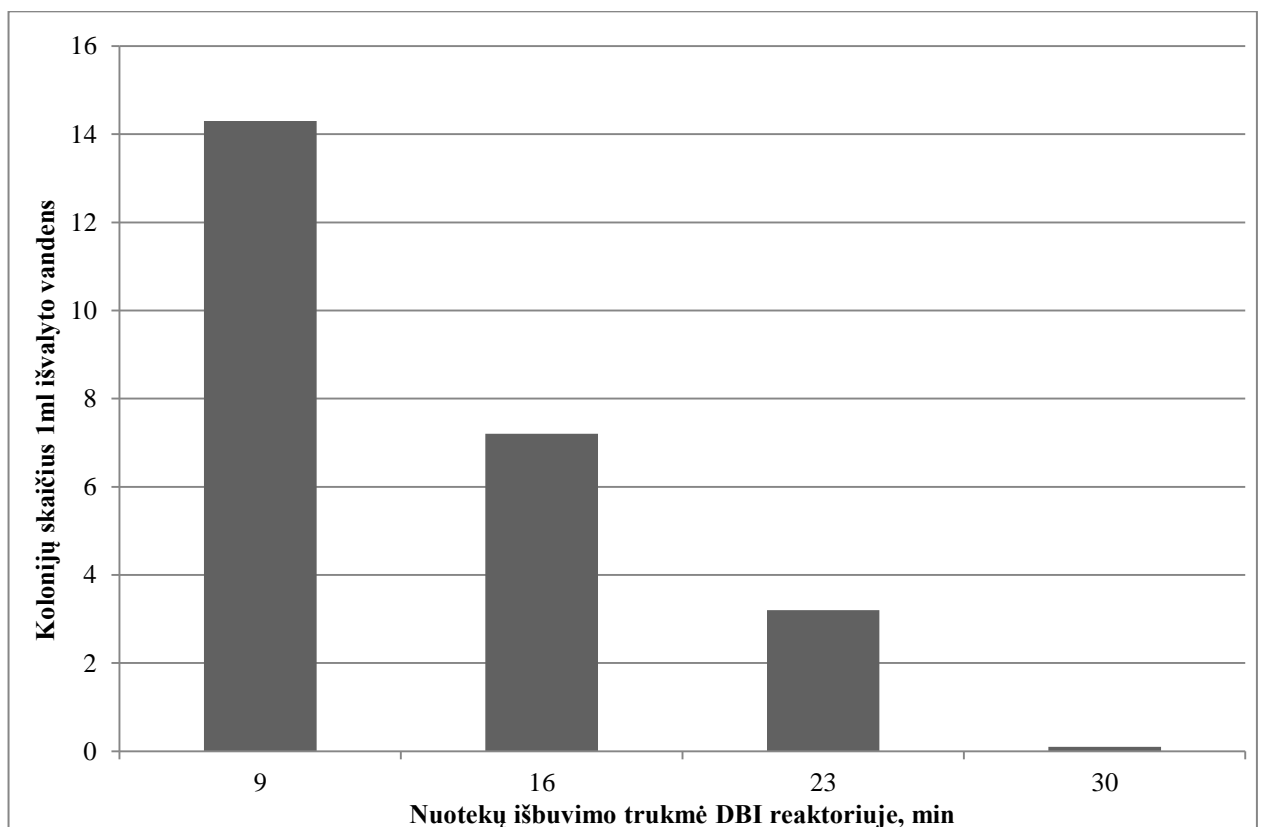




11 pav. Nuotekų išvalymo efektyvumo priklausomybė nuo jų išbuvimo trukmės biologiniame reaktoriuje bei DBI reaktorių sistemoje.

**6 lentelė. Mikroorganizmų skaičius vandenyje po skaidymo biologiniame ir DBI reaktoriuje.**

Mėginio nr.	Kolonijų skaičius 1 ml išvalyto vandens					
M4	Po skaidymo biologiniame reaktoriuje	Po skaidymo DBI reaktoriuje				
		2 min	9 min	16 min	23 min	30 min
	Masinis augimas	Masinis augimas	21	3	4	0
			7	12	5	0
			19	9	4	1
			10	3	2	0
			12	11	1	0
			17	5	3	2
Vidurkis			14,3	7,2	3,2	0,5

**12 pav. DBI reaktoriuje išvalyto vandens mikrobiologinis užterštumas.**

Išanalizavus gautus rezultatus galima daryti išvadą, jog mėsos pramonės nuotekas po valymo biologiniame reaktoriuje papildomai skaidant DBI reaktorių sistemoje galima visiškai pašalinti mikrobiologinę taršą bei padidinti nuotekų išvalymo efektyvumą pagal BOA iki 17,94%. Taip pat tyrimų metu pastebėta, jog nuotekas apdorojus DBI reaktorių sistemoje pašalinamas nemalonus nuotekų kvapas bei būdinga gelsva nuotekų spalva. Lyginant gautus rezultatus su literatūroje

analizuotais pavyzdžiais galima daryti išvadą, jog mėsos pramonės nuotekų išvalymo efektyvumas DBI reaktorių sistemoje yra labai panašus kaip ir naudojant ozonavimo technologiją.

Mokslininkai Wu ir Doanas panašius rezultatus gavo atlikę mėsos pramonės nuotekų ozonavimą. Eksperimento metu mėsos pramonės nuotekos buvo apdorojamos 23,09 mg/min·L ozono srautu. Po 8 minučių pasiektas 99% išvalymo efektyvumas pagal mikroorganizmų skaičių nuotekose. Pagal ChDS ir BDS rodiklius nuotekų išvalymo efektyvumas 10,70% ir 23,60% atitinkamai. Taigi iš gautų rezultatų galima daryti išvadą, jog ozonas yra efektyvus kaip dezinfekcinė priemonė šalinant iš nuotekų mikroorganizmus. Ozono kaip dezinfekcinės priemonės panaudojimas turi keletą privalumų. Tai aplinkai draugiška technologija, priešingai nei naudojant įprastus dezinfektantus tokius kaip chloras ar vandenilio peroksidas, nesusidaro aplinkai kenksmingų junginių. Taip pat vienas privalumų tai, jog ozono pritaikymas yra platus, jis efektyvus naikinant įvairius mikroorganizmus [43].

Mokslininkės Millamena atliktas tyrimas rodo, jog nuotekų išvalymo efektyvumas pagal organines medžiagas gali būti padidintas prailginus nuotekų apdirbimo ozonu laiką. Šiame tyrime nuotekos iš pradžių buvo kaitinamos 90 – 95°C temperatūroje 10 minučių (kaitinant nuotekas nusėda kraujas bei koloidinės dalelės), toliau filtruojamos. Taip paruoštos nuotekos buvo apdorojamos ozonu (110 mg/h) vieną valandą. Nuotekų išvalymo efektyvumas pagal BDS, ChDS rodiklius 42% bei 58% atitinkamai, pagal bendrosios organinės anglies koncentraciją 42%. Nuotekas apdorojus ozonu taip pat buvo pastebėtas nemalonaus kvapo bei nuotekoms būdingos raudonos spalvos išnykimas [44].

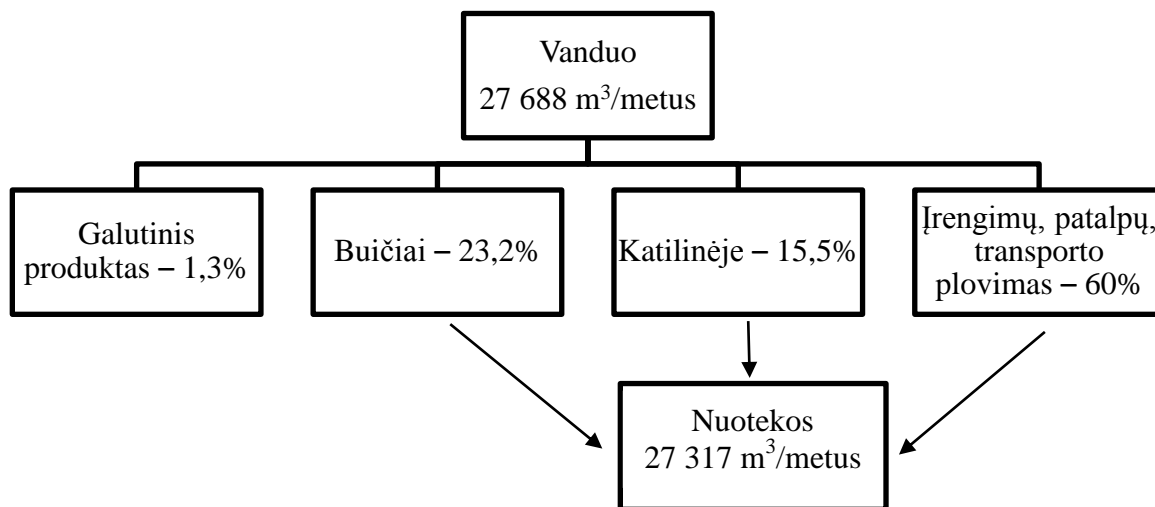
### **3.2.3. Praktinis biologinio – žematemperatūrės plazmos valymo metodo pritaikymas**

Eksperimentų metu nuotekos buvo imamos iš UAB „Klaipėdos mėsinė“ (žr. 2.3.3 sk.). Tai mėsos perdirbimo įmonė, ši įmonė superka skerdieną ir iš jos gamina virtas, šaltai ir karštai rūkytas dešras ir dešreles taip pat paruošia šviežią ir šaldytą mėsą – jautieną, kiaulieną, vištieną, avieną ir kalakutieną.

2015 metų duomenimis ši įmonė per metus sunaudojo 27 700 m<sup>3</sup> vandens (2300 m<sup>3</sup> vandens per mėnesį). Vanduo yra tiekiamas iš bendrovės eksploatuojamo artezinio gręžinio. Daugiausiai vandens sunaudojama patalpų, įrengimų bei transporto plovimui (60%), buityje sunaudojama 23,2 % vandens, katilinėje – 15,5%. Tik 1,3% iš sunaudojamo vandens įeina į galutinio produkto sudėtį, likusi dalis yra nuotekos (žr. pav. 13).

Per metus šioje įmonėje susidaro 27 300 m<sup>3</sup> nuotekų (2200 m<sup>3</sup> nuotekų per mėnesį). Nuotekoms valyti naudojamas flotatorius „UF – 30“, kurio našumas 160 m<sup>3</sup>/d, valymo metu nuotekose sumažinama suspenduotų medžiagų taip pat sumažėja riebalų kiekis bei BDS<sub>7</sub> rodiklis. Taip apvalytos

nuotekos paduodamos į UAB „Pagėgių komunalinis ūkis“. Nuotekų tvarkymui įmonė išleidžia apie 18000 eurų per metus ( $0,65 \text{ eur/m}^3$  nuotekų).



13 Pav. Vandens panaudojimo UAB „Klaipėdos mėsinė“ schema.

Pritaikius nuotekų valymui kompleksinį žematemperatūros plazmos – biologinio valymo metodą apie 50% išvalyto vandens ( $13\,700 \text{ m}^3$  per metus) galėtų būti recirkuliuojama ir panaudojama patalpų bei transporto plovimui. Tai sumažintų įmonės išlaidas nuotekoms valyti, o taip pat būtų sunaudojama mažiau vandens.

Žinant, jog per parą įmonėje susidaro  $74,8 \text{ m}^3$  ( $3,1 \text{ m}^3/\text{val}$ ) nuotekų darbinis biologinio reaktoriaus ir DBI reaktoriaus tūris apskaičiuojamas pagal formulę:

$$V = Q \cdot t; \quad (4)$$

Čia  $V$  – reaktoriaus darbinis tūris,  $\text{m}^3$ ;

$Q$  – nuotekų debitas,  $\text{m}^3/\text{val}$ ;

$t$  – nuotekų išbuvimo trukmė reaktoriuje, val.

Optimali nuotekų išbuvimo trukmė biologiniame reaktoriuje yra 4,7 valandos (280 minučių), taigi biologinio reaktoriaus darbinis tūris bus lygus:

$$V_{\text{biol.reakt.}} = 3,1 \cdot 4,7 = 14,6 \text{ m}^3$$

Priimame, jog biologinis reaktorius bus 3 metrų aukščio ( $H=3 \text{ m}$ ) ir 2 metrų skersmens ( $D=2 \text{ m}$ ), tuomet nuotekoms valyti reikės dviejų tokių biologinių reaktorių.

Apskaičiuojamas antrinio nusodintuvo darbinis tūris (priimame, jog nuotekų išbuvimo trukmė 1,5 valandos):

$$V_{antr.nusodintuvo} = 3,1 \cdot 2,5 = 4,7 m^3$$

Apskaičiuojamas reikalingas antrinio nusodintuvo paviršiaus plotas:

$$F = \frac{a \cdot Q}{G}; \quad (5)$$

Čia F – paviršiaus plotas, m<sup>2</sup>;

a – dumblo koncentracija įrenginyje, g/L;

Q – nuotekų debitas;

G – nusodintuvo paviršiaus apkrova aktyviojo dumblo sausomis medžiagomis, kg/(m<sup>2</sup>·h). G reikšmė priklauso nuo dumblo indekso, dumblo recirkuliacijos koeficiento bei dumblo koncentracijos įrenginyje, esant dumblo indeksui 180 mg/L, dumblo koncentracijai 3 mg/L, dumblo recirkuliacijos koeficientui 0,6 paviršiaus apkrova aktyviojo dumblo sausomis medžiagomis bus lygi 3,5 kg/(m<sup>2</sup>·h) [45].

$$F = \frac{3 \cdot 3,1}{3,5} = 2,7 m^2$$

Priimame, jog antrinio nusodintuvo aukštis ir skersmuo bus 2 metrai (H=2 m, D=2 m).

Optimali nuotekų išbuvimo trukmė DBI reaktoriuje yra 0,5 valandos, taigi DBI reaktoriaus darbinis tūris bus lygus:

$$V_{DBI reakt.} = 3,1 \cdot 0,5 = 1,6 m^3$$

Priimame, jog reaktoriaus aukštis bus lygus 2,5 metrai (H=2,5 m), o skersmuo 1 metras (D=1 m)

Pilotiniame DBI reaktoriuje reikalinga elektros energija (kWh) apskaičiuojama žinant, jog DBI reaktoriaus galia yra 28,8 W, o nuotekų išbuvimo trukmė 30 minučių:

$$E = \frac{P \cdot t}{1000}; \quad (6)$$

Čia E – elektros energijos sąnaudos, kWh;

P – galia, W;

t – nuotekų išbuvimo trukmė DBI reaktoriuje, valandomis.

$$E = \frac{28,8 \cdot 0,5}{1000} = 0,014 \text{ kWh}$$

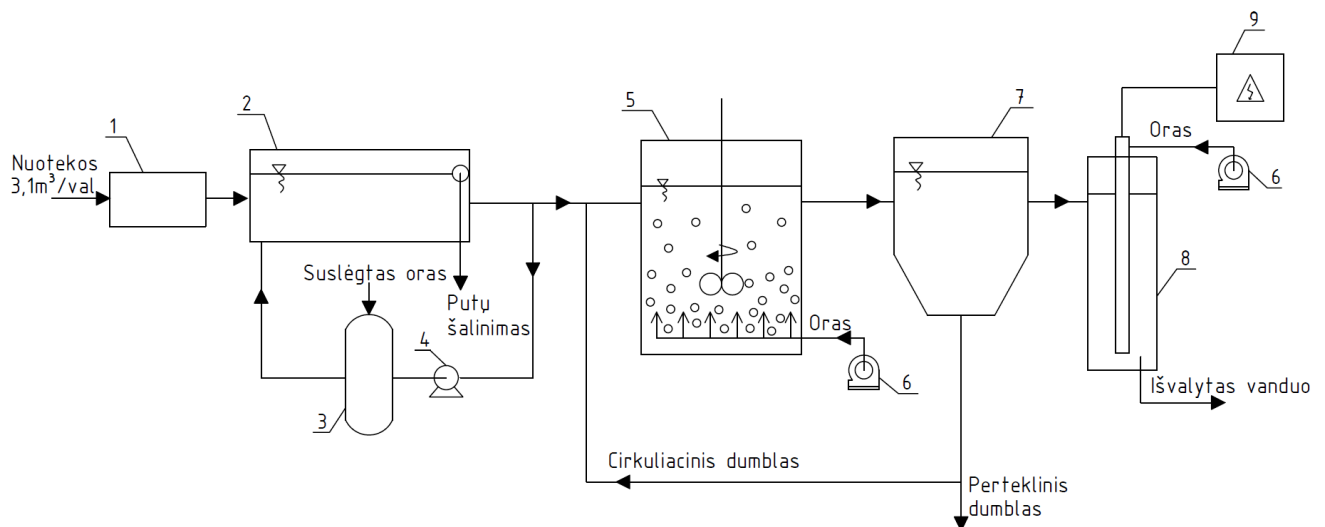
Žinant, jog pilotiniame DBI reaktoriuje 1,6 litro nuotekų apdoroti sunaudojama 0,014 kWh elektros energijos apskaičiuojama kiek elektros energijos reikės apdoroti 1 m<sup>3</sup> nuotekų:

$$E = \frac{0,014 \cdot 1000}{1,6} = 8,8 \text{ kWh/m}^3$$

Per parą įmonėje susidaro 74,8 m<sup>3</sup> nuotekų, taigi per parą elektros energijos bus išnaudojama:

$$E = 8,8 \cdot 74,8 = 660 \text{ kWh}$$

14 Paveikslėlyje pavaizduota principinė „Klaipėdos mėsinės“ nuotekų valymo panaudojant biologinio skaidymo bei žematemperatūrės plazmos metodą schema. Nuotekos iš pradžių praeina per sietą, kur sulaikomos stambios priemaišos. Toliau valomos flotatoriuje, flotacijos metu iš nuotekų išskiriamos išplaukiančios priemaišos (riebalai). Taip paruoštos nuotekos valomos biologiniame reaktoriuje. Paskaičiuota, jog reikalingi 2 biologiniai reaktoriai, kurių aukštis 3 metrai, o skersmuo 2 metrai. Po biologinio valymo dumblas nusodinamas antriniame nusodintuve (H=2 m, D= 2m), o apvalytas vanduo toliau apdorojamas DBI reaktoriuje (H=2,5 m, D=1 m).



**14 pav. „Klaipėdos mėsinės“ nuotekų valymo panaudojant biologinį skaidymą bei žematemperatūrę plazmą principinė schema: 1 – sietas, 2 – flotatorius, 3 – saturatorius, 4 – siurblys, 5 – biologinis reaktorių (N=2, H=3 m, D=2 m), 6 – orapūtė, 7 – antrinis nusodintuvas (H=2 m, D=2 m), 8 – DBI reaktorių (H=2,5 m, D=1 m), 9 – aukštos įtampos maitinimo šaltinis.**

## IŠVADOS

1. Atlikus literatūros analizę išsiaiškinta, jog mėsos pramonės nuotekos įprastai valomos keliais etapais. Pirma, nuotekos praleidžiamos per sieta, kur sulaikomos stambios priemaišos. Toliau nuotekos valomos flotatoriuje, flotacijos proceso metu iš nuotekų išskiriamos išplaukiančios priemaišos (riebalai). Paskutiniame etape nuotekos valomos biologinio valymo įrenginyje. Griežtėjant aplinkosauginiams reikalavimams imta ieškoti naujų, pažangių valymo technologijų, kurios padidintų nuotekų išvalymo laipsnį. Šios technologijos apima membranų bei pažangios oksidacijos metodų panaudojimą.
2. Atlikti technologinių parametrų tyrimai DBI reaktorių sistemoje, kurių metu buvo keičiama DBI galia (10,6 W, 28,8 W, 54,9 W, 90 W, 133,7 W) bei tiekiamo oro debitas (3 L/min, 7 L/min, 11 L/min, 15 L/min). Nustatytos optimalios sąlygos (DBI galia 28,8 W, tiekiamo oro debitas – 11 L/min), kuriomis sunaudojus 1 kWh elektros energijos yra pagaminama 29,52 g ozono.
3. Nustatyta nuotekų išvalymo efektyvumo pagal BOA priklausomybė nuo biologinio skaidymo trukmės. Iš gautų rezultatų galima daryti išvadą, jog ši priklausomybė nėra tiesinė, ženklus išvalymo efektyvumo didėjimas stebimas pradžioje, o toliau po 280 minučių efektyvumas kinta tik keliais procentais. Taigi optimali skaidymo trukmė – 280 minučių. Nuotekų išvalymo efektyvumas DBI reaktorių sistemoje didėja ilgėjant nuotekų išbuvimo trukmei. Optimali išbuvimo trukmė – 30 minučių, per šį laiką nuotekų išvalymo efektyvumą pagal BOA galima padidinti iki 17,94 %, taip pat visiškai pašalinama mikrobiologinė tarša, išnyksta nuotekoms būdinga gelsva spalva bei nemalonius kvapas. Bendras išvalymo efektyvumas pagal BOA esant 280 minučių biologinio skaidymo trukmei bei 30 minučių išbuvimo trukmei DBI reaktorių sistemoje – 65,6 %.
4. Atlikti išvalyto vandens mikrobiologinio užterštumo tyrimai. Gauti rezultatai rodo, jog po biologinio skaidymo apvalytose nuotekose lieka daug mikroorganizmų. Valant nuotekas DBI reaktorių sistemoje mikroorganizmų mažėja, po 30 minučių skaidymo DBI reaktorių sistemoje mikroorganizmai visiškai pašalinami.
5. Apibendrinus kompleksinio biologinio skaidymo bei žematemperatūros plazmos metodo pritaikymo galimybę UAB „Klaipėdos mėsinėje“ padaryta išvada, jog 50 % išvalyto vandens ( $13\,700\text{ m}^3$  per metus) galėtų būti recirkuliuojama ir panaudojama patalpų bei transporto plovimui. Tai sumažintų įmonės išlaidas nuotekoms valyti, o taip pat būtų sunaudojama mažiau vandens. Paskaičiuoti reikalingi biologinio bei DBI reaktoriaus darbiniai tūriai yra lygūs  $14,6\text{ m}^3$  bei  $1,6\text{ m}^3$  atitinkamai. Paskaičiuotos elektros energijos sąnaudos reikalingos DBI reaktoriui yra lygios  $8,8\text{ kWh/m}^3$ .

## LITERATŪRA

- [1] Bustillo – Lecompte, C.F., Mehrvar, M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *Journal of Environmental Management* [interaktyvus]. 2015, 287 – 302 [žiūrėta 2015 metų lapkričio 2 d.]. ISSN 0301 – 4797. Prieiga per: doi:10.1016/j.jenvman.2015.07.008
- [2] Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [interaktyvus]. 2015 [žiūrėta 2016 metų kovo 15 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e05b.htm>
- [3] Mekonnen, M. M., Hoekstra, A. Y. A global assesment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* [interaktyvus]. 2012, 15(3), 401 – 415 [žiūrėta 2016 metų kovo 15 d.]. ISSN 1435-0629. Prieiga per: doi:10.1007/s10021-011-9517-8
- [4] United States Environmental Protection Agency. Technical Development Document for the Final Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Meat and Poultry Products Point Source Category. *United States Environmental Protection Agency* [interaktyvus]. 2004 [žiūrėta 2015 metų lapkričio 2 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.epa.gov/eg/meat-and-poultry-products-effluent-guidelines>
- [5] Council of the European Communities. Urban waste – water treatment directive 91/271/EEC. *EUR – Lex* [interaktyvus]. 1991, [žiūrėta 2016 metų balandžio 26 d.]. Prieiga per internetą: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A31991L0271>
- [6] LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Nuotekų tvarkymo reglamentas*: Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas: 2007 m. spalio 8 d. Nr. D1-515 [interaktyvus] [žiūrėta 2016 metų balandžio 26 d.]. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.924BBACA8125>
- [7] Mittal, G. S. Treatment of wastewater from abattoirs before land application – a review. *Bioresource Technology* [interaktyvus]. 2006, 97 (9), 1119 – 1135 [žiūrėta 2016 metų kovo 12d.]. ISSN 0960-8524. Prieiga per: doi:10.1016/j.biortech.2004.11.021
- [8] Sakalauskas A., Šulga V., Jankauskas J. *VANDENTIEKA Vandens ruošimas*. Vilnius: Technika, 2008. ISBN 978-9955-28-112-2.
- [9] Satyanarayan, S., Ramakant, Vanerkar, A.P. Conventional approach for abattoir wastewater treatment. *Environmental Technology* [interaktyvus]. 2005, 26 (4), 441 – 448 [žiūrėta 2016 metų kovo 12d.]. ISSN 1479-487X. Prieiga per: doi:10.1080/09593332608618554



[10] Amuda, O.S., Alade, A. Coagulation/flocculation process in the treatment of abattoir wastewater. *Desalination* [interaktyvus]. 2006, 196 (1 – 3), 22 – 31 [žiūrėta 2016 metų balandžio 5 d.]. ISSN 0011 – 9164. Prieiga per: doi:10.1016/j.desal.2005.10.039

[11] Nuotekų valymas flotatoriumi. *Allconstructions* [interaktyvus]. 2007 [žiūrėta 2016 metų balandžio 5 d.] Prieiga per internetą:

<http://lt.lt.allconstructions.com/portal/categories/44/1/0/1/article/63/nuoteku-valymas-flotatoriumi>

[12] Johns, M. R. Developments in wastewater treatment in the meat processing industry: a review. *Bioresource Technology* [interaktyvus]. 1995, 54(3), 203 – 216 [žiūrėta 2016 metų vasario 21 d.]. ISSN 0960-8524. Prieiga per: doi:10.1016/0960-8524(95)00140-9

[13] De Sena, R.F., Tambosi, J. L., Genena, A. K., Moreira, R.d.F.P.M., Schröder, H. Fr., Jose, H. J. Treatment of meat industry wastewater using dissolved air flotation and advanced oxidation processes monitored by GC – MS and LC – MS. *Chemical Engineering Journal* [interaktyvus]. 2009, 152(1), 151 – 157 [žiūrėta 2016 metų vasario 15 d.]. ISSN 1385 – 8947. Prieiga per: doi:10.1016/j.cej.2009.04.021

[14] Vanduovis. Nuotekų valymo būdai. *Vanduovis* [interaktyvus]. 2013 [žiūrėta 2016 metų kovo 21 d.]. Prieiga per internetą: <http://nuotekuvalymoirenginiaiainos.lt/nuoteku-valymo-budai/>

[15] Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., Hassell, D. G. A review on anaerobic – aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal* [interaktyvus]. 2009, 155 (1 – 2), 1 – 18 [žiūrėta 2016 metų kovo 21 d.]. ISSN 1385 – 8947. Prieiga per: doi:10.1016/j.cej.2009.06.041

[16] Del Pozo R., Diez V. Organic matter removal in combined anaerobic – aerobic fixed – film bioreactors. *Water Research* [interaktyvus]. 2003, 37(15), 3561 – 3568 [žiūrėta 2016 metų kovo 19 d.]. ISSN 0043 – 1354. Prieiga per: doi:10.1016/S0043-1354(03)00273-2

[17] Račys V., Jankūnaitė D., Urniežaitė I. *Pramoninių nuotekų valymas* [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2016 metų balandžio 13 d.]. Kauno technologijos universiteto elektroninės knygos. ISBN 978-609-433-182-4. Prieiga per: doi:10.5755/e01.9786094331824

[18] Almandoz, M. C., Pagliero, C. L., Ochoa, N. A., Marchese, J. Composite ceramic membranes from natural aluminosilicates for microfiltration applications. *Ceramics International* [interaktyvus]. 2015, 41(4), 5621 – 5633 [žiūrėta 2016 metų sausio 24 d.]. ISSN 0272 – 8842. Prieiga per: doi:10.1016/j.ceramint.2014.12.144

[19] Gürel, L., Büyükgüngör, H. Treatment of slaughterhouse plant wastewater by using a membrane bioreactor. *Water Science and Technology* [interaktyvus]. 2011, 64 (1), 214 – 219 [žiūrėta 2016 metų balandžio 22 d.]. ISSN 1110 – 4929. Prieiga per: doi: 10.2166/wst.2011.677

[20] Yordanov, D. Preliminary study of the efficiency of ultrafiltration treatment of poultry slaughterhouse wastewater. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* [interaktyvus]. 2010, vol. 16, no. 6, p. 700 – 704 [žiūrėta 2016 metų balandžio 22 d.]. Scribd. ISSN 1310 – 0351

[21] Bohdziewicz J., Sroka E. Integrated system of activated sludge–reverse osmosis in the treatment of the wastewater from the meat industry. *Process Biochemistry* [interaktyvus]. 2005, 40(5), 1517–1523 [žiūrėta 2016 metų balandžio 14 d.]. ISSN 1359 – 5113. Prieiga per: doi:10.1016/j.procbio.2003.11.047

[22] He, Y., Xu, P., Li, C., Zhang, B. High – concentration food wastewater treatment by an anaerobic membrane bioreactor. *Water Research* [interaktyvus]. 2005, 39 (17), 4110 – 4118 [žiūrėta 2016 metų gegužės 2 d.]. ISSN 0043 – 1354. Prieiga per: doi:10.1016/j.watres.2005.07.030

[23] Tabrizi, G. B., Mehrvar, M. Integration of advanced oxidation technologies and biological processes: recent developments, trends, and advances. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* [interaktyvus]. 2004, 39 (11 – 12), 3029 – 3081 [žiūrėta 2016 metų gegužės 5 d.]. ISSN 1532 – 4117. Prieiga per: doi:10.1081/LESA-200034939

[24] Luiz, D. B., Genena, A. K., Jose, H. J., Moreira, R. F., Schröder, H. F. Tertiary treatment of slaughterhouse effluent: degradation kinetics applying UV radiation or H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV. *Water Science and Technology* [interaktyvus]. 2009, 60 (7), 1869 – 1874 [žiūrėta 2016 metų balandžio 29 d.]. ISSN 0273 – 1223. Prieiga per: doi: 10.2166/wst.2009.583.

[25] Cao, W., Mehrvar. Slaughterhouse wastewater treatment by combined anaerobic baffled reactor and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Chemical Engineering Research and Design* [interaktyvus]. 2001, 89 (7), 1136 – 1143 [žiūrėta 2016 metų gegužės 1 d.]. ISSN 0263 – 8762. Prieiga per: doi:10.1016/j.cherd.2010.12.001

[26] Bustillo – Lecompte, C. F., Mehrvar, M., Quiñones – Bolaños, E. Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic – aerobic and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Journal of Environmental Management* [interaktyvus]. 2014, 134, 145 – 152 [žiūrėta 2016 metų gegužės 1 d.]. ISSN 0301 – 4797. Prieiga per: doi:10.1016/j.jenvman.2013.12.035

[27] Bustillo – Lecompte, C.F., Mehrvar, M., Quiñones – Bolaños, E. Combined anaerobic – aerobic and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes for the treatment of synthetic slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* [interaktyvus]. 2013, 48 (9), 1122-1135 [žiūrėta 2016 metų gegužės 2 d.]. ISSN 1532 – 4117. Prieiga per: doi:10.1080/10934529.2013.774662

[28] Plasma Treatment for Environment Protection. *Plastep* [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2016 metų balandžio 27 d.]. Prieiga per internetą:

[http://www.plastep.eu/fileadmin/dateien/Downloads/Handbook\\_Final/Handbook\\_Plasma\\_treatment\\_for\\_environment\\_protection.pdf](http://www.plastep.eu/fileadmin/dateien/Downloads/Handbook_Final/Handbook_Plasma_treatment_for_environment_protection.pdf)

[29] Jiang B., Zheng J., Qiu S., Wu M., Zhang Q., Yan Z., Xue Q. Review on electrical discharge plasma technology for wastewater remediation. *Chemical Engineering Journal* [interaktyvus]. 2014, 236, 348 – 368 [žiūrėta 2016 metų gegužės 8 d.]. ISSN 1385 – 8947. Prieiga per: doi:10.1016/j.cej.2013.09.090

[30] Vandenbroucke A. M., Morent R., De Geyter N., Leys C. Non – thermal plasmas for non – catalytic and catalytic VOC abatement. *Journal of Hazardous Materials* [interaktyvus]. 2011, 195, 30 – 54 [žiūrėta 2016 metų gegužės 8 d.]. ISSN 0304 – 3894. Prieiga per: doi:10.1016/j.jhazmat.2011.08.060

[31] Tichonovas M., Krugly E., Račys V., Hippler R., Kaunelienė V., Stasiulaitienė I., Martuzevičius D. Degradation of various textile dyes as wastewater pollutants under dielectric barrier discharge plasma treatment. *Chemical Engineering Journal* [interaktyvus]. 2013, 229, 9 – 19 [žiūrėta 2016 metų gegužės 10 d.]. ISSN 1385 – 8947. Prieiga per: doi:10.1016/j.cej.2013.05.095

[32] Reddy P. M. K., Raju R. B., Karupiah J., Reddy L. E., Subrahmanyam Ch. Degradation and mineralization of methylene blue by dielectric barrier discharge non – thermal plasma reactor. *Chemical Engineering Journal* [interaktyvus]. 2013, 217, 41 – 47 [žiūrėta 2016 metų gegužės 10 d.]. ISSN 1385 – 8947. Prieiga per: doi:10.1016/j.cej.2012.11.116

[33] Chen G., Zhou M., Chen S., Chen W. The different effects of oxygen and air DBD plasma byproducts on the degradation of methyl violet 5BN. *Journal of hazardous materials* [interaktyvus]. 2009, 172 (2 – 3), 786 – 791 [žiūrėta 2016 metų gegužės 11 d.]. ISSN 0304 – 3894. Prieiga per: doi:10.1016/j.jhazmat.2009.07.067

[34] P.M.K. Reddy, Subrahmanyam Ch. Green approach for wastewater treatment degradation and mineralization of aqueous organic pollutants by discharge plasma. *Industrial and Engineering Chemistry Research* [interaktyvus]. 2012, 51(34), 11097 – 11103 [žiūrėta 2016 metų gegužės 13 d.]. ISSN 1520 – 5045. Prieiga per: doi: 10.1021/ie301122p

[35] Ding Z., Hu X., Yue P. L., Lu G. Q., Greenfield P. F. Synthesis of anatase TiO<sub>2</sub> supported on porous solids by chemical vapor deposition. *Catalysis Today* [interaktyvus]. 2001, 68 (1 – 3), 173– 182 [žiūrėta 2016 metų gegužės 14 d.]. ISSN 0920 – 5861. Prieiga per: doi:10.1016/S0920-5861(01)00298-X

[36] Young S. M., Jin – Oh J., Heon – Ju L., Hyun T. A., Jeong T. K. Application of Dielectric Barrier Discharge Reactor Immersed in Wastewater to the Oxidative Degradation of Organic Contaminant. *Plasma Chemistry and Plasma processing* [interaktyvus]. 2007, 27(1), 51 – 64 [žiūrėta 2016 metų gegužės 14 d.]. ISSN 1572 – 8986. Prieiga per: doi:10.1007/s11090-006-9043-1

[37] International ozone association, Quality Assurance Committee. Revised Standardized Procedure 001/96. Iodometric method for the determination of ozone in a process gas. *Ozone Technologies & Systems* [interaktyvus]. 1996 [žiūrėta 2015 metų spalio 22 d.]. Prieiga per internetą: <http://otsil.net/articles/IODIMETRY%20METHOD%20OF%20OZONE%20MEASUREMENT.pdf>

[38] Cai Y., Zhang Y., Wang J., Ran D., Wang J. Measuring DBD main discharge parameters using Q – V lissajous figures. *Researchgate* [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2016 metų gegužės 13 d.]. Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/publication/251925479\\_Measuring\\_DBD\\_main\\_discharge\\_parameters\\_using\\_Q-V\\_Lissajous\\_figures](https://www.researchgate.net/publication/251925479_Measuring_DBD_main_discharge_parameters_using_Q-V_Lissajous_figures)

[39] Butkevičienė E., Vaicekauskaitė A. Antrinė kiekybinių duomenų analizė. *Lietuvos HSM duomenų archyvas (Lida)* [interaktyvus]. 2010 [žiūrėta 2015 metų gegužės 15 d.]. Prieiga per internetą: [http://www.lidata.eu/index.php?file=files/mokymai/kiek2/kiek2.html&course\\_file=kiek2\\_3\\_2.html](http://www.lidata.eu/index.php?file=files/mokymai/kiek2/kiek2.html&course_file=kiek2_3_2.html)

[40] Sroka E., Kaminski W., Bohdziewicz J. Biological treatment of meat industry wastewater. *Desalination* [interaktyvus]. 2004, 162, 85 – 91 [žiūrėta 2016 metų gegužės 15 d.]. ISSN 0011 – 9164. Prieiga per: doi:10.1016/S0011-9164(04)00030-X

[41] Bohdziewicz J., Sroka E., Lobos E. Application of the system which combines coagulation, activated sludge and reverse osmosis to the treatment of the wastewater produced by the meat industry. *Desalination* [interaktyvus]. 2002, 144(1 – 3), 393 – 398 [žiūrėta 2016 metų gegužės 15 d.]. ISSN 0011 – 9164. Prieiga per: doi:10.1016/S0011-9164(02)00349-1

[42] Hsiao, T. – H., Huang, J. – S., Huang, Y. – I. Process kinetics of an activated – sludge reactor system treating poultry slaughterhouse wastewater. *Environmental Technology* [interaktyvus]. 2012, 33 (7), 829 – 835 [žiūrėta 2016 metų gegužės 17 d.]. ISSN 1479 – 487X. Prieiga per: doi:10.1080/09593330.2011.597782

[43] Wu, J., Doan, H. Disinfection of recycled red – meat – processing wastewater by ozone. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* [interaktyvus]. 2005, 80(7), 828 – 833 [žiūrėta 2016 metų gegužės 18 d.]. ISSN 1097 – 4660. Prieiga per: doi:10.1002/jctb.1324

[44] Millamena, O. M. Ozone treatment of slaughterhouse and laboratory wastewaters. *Aquacultural Engineering* [interaktyvus]. 1992, 11(1), 23 – 31 [žiūrėta 2016 metų gegužės 18 d.]. ISSN 0144-8609. Prieiga per: doi:10.1016/0144-8609(92)90018-S

[45] Matuzevičius A. B. Rekomendacijos biologinio valymo įrenginiams projektuoti. Vilnius: 2000.

**PRIEDAI****1 PRIEDAS**

Rezultatai gauti atlikus biologinio skaidymo eksperimentą

Biologinio skaidymo trukmė, min	BOA koncentracija, mg/L						
	Eksperimento numeris:						
	1	2	3	4	5	6	7
0	143,2	131,3	84,13	158,9	103,8	81,34	128,5
30	119,8	109,3	69,42	113,6	87,6	65,84	102,3
112,5	92,28	95,12	57,12	68,75	67,61	57,46	79,77
195	90,47	81,54	45,61	51,8	48,89	55,36	63,41
277,5	65,33	69,79	24,55	49,95	46,86	49,41	55,96
360	62,99	58,41	22,76	47,72	45,31	35,98	49,84

**2 PRIEDAS**

Rezultatai gauti atlikus nuotekų skaidymo DBI reaktorių sistemoje eksperimentą

Biologinio skaidymo trukmė, min	Skaidymo DBI reaktoriuje trukmė	BOA koncentracija, mg/L							
		Eksperimento numeris:							
		1	2	3	4	5	6	7	
30	2	113,0	105,1	53,2	105,7	84,6	63,8	91,2	
	9	100,3	99,5	51,4	101,6	84,1	63,6	90,5	
	16	92,5	96,3	47,6	97,7	81,5	62,9	90,0	
	23	86,9	93,2	47,4	94,9	83,4	58,3	85,4	
	30	77,7	92,6	39,0	93,6	77,9	57,7	82,7	
112,5	2	74,9	91,6	47,5	68,4	60,7	53,5	69,5	
	9	69,7	90,3	46,6	63,6	57,2	52,3	68,3	
	16	64,9	89,8	40,9	61,5	56,8	52,2	64,1	
	23	60,9	83,2	40,2	58,9	54,5	46,1	62,4	
	30	55,4	82,1	39,7	57,6	54,0	45,8	58,6	
195	2	67,4	80,7	45,4	50,2	46,5	55,0	58,8	
	9	57,9	80,3	41,0	47,3	45,9	53,9	55,0	
	16	56,1	75,3	40,7	47,1	42,6	51,2	54,3	
	23	53,2	74,3	39,8	47,1	39,1	48,4	51,2	
	30	49,5	73,4	38,0	45,7	38,5	46,6	47,0	
277,5	2	62,9	67,9	23,6	48,4	45,2	47,4	52,8	
	9	51,6	66,1	21,9	46,3	44,7	45,2	49,0	
	16	49,0	63,9	21,7	45,2	43,0	44,1	48,8	
	23	48,3	62,1	21,5	44,4	40,3	43,5	45,4	
	30	47,3	59,1	20,4	42,8	35,7	43,0	45,3	
360	2	60,7	58,6	22,0	46,1	41,6	33,5	48,5	
	9	54,4	55,4	21,3	43,2	38,4	29,6	47,2	
	16	52,0	48,8	21,0	38,9	37,2	27,9	45,7	
	23	50,4	46,5	20,4	38,2	35,3	26,2	45,5	
	30	47,4	45,6	17,6	37,1	32,6	28,1	44,8	