VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

Edgaras Šiaulenskis

PIRMINIO DUMBLO HIDROLIZĖS PROCESO TYRIMAS

INVESTIGATION OF PRIMARY SLUDGE HYDROLYSIS PROCESS

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H23001

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
(Parašas)
Saulius Vasarevičius
(Vardas, pavardė)
2018.05.22
(Data)

Edgaras Šiaulenskis

PIRMINIO DUMBLO HIDROLIZĖS PROCESO TYRIMAS

INVESTIGATION OF PRIMARY SLUDGE HYDROLYSIS PROCESS

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 621H23001
Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas doc. dr.Regimantas Dauknys (Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) 2018-05-25 (Data)

Lietuvių kalbos konsultantas dr. Aušra Žemienė (Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) 2018-05-22 (Data)

Vilnius, 2018

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

Statybos inžinerijos studijų kryptis

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa,

valstybinis kodas 621H23001

TVIRTINU
Katedros vedėjas
_____
(Parašas)
Prof. dr. Saulius Vasarevičius
(Vardas, pavardė)
_____
(Data)

BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO UŽDUOTIS
2016-10-18 Nr. 12
Vilnius

Studentui (ei) *Edgarui Šiaulenskiui*
(Vardas, pavardė)

Baigiamojo darbo tema: *Pirminio dumblo hidrolizės proceso tyrimas*

patvirtinta 2018 m. kovo 19 d. dekano potvarkiu Nr. 78ap.

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2018 m. gegužės 25 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Apžvelgti organinių medžiagų poreikį nuotekoms valyti, kompleksinių organinių medžiagų skilimo procesus, produktus hidrolizės procesui vykti bei jų šaltinius, apdorojimo būdus, pirminio dumblo hidrolizės technologines schemas bei veiksnius, turinčius įtakos dumblo hidrolizės procesui. Pateikti literatūros apžvalgos apibendrinimą. Pateikti Vitebsko miesto nuotekų valymo technologijos aprašymą. Suformuoti tyrimų metodiką iškeltiems uždaviniams įvykdyti. Atlikti laboratorinių tyrimų metu gautų rezultatų analizę, paanalizuoti parametrų tarpusavio priklausomybes. Atlikti užterštumo duomenų statistinį apdorojimą, apskaičiuoti technologinius ir kitus reikiamus parametrus. Pagal gautus laboratorinių tyrimų ir užterštumo duomenų statistinio apdorojimo rezultatus įvertinti azoto šalinimo iš nuotekų galimybes Vitebsko nuotekų valykloje, nustatyti galimus eksploatacijos kaštų sutaupymus naudojant pirminio dumblo hidrolizės procesą. Pateikti tyrimų rezultatus, išvadas ir rekomendacijas.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:
Dr. lekt. Aušra Žemienė
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas ..... *dr. doc. Regimantas Dauknys*
(Parašas) (Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau
_____
(Parašas)
Edgaras Šiaulenskis
(Vardas, pavardė)
2016-10-18
(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
Aplinkos inžinerijos fakultetas
Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra

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

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

Pavadinimas	**Pirminio dumblo hidrolizės proceso tyrimas**
Autorius	**Edgaras Šiaulenskis**
Vadovas	**Regimantas Dauknys**

Kalba: lietuvių

Anotacija

Siekiant užkirsti kelią eutrofikacijos procesui, taikomi griežti reikalavimai biogeninėms medžiagoms valytose nuotekose. Biologiškai skaidomų organinių medžiagų trūkumas yra viena iš priežasčių, dėl kurios azoto ir fosforo junginiai iš nuotekų šalinami neefektyviai. Pirminio dumblo hidrolizės procesas yra vienas iš būdų, kurio metu galima pagaminti lengvai biologiškai skaidomų organinių medžiagų ir taip užtikrinti reikalaujamą biogeninių medžiagų pašalinimą iš nuotekų.

Šio darbo tikslas laboratorinėmis sąlygomis nustatyti pirminio dumblo hidrolizės proceso dumblo išbuvimo trukmės reikšmę, kuriai esant susidaro optimalus organinių medžiagų kiekis, ir įvertinti susidariusių organinių medžiagų poveikį biogeninių medžiagų šalinimo iš nuotekų procesui.

Pirminio dumblo hidrolizės tyrimams naudotas pirminis dumblas iš Vitebsko (Baltarusija) nuotekų valyklos ir Vilniaus nuotekų valyklos. Pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumui nustatyti buvo analizuota pirminio dumblo išbuvimo trukmė, ChDStirp., BDS7, TGLRR susidarymas, BSM suskaidymas. Tyrimai atlikti esant 20,8 ?C vidutinei temperatūrai, 7,35 pradinei pH reikšmei. Nustatyta rekomenduojama optimali dumblo išbuvimo trukmė – 6 paros. Pagal minėtas sąlygas tyrimo Nr. 1 ir tyrimo Nr. 3 metu ChDStirp. susidarymo efektyvumas lygus 69,5 %, TGLRR susidarymo efektyvumas lygus 71,4 %. Šie rezultatai pasiekti, kai BSM suskaidymas buvo apie 5 %. Laboratoriniais pirminio dumblo hidrolizės tyrimais nustatytą optimalią ChDS reikšmę pritaikius Vitebsko miesto išorinio anglies šaltinio poreikio skaičiavimui nustatyta, kad dėl pirminio dumblo hidrolizės proceso ChDS reikšmė padidėjo 3 %: pradinė ChDS reikšmė buvo 501 mg/l, po hidrolizės proceso – 516 mg/l.

Darbą sudaro šios dalys: įvadas, keturi skyriai, išvados ir siūlymai, literatūros sąrašas.

Darbo apimtis – 61 p. teksto be priedų, 18 iliustr., 11 lent., 48 bibliografiniai šaltiniai.

Prasminiai žodžiai: „Batch“ testas, fosforo šalinimas, lakiosios riebalų rūgštys, pirminio dumblo hidrolizė, tirpi cheminio deguonies suvartojimo dalis.

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Environment Protection and Water Engineering

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

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

Title	**Investigation of Primary Sludge Hydrolysis Process**
Author	**Edgaras Šiaulenskis**
Academic supervisor	**Regimantas Dauknys**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

In order to prevent eutrophication process strict effluent requirements for nutrients are applied. The lack of readily biodegradable organic matter usually is a factor for non-efficient removal of nutrients form wastewater. Hydrolysis of primary sludge is one of the method to produce readily biodegradable organic matter and ensure the more efficient nutrient removal and low-cost maintenance of wastewater treatment.

Therefore, the aim of this research is to determine the importance of the sludge retention time of primary sludge hydrolysis process in the laboratory conditions, which results in the optimal amount of organic matter, and allows to assess the effect of the organic matter produced on the process of biogenetic discharges from wastewater.

Primary sludge from primary settlers of Vitebsk WWTP, Belarus (Investigation No. 1, Investigation No. 3) and Vilnius WWTP, Lithuania (Investigation No. 2) was used for primary sludge hydrolysis investigation. Primary sludge hydrolysis was performed to determinate the retention time, formation of SCOD, BOD, SCVFA and reduction of VSS. The results of investigations were performed in the average temperature of 20.8 ?C with initial pH value of 7.35. The recommended retention time of 6 days for primary sludge hydrolysis was determined. Under the abovementioned conditions the efficiency of SCOD formation was equal to 69.5 %, the efficiency of SCVFA formation was equal to 71,4 %. This result was achieved with 5 % of VSS reduction.

By applying the optimal value of COD determined by laboratory analysis of primary sludge to the calculation of the need for the external carbon source in the Vitebsk city, it was determined that the COD value increased by 3 % due to the primary sludge hydrolysis process: initial COD value was 501 mg/l, after hydrolysis process – 516 mg/l.

Work comprises the following components: introduction, 3 sections, conclusions, recommendations and references.

Work is of 61 p. of test without appendixes, 18 pictures, 11 tables and 48 references.

Keywords: "Batch" test, phosphorus removal, primary sludge hydrolysis process, soluble chemical oxygen demand, volatile fatty acids.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto
egzaminų sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo
bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Edgaras Šiaulenskis, 20124116

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Vandens ūkio inžinerija, VImf-16

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2018 m. gegužės 25 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Pirminio dumblo hidrolizės proceso tyrimas“ patvirtintas 2018 m. kovo 19 d. dekano potvarkiu Nr. 78ap, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: dr. Aušra Žemienė. Mano darbo vadovas doc. dr. Regimantas Dauknys.

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

(Parašas)

Edgaras Šiaulenskis

(Vardas ir pavardė)

TURINYS

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS 9

LENTELIŲ SĄRAŠAS 10

SANTRUMPOS 11

ĮVADAS 12

1. LITERATŪROS APŽVALGA 14

1.1. Organinių medžiagų poreikis biologiniam nuotekų valymui 14

1.2. Kompleksinių organinių medžiagų skilimo procesai 14

1.3. Produktai hidrolizės procesui vykdyti 16

1.4. Produktų hidrolizės procesui vykdyti šaltiniai 18

1.5. Produktų hidrolizės procesui vykdyti šaltinių apdorojimas 19

1.6. Pirminio dumblo hidrolizės produktų panaudojimas nuotekų biologinio valymo procese 22

1.6.1. Pirminio dumblo hidrolizės produkto panaudojimas biologinio fosforo šalinimo procese 22

1.6.2. Pirminio dumblo hidrolizės produkto panaudojimas biologinio azoto šalinimo procese 23

1.7. Technologinės schemos, taikomos pirminio dumblo hidrolizės procese 23

1.7.1. Hidrolizės procesas nuotekų tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje ir pirminiame nusodintuve 23

1.7.2. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje ir pirminiame nusodintuve 25

1.7.3. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – gravitaciniame pirminio dumblo tirštintuve 26

1.7.4. Hidrolizės procesas vyksta dumblo tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje, gravitaciniame tirštintuve 27

1.7.5. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – vienodos konstrukcijos fermentacijos ir tirštinimo įrenginyje 28

1.8. Aplinkos ir technologiniai parametrai 28

1.8.1. pH poveikis 28

1.8.2. Temperatūros poveikis pirminio dumblo hidrolizėje 29

1.8.3. Dumblo amžius 29

1.8.4. Hidraulinė išbuvimo trukmė 30

1.9. Literatūros apžvalgos apibendrinimas 30

2. TYRIMO METODIKA 32
2.1. Vitebsko nuotekų valyklos apibūdinimas 32
2.1.1. Pirminio dumblo hidrolizės įvertinimas prieš biologinį nuotekų valymą 33
2.1.2. Duomenų statistinis apdorojimas 34
2.2. Laboratoriniai tyrimai 35
2.2.1. „Batch“ testas 36
2.2.2. Rodiklių reikšmių nustatymo metodikos 38
2.2.3. Trumpos grandinės lakiųjų riebiųjų rūgščių nustatymas 41
3. TYRIMO ANALIZĖ IR REZULTATAI 42
3.1. Pirminio dumblo hidrolizės proceso analizė 42
3.2. Vitebsko nuotekų valymo įrenginių išvalymo rodiklių kitimo analizė 51
IŠVADOS 55
REKOMENDACIJOS 56
LITERATŪROS SĄRAŠAS 57
PRIEDAI 61

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1 pav. Kompleksinių organinių medžiagų skilimo produktai (Metcalf 2013). 15
2 pav. Bendrojo ChDS sudedamosios dalys (Metcalf 2013; Rossle *et al*. 2001). 16
3 pav. Hidrolizės reakcija, kai hidrolizės procesu yra skaidomi riebalai (Lier *et al.* 2008) 18
4 pav. Hidrolizės procesas nuotekų tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje ir pirminiame nusodintuve (Rabinowitz *et al.* 2011) 23
5 pav. Hidrolizės procesas pirminiame nusodintuve 24
6 pav. Hirolizės procesas dumblo tekėjimo linijoje – dumblo talpoje (Rabinowitz *et al.* 2011). 25
7 pav. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – gravitaciniame pirminio dumblo tirštintuve (Rabinowitz *et al.* 2011). 26
8 pav. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje, gravitaciniame tirštintuve (Rabinowitz *et al.* 2011). 27
9 pav. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – vienodos konstrukcijos fermentacijos ir tirštinimo įrenginyje (Rabinowitz *et al.* 2011). 28
10 pav. Vitebsko nuotekų valyklos technologinė schema: 1- priėmimo kamera. 2 – grotų pastatas. 3 – smėliagaudės. 4 – pirminiai nusodintuvai. 5-1 – pirmos eilės aerotankas (blokas Nr. 1). 5-2 – antros eilės aerotankas (blokas Nr. 2). 6 – antriniai nusodintuvai. 7 – kontaktiniai rezervuarai. 8 – bioblokai. 9 – dumblo tankinimo įrenginiai. 10 – nuosėdų tiekimo siurblinė. 11 – smėlio bunkeriai. 32
11 pav. Tyrimams naudoti 100 ml inkubaciniai buteliukai 36
12 pav. Bandymo stendo principinė schema 36
13 pav. pH kitimo grafikas tyrimų metu 45
14 pav. Susidariusio TGLRR kiekio ir dumblo išbuvimo trukmės priklausomybės grafikas 47
15 pav. Suskaidyto BSM kiekio ir dumblo išbuvimo trukmės priklausomybės grafikas (Tyrimas Nr. 1 ir tyrimas Nr. 3) 48
16 pav. $ChDS_{tirp.}$ susidarymo ir BSM suskaidymo priklausomybės grafikai (Tyrimas Nr. 3) 49
17 pav. $ChDS_{tirp.}$, $BDS7$ ir $TGLRR$ priklausomybė grafikas 50
18 pav. Valomų nuotekų vidutinis paros debitas 2013-2016 metais 51
19 pav. Rekomenduojama pirminio dumblo hidrolizės technologinė schema 53

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1 lentelė. Lakiųjų riebalų rūgščių sudėtis (Ubay-Cokgor *et al.* 2005; Rossle *et al*. 2001)..... 17
2 lentelė. Dumblo amžiaus reikšmės 30
3 lentelė. Atvežto pirminio dumblo tyrimo ir „Batch" testo rezultatai. 37
4 lentelė. Tyrimams naudoto pirminio dumblo charakteristikos. 42
5 lentelė. Temperatūros ir TGLRR susidarymo priklausomybė. 43
6 lentelė. Pirminio dumblo hidrolizės proceso rezultatai 44
7 lentelė. Tyrimo Nr.2 TGLRR rodiklių reikšmės..... 46
8 lentelė. Tyrimo metu susidariusių TGLRR kiekiai 47
9 lentelė. Tyrimo Nr. 1 ir Nr. 3 metu susidariusio $ChDS_{tirp.}$ kiekiai 49
10 lentelė. Statistinio apdorojimo rezultatai 51
11 lentelė. Brentaplus VP1 eksploatacijos kaštai 53

SANTRUMPOS

BDS_7 – biocheminis deguonies suvartojimas per 7 paras.

BDS_5 – biocheminis deguonies suvartojimas per 5 paras.

ChDS – cheminis deguonies suvartojimas.

$ChDS_{tirp.}$ – tirpi cheminio deguonies suvartojimo dalis.

LRR – lakiosios riebalų rūgštys.

LRR_{Hac} – lakiosios riebalų rūgštys išreikštos acto rūgštimi.

TGLRR– trumpos grandinės lakiosios riebalų rūgštys.

N – azotas.

N_b – azotas.

P – fosforas.

P_b – bendras fosforas.

FKO – fosforą kaupiantys organizmai.

ĮVADAS

Organinės ir skendinčiosios medžiagos iš nuotekų pašalinamos efektyviai (98–99 %), tačiau bendrojo azoto (N_b) ir bendrojo fosforo (P_b) šalinimo efektyvumas dažniausiai yra nepakankamas (Ali, Gupta 2013; Henze *et al.* 2008). Į gamtinę aplinką patekęs biogeninių medžiagų perteklius sukelia eutrofikacijos procesą. Optimali medžiagų proporcija, pagal kurią mikroorganizmai vartoja teršalus, aprašoma santykiu C:N:P, o jų reikšmės atitinkamai yra 100:5:1 (Mulkerrins *et al.* 2004; Houweling *et al.* 2010). Valomose nuotekose yra biogeninių medžiagų perteklius organinės anglies atžvilgiu, todėl ne visada pavyksta užtikrinti reikalaujamą valytų nuotekų kokybę pagal fosforo ir azoto junginius. Šiuo tikslu yra naudojamas išorinis anglies šaltinis, tačiau jis didina eksploatacijos kaštus. Siekiant užtikrinti optimalius nuotekų valymo eksploatacijos kaštus bei tinkamą išvalymo kokybę, kaip organinių teršalų šaltinis gali būti naudojamos lakiosios riebalų rūgštys (LRR), pagamintos pirminio dumblo hidrolizės proceso metu.

Nuotekose yra lėtai biologiškai skaidomų organinių teršalų, kurie sudaro sunkiai pasisavinamos anglies dalį. Tokių teršalų, kaip nesuardyti baltymai, angliavandeniai ar riebalai, mikroorganizmai tiesiogiai pasisavinti negali. Pirminio dumblo hidrolizės reakcijų metu, veikiant mikroorganizmų neląsteliniams fermentams, susidarę produktai gali būti fermentuoti į LRR. Hidrolizės būdu padidintas lengvai biologiškai skaidomų organinių medžiagų kiekis leidžia optimizuoti C:N:P santykį nuotekose ir taip pagerinti veikliojo dumblo mikroorganizmų, šalinančių azoto ir fosforo junginius, funkcijas. Dėl šios priežasties nuotekų išvalymas pagal biogenines medžiagas tampa efektyvesnis (Henze *et al.* 2008).

Pagamintų LRR kiekis priklauso nuo pasirinkto technologinio proceso ir technologinių parametrų. Pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumui ir LRR susidarymui didžiausią įtaką daro pH, dumblo išbuvimo trukmė ir temperatūra (Rabinowitz *et al.* 2011).

Šiame darbe yra analizuojamas Vilniaus ir Vitebsko nuotekų valykloje susidaręs pirminis dumblas, kuris yra naudojamas siekiant nustatyti pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumą, optimalią dumblo amžiaus reikšmę, kai susidaro didžiausias organinių medžiagų kiekis.

Darbo tikslas − laboratorinėmis sąlygomis nustatyti pirminio dumblo hidrolizės proceso dumblo išbuvimo trukmės reikšmę, kuriai esant susidaro optimalus organinių medžiagų kiekis, ir įvertinti susidariusių organinių medžiagų poveikį biogeninių medžiagų šalinimo iš nuotekų procesui.

Darbo uždaviniai:

- Apžvelgus mokslinę literatūrą įvertinti pirminio dumblo hidrolizės tyrimo poreikį bei suformuluoti tyrimo tikslą.

- Pagal sudarytą metodiką atlikti pirminio dumblo hidrolizės tyrimus ir gautų rezultatų analizę.
- Įvertinti ar pirminio dumblo hidrolizės procesas užtikrins išorinio anglies šaltinio poreikį, reikalingą azotui ir fosforui biologiniu būdu pašalinti Vitebsko nuotekų valykloje.
- Pasiūlyti technologinius sprendinius pirminio dumblo hidrolizės procesui įdiegti Vitebsko nuotekų valykloje.

Temos aktualumas. Pirminio dumblo hidrolizės tyrimai padėtų nustatyti ar pirminio dumblo hidrolizė gali užtikrinti reikalaujamą valytų nuotekų kokybę, naudojant tik biologinį nuotekų valymą, t. y. be papildomo anglies šaltinio dozavimo, tokiu būdu sumažinant eksploatacijos kaštus.

Temos naujumas. Rytinio Baltijos jūros regiono šalyse pirminio dumblo hidrolizės procesas iki šiol netaikytas. Mokslinėje literatūroje aplinkos ir technologinių parametrų, turinčių įtakos hidrolizės procesui ir jų produktų susidarymui, reikšmės yra pateikiamos sąlyginai plačiose ribose. Išsami hidrolizės proceso analizė leistų tiksliau įvertinti ir pritaikyti parametrų reikšmes minėtajam regionui.

Darbo aprobavimas. Tyrimo metodika, pagrindiniai tyrimų rezultatai bei išvados pristatytos 2018 m. kovo 20 d. vykusioje konferencijoje „Mokslas – Lietuvos ateitis“ pranešimu „Pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumo tyrimai“. Planuojama išspausdinti straipsnį konferencijos pranešimų medžiagoje arba moksliniame žurnale.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Organinių medžiagų poreikis biologiniam nuotekų valymui

Biologinis teršalų pašalinimas iš nuotekų − tai procesas, kurio metu mikroorganizmai iš nuotekų šalina tokius teršalus kaip azotas, fosforas. Azoto junginiai iš nuotekų yra šalinami nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesais. Nitrifikaciją vykdo nitrifikuojančios bakterijos, kurios amoniaką oksiduoja iki nitritų, nitritus iki nitratų. Denitrifikaciją vykdo heterotrofinės bakterijos, kurios nitratus redukuoja iki nitritų, nitritus iki dujinio azoto. Biologinis fosforo šalinimas vykdomas fosforą akumuliuojančių mikroorganizmų, fosforo junginiai biologiškai paverčiami ortofosfatais, kurie su dumblu yra tiekiami į dumblo apdorojimo įrenginius.

Mikroorganizmai efektyviai šalina teršalus, kai jiems yra sudarytos tinkamos sąlygos, t.y. nuotekose yra pakankamas kiekis maistinių medžiagų. Biologinio valymo efektyvumui nustatyti yra aprašoma optimali teršalų naudojimo proporcija C:N:P (anglis:azotas:fosforas), jų reikšmės atitinkamai yra 100:5:1 (Mulkerrins *et al.* 2004; Houweling *et al.* 2010). Literatūroje aprašomas teršalų naudojimo santykis valomose nuotekose (100:17:5; 100:18:5,5), po pirminių nusodintuvų (100:19:6) (Mažeikienė, Valentukevičienė 2012; Dauknys *et al.* 2017). Dėl organinių medžiagų (C) trūkumo valomose nuotekose reikalingas papildomas anglies šaltinis. Šiuo tikslu gali būti naudojamas kompleksinių organinių medžiagų skilimo produktas – lakiosios riebiosios rūgštys.

1.2. Kompleksinių organinių medžiagų skilimo procesai

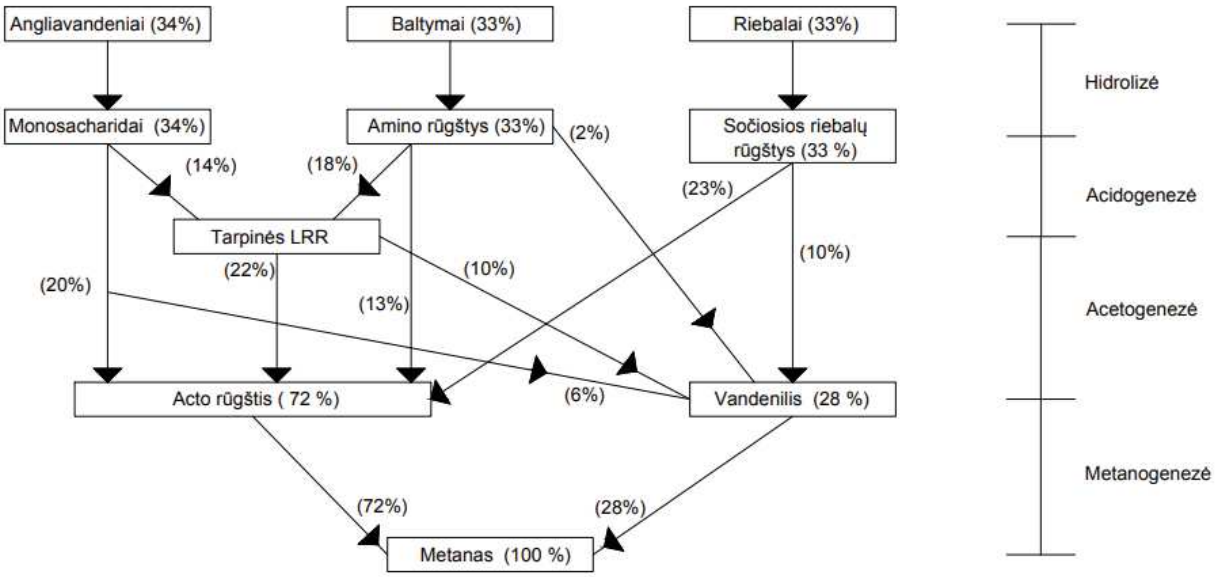
Kompleksinių organinių medžiagų skilimas yra daug reakcijų apimantis procesas, kurį vykdo skirtingų populiacijų mikroorganizmai.

Kompleksinių organinių medžiagų skilimą galima suskirstyti į keturias stadijas (1 pav.):

- hidrolizė.
- acidogenezė.
- acetogenezė.
- metanogenezė.

Hidrolizė yra pirmas ir labai svarbus kompleksinių organinių medžiagų skilimo procesas, kurio metu lėtai biologiškai skaidoma ChDS dalis yra hidrolizuojama į tirpias medžiagas, polimerai yra paverčiami paprastaisiais monomerais. Hidrolizė yra vykdoma obligatinių ir fakultatyvinių anaerobų ekstraląstelinių fermentų (Metcalf 2013; Lier *et al.* 2008).

Acidogenezė (fermentacija) yra antras etapas, kuriame pirmo etapo metu susidarę paprastieji polimerai yra paverčiami tarpiniais lakiųjų riebalų rūgščių produktais, acetatais, propionatais, anglies dioksidu, vandeniliu. Acidogenezės metu dalis paprastųjų polimerų gali būti suskaidomi iki tokių lakiųjų riebiųjų rūgčių kaip propiono rūgšis, sviesto rūgštis (Metcalf 2013; Lier *et al.* 2008).



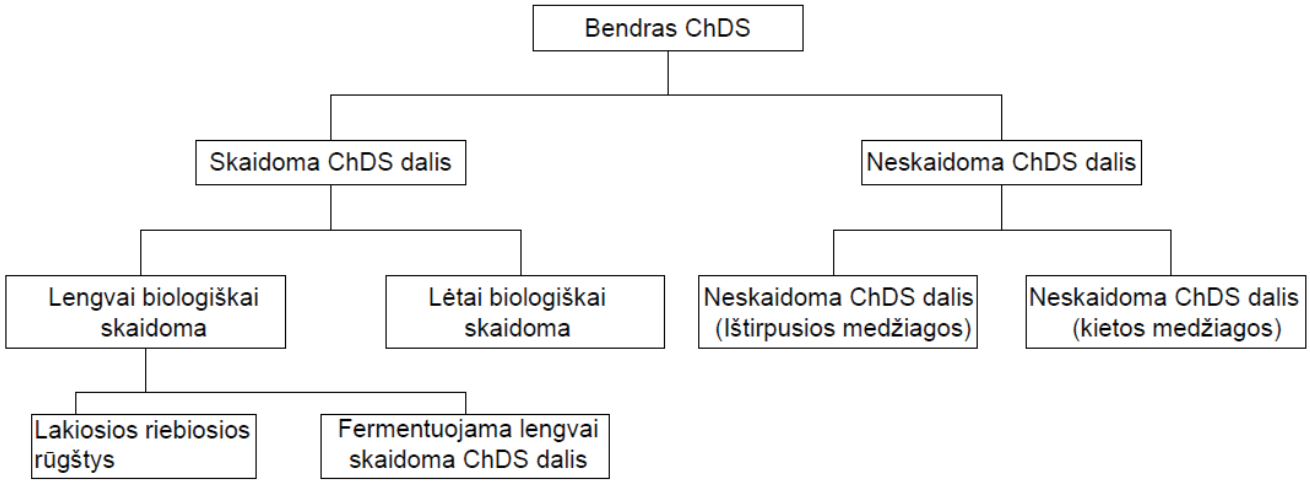
1 pav. Kompleksinių organinių medžiagų skilimo produktai (Metcalf 2013).

Acetogenezė – tai tolimesnis fermentacijos procesas, kurio metu acetogeninės bakterijos acidogenezės tarpinius produktus paverčia į acto rūgštį ir kitas lakiąsias riebalų rūgštis. (Metcalf 2013; Lier *et al.* 2008).

Metanogenezė – tai trečias etapas, kuris yra atliekamas *Archaea* grupės organizmų, kitaip žinomų kaip metanogenų. Metano gamybai yra priskiriamos dvi grupės metanogeninių organizmų. Viena grupė, vadinamoji *aceticlastic methanogens,* kuri suskaido LRR į metaną ir anglies dioksidą. Antra grupė vadinamoji *hydrogenotrophic methanogens*, kuri naudoja vandenilį ir anglies dioksidą gaminant metaną. Acetogenai – tai bakterijos, kurios naudoja anglies dioksidą ir LRR, jas paversdamos į metaną. Šis etapas yra naudojamas anaerobiniame pūdyme, kai metanas yra gaunamas pūdant dumblą (Metcalf 2013).

Hidrolizės, acidogenezės ir acetogenezės procesai, kurių metu kompleksinės organinės medžiagos skyla iki LRR, bendrai yra vadinami hidrolizės procesu, kadangi jų metu vyksta cheminės reakcijos tarp cheminio junginio ir vandens. Visų šių procesų metu junginiai skyla į dvi mažesnes molekules, kurių viena prisijungia vandenilį, o kita OH^- grupę.

Hidrolizės proceso metu vykdomas kompleksinių organinių junginių skaidymas į LRR yra svarbus biologiniam valymo procesui. Lakiosios riebalų rūgštys yra naudojamos kaip organinis anglies šaltinis, o tai yra pagrindinė maistinė medžiaga. Valomose nuotekose lakiosios riebiosios rūgštys sudaro tik 2–10 % nuo bendros ChDS dalies (Henze *et al.* 2008). ChDS sudedamosios dalys yra pateiktos 2 paveiksle.



2 pav. Bendrojo ChDS sudedamosios dalys (Metcalf 2013; Rossle *et al*. 2001).

Dėl LRR konkuruojantiems mikroorganizmams, toks nedidelis jų kiekis yra nepakankamas fosforui biologiniu būdu šalinti, todėl yra reikalingas papildomas anglies šaltinis. Nuotekose yra lėtai biologiškai skaidomos ChDS dalies (baltymai, angliavandeniai, riebalai), kurios mikroorganizmai tiesiogiai pasisavinti negali, tačiau vykstant hidrolizės procesui lėtai biologiškai skaidoma ChDS dalis yra suskaidoma į LRR ir taip galima užtikrinti tinkamą nuotekų išvalymo kokybę.

1.3. Produktai hidrolizės procesui vykdyti

Angliavandeniai

Polisacharidai yra gausiausia angliavandenių grupė, kuri yra aptinkama gamtoje. Tai makromolekulės, kurios sunkiai tirpsta vandenyje. Celiuliozė, hemiceliuliozė, pektinas yra labiausiai paplitę angliavandeniai nuotekose. Pagrindinis celiuliozės šaltinis yra popierius, sudarantis daugiau nei 40 % visų randamų angliavandenių nuotekose. Hemiceliuliozė sudaro 20–25 % angliavandenių nuotekose. Pektino kiekiai yra gerokai mažesni (Atherton 1995).

Hidrolizės proceso metu polisacharidai yra skaidomi mikroorganizmų fermentų į tirpius junginius. Priklausomai nuo mikroorganizmų rūšies yra galima skirtinga lakiųjų riebalų rūgčių susidarymo sudėtis (1 lentelė).

1 lentelė. Lakiųjų riebalų rūgščių sudėtis (Ubay-Cokgor *et al.* 2005; Rossle *et al*. 2001)

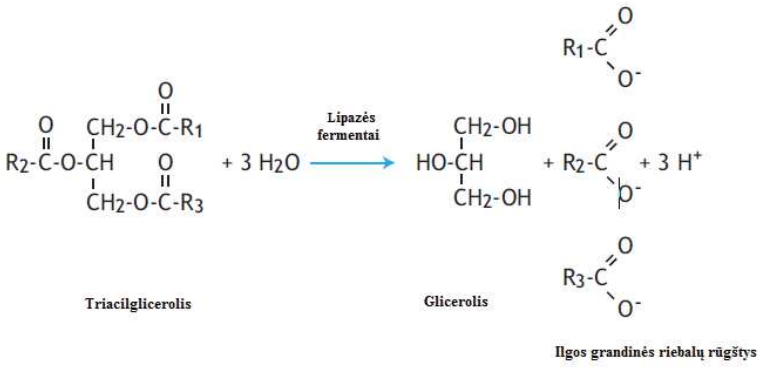
Acto rūgštis, %	Propiono rūgštis, %	Sveisto rūgštis, %	Valerijono rūgštis, %
38	36	16	10
43	41	8	-
70	25	5	-
56	30	7	7
59	32	6	3
63	25	12	63
50	33	9	50
55	30	15	

Baltymai

Baltymai – organiniai junginiai, kuriuose yra anglies, vandenilio, deguonies, azoto, fosforo ir sieros junginių. Kaip ir angliavandeniai, baltymai hidrolizės proceso metu iš polimerinių junginių paverčiami į monomerus, kurie gali būti panaudojami kaip energijos šaltinis šalinant biogenines medžiagas iš nuotekų. Yra daugybė metabolizmo būdų, kuriuos specifiniai mikroorganizmai naudoja atskirų amino rūgščių grupių pavertimui į lakiųjų riebalų rūgštis. Alifatinės aminorūgštys yra skaidomos į lakiąsias riebalų rūgštis dėl redukcinio amino grupės pašalinimo, čia veikia bakterijos, turinčios dehidrogenazės fermentų. Glutamo rūgštis yra fermentuojama obligatinių anaerobų, kurių veiklos produktas yra acto ir sviesto rūgštys (Atherton 1995).

Riebalai

Riebalai yra sudaryti iš riebalų rūgščių, alkoholio ir glicerolio. Riebalai yra visiškai netirpūs vandenyje, o pagrindiniai riebalų šaltiniai yra sviestas, taukai, margarinas, augaliniai riebalai ir aliejai. Riebalai hidrolizės metu yra skaidomi naudojant lipazės fermentus. Fosfolipidai yra hidrolizuojami naudojant fosfolipazės fermentus (Atherton 1995). Hidrolizės cheminės reakcijos pavyzdys, kai riebalai yra skaidomi hidrolizės proceso metu į glicerolį ir ilgos grandinės riebalų rūgštis, pateikiamas 3 paveiksle.



3 pav. Hidrolizės reakcija, kai hidrolizės procesu yra skaidomi riebalai (Lier *et al.* 2008)

1.4. Produktų hidrolizės procesui vykdyti šaltiniai

Nuotekų valyme lakiųjų riebiųjų rūgščių skaidymui yra naudojami du hidrolizės procesui vykdyti šaltiniai – pirminis ir perteklinis dumblas. Pirminio ir perteklinio dumblo hidrolizės metu gautos LRR gali būti naudojamos biodujų gamyboje arba biologiniam valymui, biogeninių medžiagų šalinimui iš nuotekų.

Anaerobinio dumblo pūdymas yra biologinis procesas, kurio metu organinės medžiagos yra pūdomos, skaidomos. Šio proceso metu organinės medžiagos yra paverčiamos į metaną ir anglies dioksidą. Dažniausiai praktikoje taikomas anaerobinio dumblo pūdymo būdas yra mezofilinis, jame temperatūra siekia apie 33–35 ˚C , o mezofilinis skaidymas vyksta išlaikant organines medžiagas 20–30 dienų (Sweco BKG 2006). Anaerobiniu būdu apdorojant dumblą iš jo galima išgauti energetinę vertę, tačiau hidrolizės proceso produktai, tokie kaip LRR, metanogeninių bakterijų bus suskaidyti iki metano, vietoje to, kad būtų galima juos panaudoti biologinio nuotekų valymo procese.

Biologinio nuotekų valymo procesui reikalingas LRR kiekis, gautas iš pirminio ir perteklinio dumblo hidrolizės procesų, yra skirtingas. Literatūroje pateikta, kad papildomai iš pirminio dumblo gali susidaryti 10–30 % LRR nuo bendros ChDS dalies (Henze *et al.* 2002; Houweling *et al.* 2012). Papildomai iš perteklinio dumblo gali susidaryti tik apie 1–3 % LRR nuo bendros ChDS dalies (Henze *et al.* 2002). Toks skirtumas tarp pirminio ir perteklinio dumblo atsiranda todėl, nes pertekliniame dumble LRR išlaisvinamos tik suskaidžius mikroorganizmų ląstelės.

Įvairių mokslininkų, kurie nagrinėjo teorinį lakiųjų riebalų rūgščių gaunamą kiekį iš perteklinio dumblo hidrolizės procesų, tyrimai parodė, kad LRR susidarymas yra daug mažesnis lyginant jį su pirminio dumblo hidrolize. Fermentuojant pirminį dumblą nustatyta, kad susidaro apie 0,55–0,9 kg LRR iš kilogramo lengvai biologiškai skaidomos ChDS dalies, o nagrinėjant perteklinio dumblo pagaminto LRR reikšmes, gauta apie 0,09–0,14 kg LRR iš kilogramo lengvai biologiškai skaidomos ChDS dalies (Rabinowitz *et al.* 2011; Ubay-Cokgor *et al.* 2005; Rossle *et al*.

2001). Remiantis mokslininkų atliktais tyrimais naudojant pirminio dumblo hidrolizės procesą fosforo junginių koncentracijos išvalytose nuotekose sumažėjo nuo 3–5 iki 0,5 mg/l; nuo 7 iki 0,15 mg/l (Rabinowitz *et al.* 2011; Oldham *et al.* 1994; Barnard *et al.* 2011). Dėl LRR susidariusio kiekio ir fosforo junginių koncentracijos išvalytose nuotekose, pirminio dumblo hidrolizės procesas yra veiksmingesnis ir efektyvesnis už perteklinio dumblo hidrolizės procesą.

Perteklinis dumblas gali būti papildomai apdorojamas siekiant padidinti organinių medžiagų kiekį, tam yra naudojamas skaidymo procesas, kurio metu organinės medžiagos susidaro suardžius mikroorganizmų ląsteles. Skaidymo procesai yra brangesni lyginant su dumblo hidrolizės procesu, todėl yra nenaudojami organinėms medžiagoms.

1.5. Produktų hidrolizės procesui vykdyti šaltinių apdorojimas

Hidrolizės šaltiniai gali būti papildomai apdorojami skaidymo procesu, tam kad būtų išlaisvinti organiniai junginiai iš ląstelių. Dažniausiai vykdomas mechaninis arba terminis dumblo skaidymas. Mechaninis dumblo skaidymo metodas pagrįstas išorinių veiksnių veikimu. Ląstelių membrana yra suardoma, kai išorinių veiksnių slėgis viršija vidinį ląstelių slėgį. Šis mechaninis metodas yra plačiai taikomas, tačiau dauguma mechaninių dumblo skaidymo būdų reikalauja didelio energijos suvartojimo (Tyagi, Lo 2011). Terminis dumblo skaidymas, tai dumblo apdorojimo metodas, kai ląstelės yra paveikiamos aukšta temperatūra, dėl aukštos temperatūros ląstelių membranos yra ardomos (Tyagi, Lo 2011).

Dažniausiai taikomi dumblo skaidymo metodai:

- terminis dumblo skaidymas.
- dumblo skaidymas ultragarsu.
- dumblo skaidymas aukšta įtampa.
- dumblo skaidymas aukštu slėgiu.

Terminė hidrolizė

Terminė hidrolizė yra stambiamolekulinių medžiagų skaidymas aukštos temperatūros pagalba. Ji gali būti naudojama prieš biologinį nuotekų valymą arba prieš dumblo pūdymą. Tai yra vienas populiariausių dumblo apdorojimo prieš pūdymą metodų. Tai dviejų stadijų procesas, apimantis dumblo ar atliekų virinimą dideliame (6–8 barai) slėgyje ir po to vykstančią greitą dekompresiją. Šis procesas dumblą sterilizuoja ir padaro lengviau biologiškai yrantį, kas padidina pūdymo efektyvumą. Sterilizavimas sunaikina patogeninius mikroorganizmus, todėl dumblas atitinka reikalavimus jį naudoti žemės ūkyje.

Šio metodo dėka dumblas efektyviai suskaidomas, išgaunamos biodujos, sunaikinami patogeniniai organizmai. Po terminės hidrolizės anaerobinio pūdymo metu efektyviai šalinamos

lakiosios medžiagos, organinės medžiagos (pagal ChDS), efektyviai išsiskiria biodujos (Camacho *et al.* 2008). Pranašumas tame, kad hidrolizė, kuri yra viso skaidymo greitį ribojantis procesas, gali būti vykdoma ne biologinėmis, o fizikinėmis priemonėmis (Wilson 2008).

Po terminės hidrolizės anaerobinio pūdymo metu pasiekiamas lakiųjų medžiagų suskaidymas 55–60 % (Jolis 2008). Taipogi įrodyta, kad terminė hidrolizė yra geras metodas sumažinti vandens kiekiui dumble (Kepp *et al.* 2000).

Pirmieji terminės hidrolizės įrenginiai, naudojantys CAMBI technologiją, kur dumblas tiesiogiai šildomas karštu garu, buvo pastatyti Norvegijos mieste Hamar(e) 1995 metais (Menco 2012). Šių įrenginių naudingumas per paskutinius 3 metus yra 99%; sutaupyta 50% pūdytuvų talpos (lyginant su įprastais, tradiciniais pūdymo procesais). Dumblo stabilizavimo laipsnis, išreikštas ChDS pavertimo biodujomis greičiu, siekia 60% (Kepp *et al.* 2000). Stabilizuotame dumble nebėra patogeninių mikroorganizmų, jis tinka žemės ūkiui ir yra efektyvus kaip trąša.

Dabar pasaulyje yra apie 30 didžiausių terminės hidrolizės įrenginių, įrenginiai Vilniuje yra 19-ti pagal dydį (perdirba dumblo sausų medžiagų 23000 tonų per metus). Didžiausi įrenginiai pastatyti 2014 metais JAV, Vašingtone (Blue Plains), jie perdirba dumblo sausų medžiagų 135000 tonų per metus).

CAMBI technologijos privalumai (Menco 2012):

- Didesnis energetinis efektyvumas, daugiau biodujų.
- Pūdytuvo produktyvumas padidėja 250 %.
- Galutinis sauso dumblo tūris sumažėja 40 %.
- Galima perdirbti organines maisto atliekas, riebalus, aliejus.
- Gaunamos A-Klasės tipo biomedžiagos, puikiai tinkančios žemės ūkiui, beveik be kvapo, be patogeninių mikroorganizmų.
- Toliau nebereikia kompostuoti, džiovinti ar deginti likučio.
- Naudojama didelio naudingumo įranga, kuri yra patikima ir tvirta, automatizuota.

Palyginus su įprastu pūdytuvu, „Cambi‘‘ pūdytuvas turi daug pliusų. Pūdant dumblą (pirminis plius perteklinis), „Cambi‘‘ pūdytuvas gali turėti mažesnį tūrį (1/3; 1/2 įprastos versijos), gali būti trumpesnė dumblo išbuvimo trukmė (12–15 dienų, kai įprastos versijos – 20 dienų), gali būti didesnė apkrova VS lakiosiomis medžiagomis (5–7 kg/m^3/d, vietoje 2-3 kg/m^3/d), gali būti didesnis pH (7,8–8 vietoje 6,8–7,5), gali būti aukštesnė pūdymo temperatūra (38–42 ^{o}C; vietoje 35–37 ^{o}C), biodujos išgaunamos geresnės kokybės (65–68 % metano; įprastai – 60–65 %), medžiagų suardymas didesnis (<60%; įprastai – 40–45 %), sausesnis galutinis produktas(32–40% bevandenių medžiagų; įprastai – 20–-25 %) ir kt. (Menco 2012).

Skaidymas ultragarsu

Dumblo ar jo mišinio skaidymui gali būti naudojamas ultragarsas. Tai biologiškai skaidomų organinių medžiagų išskyrimas iš dumblo ląstelių, kai dumblo ląstelių membranos yra ardomos ultragarsu. Proceso principas yra mikroburbuliukų staigus susidarymas ir sprogimas, toks reiškinys lemia aukštos temperatūros ir aukšto slėgio gradientus, kurie pralaužia dumblo ląstelių membranų sieneles ir išlaisvina biologiškai skaidomas organines medžiagas. Naudingo ultragarso dažnio ribos yra tarp 20–200 kHz (Tyagi *et al.* 2011), efektyviausios ribos yra tarp 20–40 kHz. (Carrere *et al.* 2010). Šis metodas taikomas prieš dumblo pūdymą. Mokslininkų (Erden *et al.* 2010) darbai parodė, kad dumblo dribsnių suardymui užtenka 0,09 Wm/l jėgos tankio, tiekiant 9690 kJ/kg dumblo SM. Esant šioms sąlygoms, pūdymo metu gaunama 44 % daugiau metano dujų. Mokslininkai pastebėjo, kad, naudojant ultragarsinį skaidymą, tirpios ChDS dalis, ištirpusios organinės anglies dalis, N_b, P_b koncentracijos dumblo paviršiuje padidėjo 340%, 860%, 716% ir 207,5% (Erden *et al.* 2010). Hoganas ir kt. (2004) teigė, kad naudojant dumblo skaidymą ultragarsu galima pasiekti iki 50 procentų didesnį pagamintų biodujų kiekį, taip pat buvo nustatyta, kad naudojant šį metodą Kavlingo mieste (Švedijoje) sausų medžiagų kiekis po sausinimo padidėjo nuo 15 iki 25 procentų

Skaidymas aukšta įtampa

Veiklusis perteklinis dumblas, prieš jį patiekiant į dumblo mišinio talpą (prieš pūdymą), yra tirštinamas centrifugomis ir skaidomas taikant skaidymo aukšta įtampa įrangą. Dumblo skaidymo aukšta įtampa procese yra naudojami elektrodai, tarp elektrodo ir vamzdžio sienelių generuojama aukšta įtampa. Paveiktas aukštos įtampos, dumblas suskaidomas ląstelių lygyje. Aukštos įtampos lauke atsirandančios elektrinės jėgos deformuoja ir destabilizuoja ląstelių membranas. Kai deformacija viršija ląstelių membranų elastinio atsparumo galią, membranos tampa porėtomis. Tokiu būdu išlaisvinamos ląstelėse esančios organinės medžiagos, kurios vėliau panaudojamos pūdymo procese (Weise, Jung 2001, Müller 2001). Dumblas būna paveiktas aukšta įtampa, kuri gali būti pakelta iki 10 kV (Tyagi, Lo 2011).

Skaidymas aukštu slėgiu

Aukšto slėgio skaidymo sistema susideda iš siurblio su aukštu slėgiu ir dumblo homogenizavimo įrenginiu. Siurblys slegia dumblą iki kelių šimtų barų. Dumblas aukštu slėgiu ir mažu greičiu yra tiekiamas į homogenizavimo įrenginį. Homogenizavimo įrenginyje greitis padidėja iki 300 km/h, o slėgis nukrenta. Toks procesas suformuoja kavitacijos burbuliukus, jų formavimo metu dumblo temperatūra pakyla iki kelių šimtų laipsnių. Tokia temperatūra suardo dumble esančių mikroorganizmų membraną ir išlaisvina organinius junginius iš ląstelių. (Tyagi, Lo 2011) Šis dumblo skaidymo procesas buvo testuojamas anaerobiniam skaidymui. Pagal T.I.

Onyechą (2007) rezultatus naudojant skaidymą aukštu slėgiu buvo gauta, kad biodujų kiekis padidėjo 30 %, o dumblo tūrio sumažėjimas 23 %.

1.6. Pirminio dumblo hidrolizės produktų panaudojimas nuotekų biologinio valymo procese

1.6.1. Pirminio dumblo hidrolizės produkto panaudojimas biologinio fosforo šalinimo procese

Biologiniame fosforo šalinimo procese fosfatus kaupiantiems organizmas (FKO) yra sudaromos sąlygos augti ir įsisavinti fosforą sistemoje, kuri sudaryta iš aerobinės ir anaerobinės zonų. Anaerobinėmis sąlygomis vyksta organinių medžiagų, taip pat ir LRR, įsisavinimas ir ortofosfatų išskyrimas į nuotekas. Ortofosfatai išskiriami tam, kad mikroorganizmai galėtų vartoti organinius junginius ir iš jų gauti energijos fosforo kaupimui. Aerobinėmis sąlygomis polifosfatus kaupiantys mikroorganizmai naudodami prieš tai procese gautą energiją pasisavina nuotekose esantį fosforą. Efektyvus fosforo šalinimas vyksta, kai įvairiuose formose esantis fosforas yra biologiškai paverčiamas į ortofosfatus.

Biologinio fosforo šalinimo procese yra aktyvių ir konkuruojančių mikroorganizmų dėl organinių medžiagų, ypač dėl trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių, kurios yra reikalingos fosforui kaip energijos šaltiniui kaupti. FKO konkurencingi mikroorganizmai yra mikroorganizmai, kurie denitrifikacijos procese šalina NO_3 junginius. 1 mg NO_3 pašalinti yra sunaudojama 4–6 mg lengvai biologiškai skaidomos ChDS dalies arba apie 3,5–5 mg TGLRR (Kampas 2006), todėl pagrindinė biologinio fosforo šalinimo problema yra ta, kad per mažas lakiųjų riebalų rūgčių ir denitrifikaciją vykdančių mikroorganizmų kiekis.

Mokslinėje literatūroje aprašoma, kad trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių kiekiai, skirti pašalinti 1 mg fosforo, yra skirtingi. 1 mg fosforo pašalinti yra sunaudojama 20 mg lengvai biologiškai skaidomas ChDS dalies arba 6–10 mg LRR (Kampas 2006), tačiau Barnardas (1993) teigė, kad norint pašalinti 1 mg fosforo reikia 7–9 mg LRR. E. Lie (1997) nustatė, kad 1 mg fosforui pašalinti, taip pat reikia 20 mg lengvai skaidomos ChDS dalies (Lie *et al.* 1997).

Mokslininkai atliko tyrimus, siekdami sužinoti skirtingų LRR poveikį fosforo šalinimo procesuose. Jie nustatė, kad acto rūgšties šalinimo efektyvumas buvo aukščiausias – 1 mg fosforo pašalinti reikia 18,8 mg acto rūgšties. Propiono rūgštis buvo vienintelė iš trumposios grandinės lakiųjų riebalų rūgščių, kuri nebuvo naudinga šalinant fosforą, nes pašalinti 1 mg fosforo reikia apie 32 mg propiono rūgšties (Randall *et. al.,* 1997).

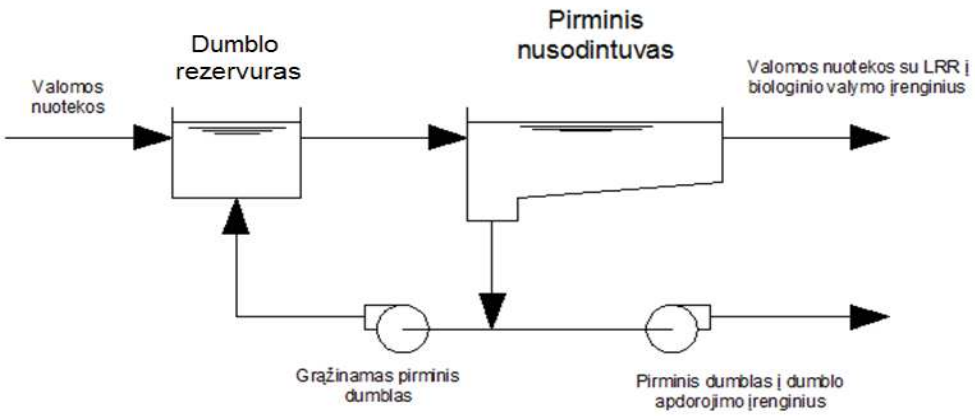
1.6.2. Pirminio dumblo hidrolizės produkto panaudojimas biologinio azoto šalinimo procese

Biologinio fosforo šalinimo procesui neigiamos įtakos turi su apytakiniu veikliuoju dumblu į anaerobinę zoną patenkantys nitratai. Jiems denitrifikuoti gali būti naudojamos LRR, kurias galėtų pasisavinti FKO, todėl ten kur, vykdomas denitrifikacijos procesas, fosforo šalinimo efektyvumas mažėja. Denitrifikacijos procesas vyksta anoksinėje biologinio nuotekų valymo zonoje. Anoksinėje zonoje pašalint 1 mg NO_3 yra sunaudojam 4–6 mg lengvai biologiškai skaidomos ChDS dalies arba apie 3,5–5 mg LRR (Kampas 2006). Kadangi pasiekti tinkamą azoto išvalymo efektyvumą yra lengviau, hidrolizės proceso metu susidariusias LRR yra siekiama panaudoti fosforui biologiniu būdu šalinti. Būtina parinkti tokį technologinį procesą, kad nitrifikuotas dumblo mišinys būtų grąžinamas į denitrifikacijos zonos pradžią, tam kad būtų sumažintas nitratų kiekis ir hidrolizės produktus įsisavintų polifosfatus kaupiantys organizmai.

1.7. Technologinės schemos, taikomos pirminio dumblo hidrolizės procese

1.7.1. Hidrolizės procesas nuotekų tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje ir pirminiame nusodintuve

Pagal technologinę schemą (4 pav.) pirminis dumblas grąžinamo dumblo siurbliais yra tiekiamas į pirminius nusodintuvus per pirminio dumblo ir valomų nuotekų sumaišymo talpą.

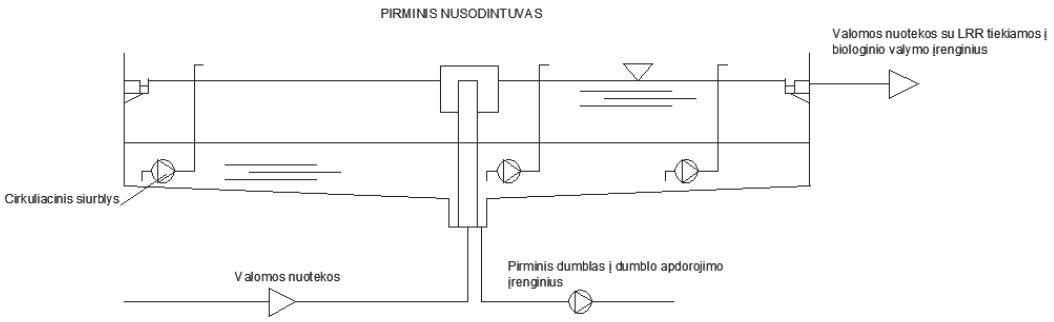


4 pav. Hidrolizės procesas nuotekų tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje ir pirminiame nusodintuve (Rabinowitz *et al.* 2011)

Lakiosios riebalų rūgštys susidarančios pirminio dumblo masėje yra atskiriamos sumaišymu ir pirminio dumblo nusodinimu. Sumaišymo procesas vyksta dumblo talpoje, į kurią patenka recirkuliuojamas pirminis dumblas ir įteka valomos nuotekos. Nuotekų ir dumblo mišinys patenka į pirminį nusodintuvą, kuriame dėl gravitacinių jėgų pirminis dumblas nusėda, o nuotekos ir trumpos grandinės lakiosios riebiosios rūgštys toliau tiekiamos į biologinio valymo įrenginius. Dumblo

kaupimo ir tankinimo zonos storis pirminiuose nusodintuvuose yra formuojamas pagal reikiamą dumblo amžių, pagal kurį susidaro optimalus LRR kiekis. Dumblo išbuvimo trukmė yra nustatoma pagal pirminio dumblo šalinimo režimą pirminio dumblo siurbliais, kurie tiekia pirminį dumblą į dumblo apdorojimo įrenginius. Tokia hidrolizės fermentacijos schema pirma kartą buvo aprašyta Bernardo 1984 metais (Rabinowitz *et al.* 2011).

Technologinė schema, kuri yra pateikta 5 paveiksle, gali būti taikoma be pirminio dumblo ir valomų nuotekų sumaišymo rezervuaro. Tokiu atveju bus naudojami recirkuliaciniai dumblo siurbliai, kurie bus sumontuoti pirminiame nusodintuve (4 pav.). Recirkuliaciniai dumblo siurbliai tieks dumblą iš nusodintuvo dugno į paviršių. Pirminis dumblas, kuriame yra susidariusios LRR, bus sumaišomas su atitekančiomis nuotekomis, kurios bus paskirstytos per pirminio nusodintuvo paskirstymo žiedą. Dėl gravitacinių jėgų pirminis dumblas nusėda, o trumpos grandinės lakiosios riebiosios rūgštys susimaišiusios su nuotekomis toliau tiekiamos į biologinio valymo įrenginius.



5 pav. Hidrolizės procesas pirminiame nusodintuve

Pirminio dumblo hidrolizės proceso technologijos, kai procesas vyksta nuotekų tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje ir pirminiame nusodintuve, privalumai:

- Nesudėtingas veikimo principas.
- Nėra reikalingi papildomi įrenginių procesai.
- Lengva pritaikyti technologija esamiems įrenginiams ir statiniams.

Pirminio dumblo hidrolizės proceso technologijos, kai procesas vyksta nuotekų tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje ir pirminiame nusodintuve, trūkumai:

- Sunku reguliuoti pirminio dumblo amžių.
- Recirkuliuojamas pirminis dumblas gali sukelti pluoštinių medžiagų ir plastiko nusėdimą dumblo masėje, todėl galimas užsikimšimas pirminio dumblo siurbliuose ir vamzdžiuose.

1.7.2. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje ir pirminiame nusodintuve

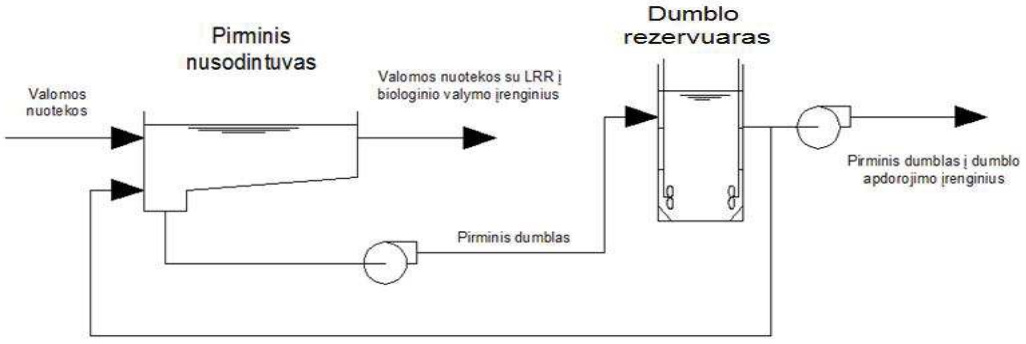
Pagal technologinę schemą (6 pav.) pirminis dumblas pirminio dumblo siurbliais yra nepertraukiamai tiekiamas į pirminio dumblo išbuvimo talpą. Dumblo talpoje sudaromos sąlygos mikroorganizmams skaidyti kompleksinius junginius į LRR. Dumblo talpoje turi būti nustatyta optimali dumblo išbuvimo trukmė, kurios metu susidaro didžiausias LRR kiekis. Dumblo talpoje yra įrengiamos mechaninės maišyklės, kad būtų užtikrintas pirminio dumblo ir LRR sumaišymas ir nesusidarytų sąlygos pirminio dumblo su LRR sėdimui. Dumblo amžius yra valdomas pagal tiekiamą dumblą iš dumblo talpos į dumblo apdorojimo įrenginius. Pirminis dumblas, kuriame yra susidariusios LRR, iš dumblo talpos tiekiamas į pirminius nusodintuvus, kuriuose yra sumaišomas su atitekančiomis nuotekomis. Dėl gravitacinių jėgų pirminis dumblas nusėda, o nuotekos ir lakiosios riebiosios rūgštys toliau tiekiamos į biologinio valymo įrenginius (Rabinowitz *et al.* 2011).

Pirminio dumblo hidrolizės proceso, kuris vyksta dumblo tekėjimo srauto linijoje - dumblo talpoje ir pirminiame nusodintuve, privalumai:

- Nesudėtingas veikimo principas.
- Dalelių apkrova pagal SM pirminiame nusodintuve nepadidėja.
- Palyginti su kitomis naudojamomis technologinėmis schemomis lengvai valdomas dumblo amžius ir hidraulinė išbuvimo trukmė.

Pirminio dumblo hidrolizės proceso, kuris vyksta dumblo tekėjimo srauto linijoje - dumblo talpoje ir pirminiame nusodintuve, trūkumai:

- Recirkuliuojamas pirminis dumblas gali sukelti pluoštinių medžiagų, plastiko nusėdimą dumblo masėje, todėl galimas užsikimšimas pirminio dumblo siurbliuose ir vamzdžiuose.
- Galimas putos formavimasis, kurią yra sunku pašalinti.



6 pav. Hirolizės procesas dumblo tekėjimo linijoje – dumblo talpoje (Rabinowitz *et al.* 2011).

Ši technologinė schema buvo taikyta Pentiktone 1990 metais. Dumblo talpa buvo suprojektuota taip, kad hidraulinis išbuvimo laikas būtų 17 valandų, o dalelių išbuvimo laikas 7

dienos. Tyrimas buvo atliekamas devynis mėnesius 1993–1994 metais, buvo gaunama 17 mg LRR iš litro valomų nuotekų. Tai padėjo sumažinti atitekančio fosforo koncentracija nuo 7,1 iki 0,15 mg/l (Oldham *et al.* 1994).

1.7.3. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – gravitaciniame pirminio dumblo tirštintuve

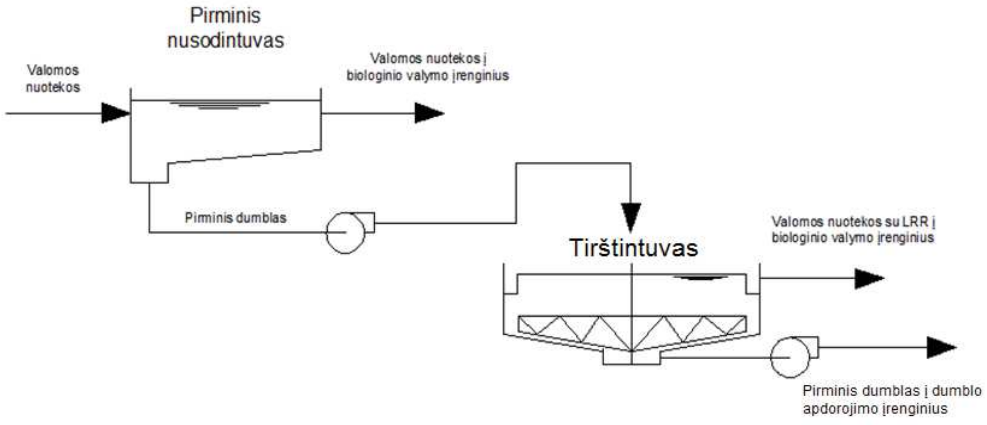
Pirminio dumblo hidrolizės procesas yra galimas gravitaciniuose tirštintuvuose, kai pirminis dumblas yra nepertraukiamai tiekiamas į centrinę gravitacinio tirštintuvo dalį (7 pav.) Tirštintuve pirminis dumblas nusėda ir yra pradedamas tirštinti. Gravitaciniame tirštintuve yra sudaromos tinkamos sąlygos hidrolizę vykdantiems mikroorganizmas, jie pradeda skaidyti pirminiame dumble esančius kompleksinius junginius į LRR. Su atitekančiu pirminiu dumblu į gravitacinį tankintuvą yra tiekiamas nuotekos, kurios padeda atskirti LRR iš dumblo. LRR kartu su nuotekomis iš tirštintuvų tiekiamos į bioreaktorių, kuriame susidariusios organinės medžiagos panaudojamos denitrifikacijos procesui arba fosforo šalinimo procesui. Dalelių išbuvimo laikas yra valdomas pagal tiekiamą dumblą iš tirštintuvo į dumblo apdorojimo įrenginius, išlaikant reikiamą dumblo amžių (Rabinowitz *et al.* 2011).

Pirminio dumblo hidrolizės proceso, kuris vyksta dumblo tekėjimo srauto linijoje – gravitaciniame pirminio dumblo tirštintuve, privalumai:

- Pirminis dumblas yra sutankinamas iki 5–8 procentų (pagal sausas medžiagas).

Pirminio dumblo hidrolizės proceso, kuris vyksta dumblo tekėjimo srauto linijoje – gravitaciniame pirminio dumblo tirštintuve, trūkumai:

- Tirštintuvuose reikalingas grėbimo mechanizmas.
- Lakiųjų riebalų rūgčių susidarymas ir atskyrimas iš dumblo vieno proceso metu sunkina eksploataciją.



7 pav. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – gravitaciniame pirminio dumblo tirštintuve (Rabinowitz *et al.* 2011).

Mokslininkai teigia, kad taikant šią technologinę schemą, LRR išskirtas kiekis buvo 24 mg/l, tai padėjo sumažinti fosforo kiekį iki 0,10 mg/l. Tyrimas buvo atliekamas dvejus metus, o dumblo amžius buvo 15 dienų (Oldham *et al.* 1994).

1.7.4. Hidrolizės procesas vyksta dumblo tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje, gravitaciniame tirštintuve

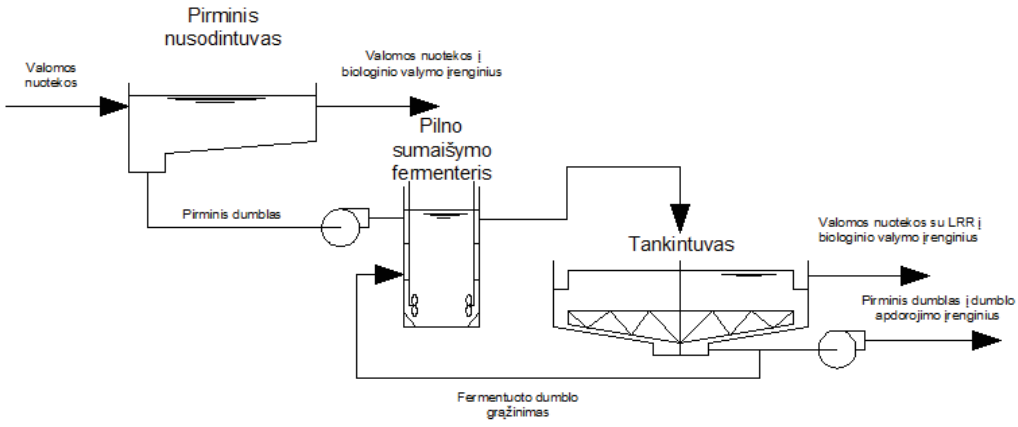
Technologinė schema (8 pav.) susideda iš pirminio nusodintuvo, dumblo talpos, gravitacinio tirštintuvo. Pirminis dumblas iš pirminių nusodintuvų nepertraukiamai yra tiekiamas į dumblo talpą su mechaninėmis maišyklėmis, kur vyksta hidrolizės procesas. Dumblo talpoje persipylęs dumblas yra tiekiamas į gravitacinį tirštintuvą, kuriame atskiriamas skystis ir kietosios medžiagos. Atskirtame dumblo skystyje yra susidariusių TGLRR, kurios yra tiekiamos tiesiai į biologinio valymo įrenginius. Dalis susidariusių TGLRR lieka dumble, todėl yra taikoma dumblo recirkuliuoja iš gravitacinio tirštintuvo dugno į dumblo talpą. Dumblo amžius yra valdomas pagal tiekiamą dumblą iš tirštintuvo į dumblo apdorojimo įrenginius (Rabinowitz *et al.* 2011).

Pirminio dumblo hidrolizės proceso, kuris vyksta dumblo tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje, gravitaciniame tirštintuve, privalumai:

- Dalelių apkrova pagal SM pirminiame nusodintuve nepadidėja.
- Fermentuojamas pirminis dumblas yra sutankinamas iki 5–8 procentų (pagal sausas medžiagas).

Pirminio dumblo hidrolizės proceso, kuris vyksta dumblo tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje, gravitaciniame tirštintuve, trūkumai:

- Galimas putų formavimasis, kurį sunku pašalinti.
- Recirkuliuojamas pirminis dumblas gali sukelti pluoštinių medžiagų, plastiko nusėdimą dumblo masėje, todėl galimas užsikimšimas pirminio dumblo siurbliuose ir vamzdžiuose.

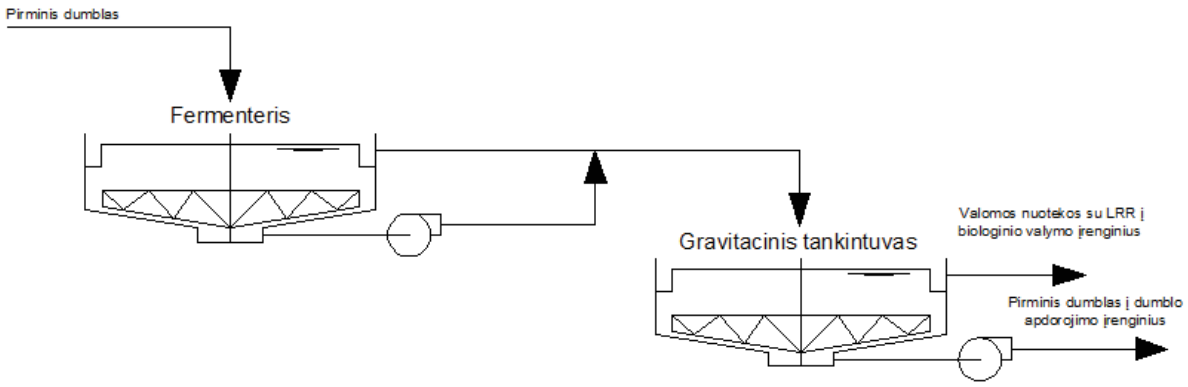


8 pav. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – dumblo talpoje, gravitaciniame tirštintuve (Rabinowitz *et al.* 2011).

Ši technologija buvo vykdoma Montanoje, Amerikoje. Dalelių išbuvimo laikas buvo 12 dienų. Tyrimais buvo nustatyta, kad susidarė 58 mg/l LRR (Oldham *et al.* 1994).

1.7.5. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – vienodos konstrukcijos fermentacijos ir tirštinimo įrenginyje

Technologinė schema (9 pav.) susideda iš dviejų gravitacinių tirštintuvų vienoje dumblo linijoje. Pirmas tirštintuvas yra valdomas kaip fermentacijos įrenginys ir jame susidariusios LRR yra tiekiamos į antrą tirštintuvą, kuriame LRR yra atskiriamos iš pirminio dumblo.



9 pav. Hidrolizės procesas dumblo tekėjimo srauto linijoje – vienodos konstrukcijos fermentacijos ir tirštinimo įrenginyje (Rabinowitz *et al.* 2011).

Dumblo amžius pirmame tirštintuve yra valdomas pagal siurblio darbo režimą. Plūduriuojančios tirštintuvo paviršiuje lakiosios riebalų rūgštys kartu su valomomis nuotekomis yra tiekiamos tiesiai į biologinio valymo įrenginius. Taip pat pirminis dumblas yra tiekiamas į dumblo apdorojimo įrenginius.

Pirminio dumblo hidrolizės proceso, kuris vyksta dumblo tekėjimo srauto linijoje - vienodos konstrukcijos fermentacijos ir tirštinimo įrenginyje, privalumai:

- Fermentuojamas pirminis dumblas yra sutankinamas iki 5–8 procentų (pagal sausas medžiagas).
- Galimas tikslus dumblo amžiaus valdymas.

Pirminio dumblo hidrolizės proceso, kuris vyksta dumblo tekėjimo srauto linijoje - vienodos konstrukcijos fermentacijos ir tirštinimo įrenginyje, trūkumai:

- Reikalingas aukštas gravitacinio tirštintuvo sukimo momentas.

1.8. Aplinkos ir technologiniai parametrai

1.8.1. pH poveikis

Lakiųjų riebalų rūgščių susidarymas yra jautrus aukštoms ir žemoms pH vertėms. Rūgčių susidarymas dažniausiai vyrauja prieš metano susidarymą, kai pH vertės yra 6,5 ir mažesnės. Tačiau

geriausios sąlygos pirminio dumblo hidrolizės procesui yra sudaromos, kai pH ribos yra tarp 4,8 ir 6,0. Didėjančios pH vertės iki 7,0 nedarys įtakos lakiųjų riebalų rūgščių susidarymui, o mažesnės pH reikšmės yra naudingos, nes jos slopina metaną formuojančių mikroorganizmų augimą. (Rabinowitz *et al.* 2011).

Mokslininkai nustatė, kad pH daro įtaką priklausomai nuo lakiųjų riebalų rūgščių tipo, koncentracijos ir proceso (Joubert, Britz 1986). Acto rūgštis gauta anaerobinio pūdymo proceso metu geriausios pH reikšmės buvo tarp 6,5 ir 7,0, propiono rūgšties ribos buvo tokios pačios. O nagrinėjant pirminio dumblo hidrolizę dumblo talpoje buvo nustatyta, kad optimaliausios pH reikšmės rūgščių susidarymui yra nuo 5,9 iki 6,4, tačiau pH didėjimas iki 7,0 didelio poveikio nedarys.

Dėl LRR gamybos pH ribos sumažėja, o hidrolizės procesas slopinamas, kai pH vertės yra mažesnis už 5,5 (Janssen *et al*. 2002). PH sumažėjimas susijęs su LRR gamyba yra nustatomas pagal nuotekų šarmingumą. Didesnė dumblo koncentracija ir žemas šarmingumas, parodo žemas pH reikšmes, o tai gali slopinti LRR gamybos procesą pirminiame dumble (Janssen *et al*. 2002).

1.8.2. Temperatūros poveikis pirminio dumblo hidrolizėje

Pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumui ir LRR susidarymui didžiausią įtaką daro dumblo amžius ir temperatūra. Priklausomai nuo temperatūros ribų, kuriuose veikia hidrolizės procesas, hidrolizę atlieka skirtingi mikroorganizmai. Įvairių projektų ir tyrimų duomenimis buvo nustatyta, kad geriausios temperatūros ribos, kurios sąlygoja LRR susidarymą iš pirminio dumblo hidrolizės proceso, ribos yra 25–30 ^{o}C. Kai kurie mokslininkai teigia, kad LRR produkcijos ribos yra tarp 10–30 ^{o}C (Gupta *et al.* 1985). Žemesnė temperatūra mažina LRR susidarymą, tokiu atveju žemesnės temperatūros buvimas procese yra kompensuojamas ilgesniu dumblo išbuvimu hidrolizės talpose (Janssen *et al*. 2002). Dėl to išbuvimo laikas vasarą, kai proceso temperatūra yra virš 16 ^{o}C, turi būti nuo 3 iki 5 dienų, o išbuvimo laikas žiemą turi būti nuo 4 iki 8 dienų, kai temperatūra yra mažesnė už 15 ^{o}C. (Rabinowitz *et al.* 2011).

1.8.3. Dumblo amžius

Dumblo amžius yra vienas pagrindinių technologių parametrų turinčių įtakos pirminio dumblo hidrolizės procesui, dėl to, kad jis apibrėžia fermentacinių organizmų grupių augimą sistemoje. Jei dumblo amžius yra per trumpas daugelis fermentacinių bakterijų bus išplaunamos iš sistemos ir nebus užtektinai bakterijų, kurios suformuos lakiąsias riebalų rūgštis. Jei dumblo amžius yra per ilgas, tada padidės metaną formuojančių bakterijų koncentracija. (Rabinowitz *et al.* 2011). Mokslininkų nustatytos dumblo amžiaus reikšmės, kai susidaro LRR, pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Dumblo amžiaus reikšmės

Eilės Nr.	Dumblo amžius	Šaltinis
1	3–8 dienų	Miron et *al.*2000
2	3–7 dienų	Ubay-Cokgor *et al.* 2005
3	3–8 dienų	Rabinowitz *et al.* 2011
4	2–8 dienų	Rybicki 2014

1.8.4. Hidraulinė išbuvimo trukmė

Hidraulinė išbuvimo trukmė (HIT) priklauso nuo reaktoriaus talpos tūrio ir pirminio dumblo siurbimo dažnumo. HIT yra naudojamas atsižvelgiant į pirminio dumblo talpos projektavimą, padeda tiksliai nustatyti dumblo talpos darbo režimą. HIT gali būti kontroliuojama pagal pirminio dumblo siurblio darbo režimą ir atitekančių valomų nuotekų, kurios papildo pirminį nusodintuvą ar gravitacinį tirštintuvą (Rabinowitz *et al.* 2011). Jeigu sistemoje nėra taikoma dumblo cirkuliacija, dumblo amžius yra lygus dumblo išbuvimo trukmei.

1.9. Literatūros apžvalgos apibendrinimas

1. Siekiant apsaugoti gamtinę aplinką nuo biogeninių medžiagų (azoto, fosforo) poveikio, kuris gali sukelti eutrofikacijos procesą, būtina užtikrinti reikalaujamą nuotekų išvalymo kokybę pagal azoto ir fosforo rodiklius. Tam, kad mikroorganizmai galėtų efektyviai šalinti iš nuotekų biogenines medžiagas, reikalingas tam tikras C:N:P santykis, kuris mikroorganizmams optimalus, kai C:N:P = 100:5:1. Valomose nuotekose šis santykis būna 100:17:5; 100:18:5,5, po pirminių nusodintuvų – 100:19:6. Pagal šį santykį daugumoje nuotekų valyklų yra biogeninių medžiagų perteklius organinės anglies atžvilgiu, todėl ne visada pavyksta užtikrinti reikalaujamą valytų nuotekų kokybę pagal fosforo ir azoto junginius. Dėl organinių medžiagų trūkumo yra reikalingas papildomas anglies šaltinis. Šiuo tikslu gali būti naudojamos kompleksinių organinių medžiagų skilimo produktas lakiosios riebalų rūgštys.

2. Pirminio dumblo hidrolizės reakcijų metu, veikiant mikroorganizmų neląsteliniams fermentams, sunkiai biologiškai skaidomas substratas yra paverčiamas į lakiąsias riebalų rūgštis (LRR). Hidrolizės proceso metu padidintas lengvai biologiškai skaidomų organinių medžiagų kiekis leidžia optimizuoti C:N:P santykį nuotekose ir taip pagerinti veikliojo dumblo mikroorganizmų, šalinančių azoto ir fosforo junginius, funkcijas.

3. Produktų hidrolizės procesui vykdyti šaltiniai – pirminis ir perteklinis dumblas. Iš pirminio dumblo gali susidaryti 0,55–0,9 kg LRR, o iš perteklinio dumblo apie 0,09–0,14 kg LRR iš kilogramo lengvai biologiškai skaidomos ChDS dalies. Pirminio dumblo hidrolizės procesą taikyti yra efektyviau, nes, norint išgauti lakiąsias riebalų rūgštis iš perteklinio dumblo, reikia suskaidyti mikroorganizmų ląsteles.

4. Pagamintų LRR kiekis priklauso nuo pasirinkto technologinio proceso ir aplinkos, technologinių parametrų. Pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumui ir LRR susidarymui didžiausią įtaką daro pH, dumblo išbuvimo trukmė ir temperatūra.

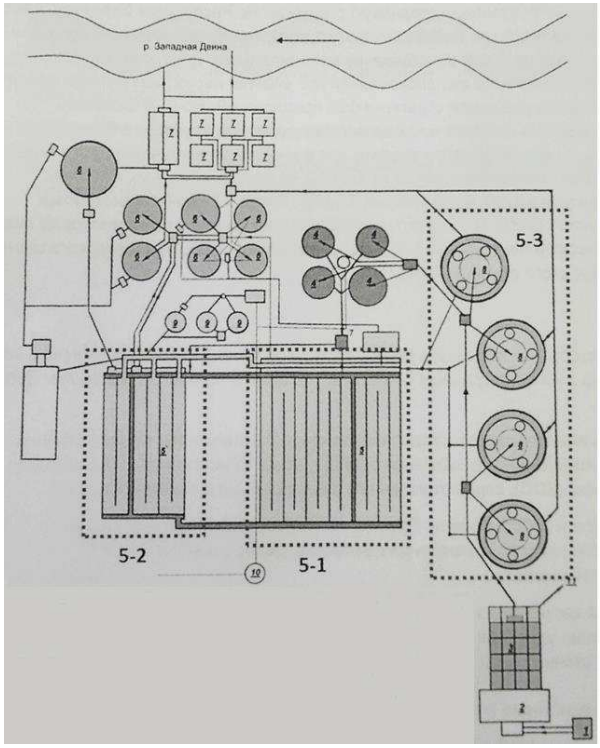
5. LRR susidarymas vyrauja, kai pH ribos yra tarp 4,8 ir 6,5, didėjančios pH vertės iki 7,0 nedaro įtakos LRR susidarymui. Pirminio dumblo hidrolizės procesas slopinamas, kai pH vertės yra mažesnės už 5,5. Priklausomai nuo temperatūros ribų, kuriuose veikia hidrolizės procesas, hidrolizę atlieka skirtingi mikroorganizmai, todėl esant skirtingoms temperatūroms susidaro skirtingas LRR kiekis. LRR produkcijos ribos yra tarp 10–30 ^{o}C. Dumblo išbuvimo trukmė apibrėžia fermentacinių organizmų grupių augimą sistemoje. Pirminio dumblo hidrolizei vykti dumblo išbuvimo ribos yra 2–8.

6. Apžvelgus mokslinę literatūrą nustatyta, kad aplinkos ir technologiniai parametrai, kurie daro įtaką LRR susidarymui, yra pateikti plačiose ribose. Atliktas tyrimas ir jo rezultatų analizė leistų tiksliau įvertinti aplinkos ir technologinių parametrų reikšmes.

2. TYRIMO METODIKA

2.1. Vitebsko nuotekų valyklos apibūdinimas

Vitebskas yra Baltarusijos šiaurės rytuose esantis miestas, kuriame gyvena 366300 žmonių. Vitebsko nuotekų valymo įrenginiai yra skirti Vitebsko miesto ir aplinkui miestą esančių kaimų buitinėms ir pramoninėms nuotekoms valyti. Šie valymo įrenginiai yra pastatyti ant Dauguvos upės kairiojo kranto, Vitebsko miesto pietrytinėje dalyje. Vitebsko nuotekų valykla pastatyta 1991 metais. Nuotekų valykloje nuotekos valomos parengtinio, biologinio valymo įrenginiuose. Preliminari Vitebsko nuotekų valyklos technologinė schema pateikta 10 paveiksle.



10 pav. Vitebsko nuotekų valyklos technologinė schema: 1- priėmimo kamera. 2 – grotų pastatas. 3 – smėliagaudės. 4 – pirminiai nusodintuvai. 5-1 – pirmos eilės aerotankas (blokas Nr. 1). 5-2 – antros eilės aerotankas (blokas Nr. 2). 6 – antriniai nusodintuvai. 7 – kontaktiniai rezervuarai. 8 – bioblokai. 9 – dumblo tankinimo įrenginiai. 10 – nuosėdų tiekimo siurblinė. 11 – smėlio bunkeriai.

Vitebsko nuotekų valykloje nuotekos valomos biologiniu būdu, tačiau nėra biologinio azoto bei fosforo šalinimo. Siekiant pagerinti išleidžiamų nuotekų kokybę, numatyta vadovautis naujomis į gamtinę aplinką išleidžiamų nuotekų užterštumų normomis pagal HELCOM reikalavimus:

$BDS_5 \leq 15\ mgO_2/l.$

$N_b \leq 10\ mg/l.$

$P_b \leq 0{,}5\ mg/l.$

Siekiant užtikrinti HELCOM reikalavimus pagal bendrąjį azotą ir fosforą, numatyta rekonstruoti esamus nuotekų valymo įrenginius. Esami aerotankai rekonstruojami į bioreaktorius su azoto ir fosforo šalinimu. Tam, kad azotas ir fosforas būtų tinkamai pašalinamas iš nuotekų, turi būti užtikrintas reikiamas organinių medžiagų kiekis. 3.2. skyriuje yra įvertintas organinių medžiagų poreikis iš išorinio anglies šaltinio, kai pirminio dumblo hidrolizės procesas yra netaikomas ir, kai pirminio dumblo hidrolizės procesas yra taikomas.

2.1.1. Pirminio dumblo hidrolizės įvertinimas prieš biologinį nuotekų valymą

Pagal laboratoriniais tyrimais nustatytą susidariusį organinių medžiagų kiekį, yra nustatoma $ChDS_{tirp.}$ koncentracija prieš biologinį nuotekų valymą, kai į nuotekas tiekiamas hidrolizuotas dumblas. $ChDS_{tirp.}$ koncentracija prieš biologinį nuotekų valymą apskaičiuojama pagal (1) formulę:

$$X_{ChDSfilt.po\ hidr.} = \frac{X_{ChDS\ hidr.} \cdot Q_d + X_{ChDS\ nuot.} \cdot Q_{pir.d.}}{Q_d + Q_{pir.d.}}, mg/l; \quad (1)$$

$X_{\text{ChDS po hidr.}}$ – $ChDS_{tirp.}$ koncentracija po pirminių nusodintuvų įvykdžius hidrolizę, mgO_2/l.

$X_{\text{ChDS nuot.}}$ – nuotekų $ChDS_{tirp.}$ koncentracija po pirminių nusodintuvų prieš hidrolizę, koncentracija nustatoma atlikus statistinį duomenų apdorojimą, mgO_2/l.

Q_d – į nuotekų valyklą atitekantis vidutinis nuotekų debitas, m^3/d.

$X_{\text{ChDS hidr.}}$ – $ChDS_{tirp.}$ koncentracija hidrolizuoto dumblo, mg/l.

$Q_{\text{pir.d.}}$ – pirminio dumblo kiekis, m^3/d.

Pirminio dumblo kiekis pagal sausas medžiagas apskaičiuojamas pagal (2) formulę:

$$M_{pir.d.} = \frac{(X_{SM\ nuot.} - X_{SM\ po\ nusod.}) \cdot Q_d}{1000}, kg/d; \quad (2)$$

čia: $X_{\text{SM nuot.}}$ – skendinčių medžiagų koncentracija valomose nuotekose prieš pirminius nusodintuvus, mg/l.

$X_{\text{SM po nusod.}}$ – skendinčių medžiagų koncentracija valomose nuotekose po pirminius nusodintuvų, mg/l.

Q_d – į nuotekų valyklą atitekantis vidutinis nuotekų debitas, m^3/d.

Pirminiuose nusodintuvuose sulaikyto pirminio dumblo kiekis pagal tūrį apskaičiuojamas pagal (3) formulę:

$$Q_{pir.d.} = \frac{M_{pir.d.}}{a_{pir.d.}}, m^3/d; \quad (3)$$

čia: $M_{\text{pir.d.}}$ – pirminio dumblo kiekis pagal sausas medžiagas, kg/d.

$a_{\text{pir.d.}}$ – pirminio dumblo koncentracija, $kg \cdot SM/m^3$, $a_{pir.d.} = 40\ kg \cdot SM/m^3$.

Laboratoriniais tyrimais yra nustatoma optimali dumblo išbuvimo reikšmė, kai susidaro didžiausias $ChDS_{tirp.}$ kiekis. Nustatyta optimali dumblo išbuvimo reikšmė turi būti užtikrinama pirminiuose nusodintuvuose. Užtikrinti pirminio dumblo hidrolizės trukmę pirminiuose nusodintuvuose, reikia nustatyti palaikomą dumblo aukštį.

Dumblo užimamas tūris pirminiuose nusodintuvuose apskaičiuojamas pagal (4) formulę:

$$V_{pir.d.} = Q_{pir.d.} \cdot d, m^3; \quad (4)$$

čia: $Q_{pir.d.}$ – pirminiuose nusodintuvuose sulaikyto pirminio dumblo kiekis, m^3/d.

d – pirminio dumblo hidrolizės trukmė, kai susidarė optimalus organinių medžiagų kiekis, paros.

Dumblo aukštis nusodintuvuose, kuris užtikrintų reikiamą pirminio dumblo hidrolizės trukmę apskaičiuojamas pagal (5) formulę:

$$h_{pir.d.} = \frac{V_{pir.d.}}{A_{nuos.pav.}}, m^3; \quad (5)$$

$V_{pir.d.}$ – dumblo užimamas tūris pirminiuose nusodintuvuose, m^3.

$A_{nuos.pav.}$ – pirminių nusodintuvų paviršiaus plotas, m^2.

2.1.2. Duomenų statistinis apdorojimas

Surinkti duomenys apdoroti matematiniais statistiniais metodais. Duomenų vertės yra atsitiktiniai dydžiai, todėl jos naudojamos laikantis atitinkamų reikalavimų:

- Rodiklio negali apibūdinti viena kuri jo reikšmė.
- Pagrindiniais rodiklio parametrais laikytini reikšmių aritmetinis vidurkis ir imties standartinis nuokrypis.
- Aritmetinis vidurkis taip pat yra atsitiktinis dydis, todėl turi būti nurodomos jo pasikliovimo ribos.
- Patikimais laikytini dydžiai, kurių tikimybė yra intervale nuo 2,5 % iki 97,5 %.
- Nepatikimų reikšmių turi būti nepaisoma.

Kurio nors rodiklio x reikšmių (x_i) aritmetinis vidurkis apskaičiuojamas pagal (6) formulę:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}; \quad (6)$$

čia: n – rodiklio analizių skaičius.

Rodiklio imties standartinis nuokrypis apskaičiuojamas pagal (7) formulę:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}; \quad (7)$$

čia: n – rodiklio reikšmių skaičius.

$\bar{x}$ – rodiklio reikšmių (x_i) aritmetinis vidurkis.

x_i – i-tojo rodiklio reikšmė; s – rodiklio imties standartinis nuokrypis.

Pagal apskaičiuotus parametrus tikrinamas duomenų patikimumas. Pasirinkus 95 % patikimumo pasikliautinąjį intervalą, statistiškai patikimos reikšmės turi tenkinti (8) formulės sąlygą:

$$|x_i - \bar{x}| \leq 2s; \tag{8}$$

čia: $\bar{x}$ – rodiklio reikšmių (x_i) aritmetinis vidurkis.

x_i – i-tojo rodiklio reikšmė.

s – rodiklio imties standartinis nuokrypis.

Šios sąlygos netenkinančios rodiklio reikšmės atmetamos, nes yra už 95 % patikimumo pasikliautinojo intervalo ribos. Atmetus nepatikimas reikšmes, rodiklio reikšmių aritmetinis vidurkis bei imties standartinis nuokrypis skaičiuojami iš naujo ir vėl tikrinama aukščiau nurodyta sąlyga. Tai kartojama, kol lieka tik šią sąlygą tenkinančios rodiklio reikšmės.

Skaičiuotinos teršalų koncentracijos skaičiuojamos pagal (9) formulę:

$$x_{sk} = \bar{x} + \frac{t_{95} \cdot s}{\sqrt{n}}; \tag{9}$$

čia: t_{95} – Stjudento pasiskirstymo parametras, kurio dydis priklauso nuo pasikliautinojo intervalo tikimybės ir duomenų skaičiaus.

s – vidutinis kvadratinis nuokrypis.

n – pasirinktų reikšmių skaičius.

2.2. Laboratoriniai tyrimai

Pirminio dumblo hidrolizės laboratoriniai tyrimai vykdomi tam, kad laboratorinėmis sąlygomis būtų nustatyta optimali pirminio dumblo hidrolizės proceso trukmė, kuriai esant hidrolizės procesas vyko efektyviausiai. Tyrimams naudotas Vitebsko miesto, esančio Baltarusijoje, (tyrimas Nr. 1) ir Vilniaus miesto (tyrimas Nr. 2) nuotekų valyklų pirminiuose nusodintuvuose susidaręs pirminis dumblas. Taip pat atliktas pakartotinis tyrimas (tyrimas Nr. 3), tyrime naudotas Vitebsko miesto nuotekų valykloje susidaręs pirminis dumblas. Vitebsko nuotekų valykloje dumblo paėmimo vieta buvo pirminio dumblo siurblinė, o Vilniaus nuotekų valykloje – dumblo apdorojimo techninis pastatas. Tyrimai atlikti VGTU Vandentvarkos laboratorijoje. Tyrimai vyko 2017 metų liepos 3–28 dienomis, 2018 metų gegužės 7–18 dienomis.

2.2.1. „Batch“ testas

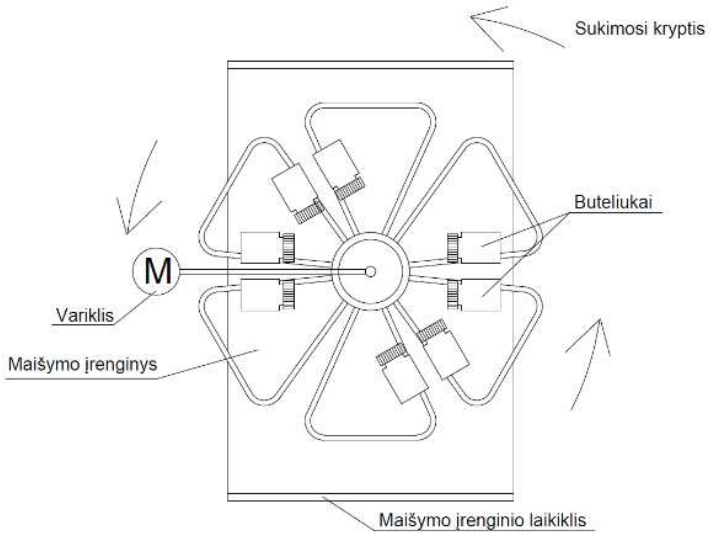
Piminio dumblo „Batch” eksperimentas atliktas siekiant nustatyti trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių susidarymo ribas kiekvieną dumblo išbuvimo dieną. „Batch“ testo metu atvežtas pirminis dumblas išmaišytas ir išpilstytas į 8 stiklinius indus po 100 ml (11 pav.).



11 pav. Tyrimams naudoti 100 ml inkubaciniai buteliukai

Buteliukai pritvirtinti prie judančio įrenginio, kuris užtikrino, kad dumblas viso tyrimo metu būtų skendinčioje būsenoje. Bandymo stendo principinė schema pateikta 12 paveiksle.

Visu eksperimento laikotarpiu naudotas maišymo įrenginys, kuris užtikrino nepertraukiamą maišymą (11 pav.).



12 pav. Bandymo stendo principinė schema

Pirmąją ir antrąją tyrimų dieną rodiklių analizė nebuvo atliekama, nes literatūroje nurodoma, kad efektyviam hidrolizės procesui vykti yra būtinos 3–8 paros (Rabinowitz *et al.* 2011).

Pradedant trečiąja dumblo išbuvimo diena, kiekvieną dieną tuo pačiu laiku nuimama po vieną stiklinį indą ir nustatomos tokių rodiklių reikšmės: cheminis deguonies suvartojimas dumblo vandenyje ($ChDS_{tirp.}$), biocheminis deguonies suvartojimas dumblo vandenyje (BDS_7), lakiosios

riebalų rūgštys dumblo vandenyje (LRR), sausos medžiagos dumble (SM), bepelenės sausos medžiagos dumble (BSM), dumblo pH ir temperatūra. Dumblo vanduo nuo dumblo atskirtas jį filtruojant pro filtrą „raudona juosta“. Siekiant apskaičiuoti pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumą, nustatytos ir minėtųjų rodiklių reikšmės prieš pradedant bandymą. Nagrinėtų reikšmių nustatymo metodikos pateiktos 2.2.2 skyriuje. Tiriamųjų rodiklių nustatymo dažnumas pateikiamas 3 lentelėje.

3 lentelė. Atvežto pirminio dumblo tyrimo ir „Batch” testo rezultatai.

Data / Parametras	7/3/2017	7/4/2017	7/5/2017	7/6/2017	7/7/2017	7/8/2017	7/9/2017	7/10/2017	7/11/2017	7/12/2017	7/13/2017
Atvežtinis dumblas											
SM, g/l	x										
BSM, g/l	x										
$ChDS_{tirp.}$, mgO_2/l	x										
BDS_7, mgO_2/l	x										
LRR, mg/l	x										
t, °C	x										
pH	x										
„Batch” testo metu											
Mėginys ir išbuvimo diena		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
SM, g/l				x	x	x	x	x	x	x	x
BSM, g/l				x	x	x	x	x	x	x	x
$ChDS_{tirp.}$, mgO_2/l				x	x	x	x	x	x	x	x
BDS_7, mgO_2/l				x	x	x	x	x	x	x	x
LRR, mg/l				x	x	x	x	x	x	x	x
t, °C				x	x	x	x	x	x	x	x
pH				x	x	x	x	x	x	x	x

Pastaba: t – pirminio dumblo temperatūra, ℃; SM – sausosios medžiagos, g/l; BSM – bepelenės sausosios medžiagos, g/l; LRR – lakiosios riebiosios rūgštys, mekv/l; LRR_{Hac} – lakiosios riebiosios rūgštys nustatytos pagal acto rūgštį (acetatą) mg/l, $ChDS_{tirp.}$– cheminio deguonies suvartojimas dumblo vandenyje, mgO_2/l; BDS_7 – biocheminis deguonies suvartojimas dumblo vandenyje, mgO_2/l.

„Batch“ tyrimo metu apskaičiuotas $ChDS_{tirp.}$, BDS_7, TGLRR susidarymas, SM ir BSM suskaidymas pagal (10) formulę:

$$X_n = C_n - C_{n-1}, mg/l; \quad (10)$$

čia: X_n – $ChDS_{tirp.}$, BDS_7, TGLRR susidaręs ar BSM suskaidytas kiekis atitinkamą priminio dumblo išbuvimo dieną, mg/l; C_n – $ChDS_{tirp.}$, BDS_7, TGLRR, BSM koncentracija skaičiuojamą pirminio dumblo išbuvimo dieną, mg/l; C_{n-1} – $ChDS_{tirp.}$, BDS_7, TGLRR, BSM koncentracija prieš skaičiuojamą pirminio dumblo išbuvimo dieną, mg/l.

Taip pat atliktas pakartotinis „Batch“ testas (tyrimas Nr. 3), kurio metu pirminis dumblas išlaikomas 8 paras. Pakartotinio tyrimo metu pradedant ketvirtąja dumblo išbuvimo dieną, kiekvieną dieną tuo pačiu laiku nuimama po vieną stiklinį indą ir nustatomos minėtos rodiklių reikšmės.

2.2.2. Rodiklių reikšmių nustatymo metodikos

Mėginio paėmimas, transportavimas

Pirminio dumblo hidrolizės tyrimams mėginiai imti iš Vilniaus ir Vitebsko nuotekų valyklos. Vitebsko nuotekų valykloje dumblo paėmimo vieta buvo pirminio dumblo siurblinė, o Vilniaus nuotekų valykloje – dumblo apdorojimo techninis pastatas. Mėginiai imami vadovaujantis Lietuvos standartu LST EN ISO 5667 – 13 „Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 13 dalis. Nurodymai kaip imti dumblo mėginius (ISO 5667 – 1:2006)” ir „Vandens kokybė. Mėginių ėmimas – 3 dalis: Nurodymai, kaip konservuoti ir tvarkyti vandens mėginius (ISO 5667 – 3:2003).

Kadangi dumble yra pakankamai mažas sausųjų medžiagų, jų kiekis dumble yra 3–6 proc. SM, todėl mėginiams imti reikalingos didesnio tūrio talpos, pirminio dumblas bus pilamas į 10 litrų talpas. Prieš tai talpos turi būti išvalytos ir paruoštos dumblo mėginių ėmimui. Kadangi pirminio dumblo hidrolizės tyrimams naudojamo pirminio dumblo temperatūra turėtų būti apie 20 °C, todėl mėginiai neturi būti įdėti į šaldytuvus. Dideliuose talpose imami mėginiai prieš naudojant turi būti labai gerai išmaišyti, dėl to, kad sausų medžiagų koncentracija gali susikaupti talpos dugne.

Pirminio dumblo pH ir temperatūros nustatymas

Tiriamojo pirminio dumblo pH nustatymas atliktas remiantis Lietuvos standartu „LST ISO 10523:2009. Vandens kokybė. pH nustatymas”.

Pirminio dumblo mėginio pH vertės nustatytos potenciometriniu metodu – nustatymas atliktas pH - metro naudojimo instrukcija. Vilniaus Gedimino technikos laboratorijoje yra naudojamas pHmetras InoLab pH 720. InoLab pH 720 taip pat gali matuoti ir temperatūra.

Pirminio dumblo koncentracijos ir bepelenių medžiagų koncentracijos nustatymas

Sausųjų medžiagų ir bepelenių sausų medžiagų koncentracija nustatyta remiantis Lietuvos standartu LST EN 15934:2012. „Dumblo apibūdinimas. Sausos masės nuostolių iškaitinant nustatymas”.

Sausųjų medžiagų koncentracija SM gramais litre apskaičiuojama pagal (11) formulę (LST EN 15934:2012):

$$SM = \frac{(m_2 - m_1)\cdot 1000}{V_b}, g/l; \quad (11)$$

čia: m_2 – lėkštelės su mėginiu masė po džiovinimo, g.

m_1 – lėkštelės masė, g.

V_b – mėginio tūris, ml.

Pirminio dumblo bepelenių medžiagų koncentracija BSM gramais litre apskaičiuojama pagal (12) formulę (LST EN 12880:2002):

$$BSM = \frac{(m_2 - m_1)\cdot 1000}{V_b}, g/l; \quad (12)$$

čia: m_2 – lėkštelės su mėginiu masė po džiovinimo, g.

m_1 – lėkštelės masė, g.

V_b – mėginio tūris, ml.

Lakiųjų riebalų rūgščių nustatymas

Pirminio dumblo lakiųjų riebiųjų rūgščių koncentracija nustatyta remiantis UAB „Kauno vandenys“ standartine veiklos procedūra „Lakiųjų organinių rūgščių ir šarmingumo nustatymas“.

Dumblas filtruojamas pro filtrą raudona juosta. Į dvi konusines kolbas supilama po 10 ml filtrato ir įpilama po 10 ml distiliuoto vandens. Į vieną kolbą įlašinami 5 lašai maišyto indikatoriaus ir titruojama 0,1 N druskos rūgštimi iki violetinės spalvos atsiradimo. Į antra kolbą įlašinama 5 lašai metileno raudono ir titruojama 0,1 N druskos rūgštimi iki ryškiai oranžiniai raudonos spalvos.

Lakiosios riebiosios rūgštys apskaičiuojamas pagal (13) formulę:

$$K = \frac{(a-b)\cdot 0{,}1\cdot 1000}{V}, mg - ekv/l; \quad (13)$$

čia: a – 0,1 N druskos rūgšties kiekis sunaudotas titruojant su maišytu indikatoriumi.

b – 0,1 N druskos rūgšties kiekis sunaudotas titruojant su metilo raudonu.

V – dumblo filtrate kiekis, ml.

Ištirpusio deguonies koncentracijos nustatymas

Ištirpusi deguonies koncentracija nustatyta remiantis Lietuvos standartu LAND 47 – 1:2007 „Vandens kokybė. Biocheminio deguonies suvartojimo per n parų (BDS_n) nustatymas". Apdorotas analizuojamas vandens mėginys praskiedžiamas skiedimo vandeniu, prisotinto deguonies. Mėginys inkubuojamas esant 20 °C temperatūrai, tamsoje, iki viršaus pripildytuose ir užkimštuose buteliukuose 7 paras. Išmatuojama koncentracija prieš ir po inkubacijos periodo. Apskaičiuojamas suvartotas deguonies kiekis mėginiui.

Biocheminio deguonies suvartojimas per 7 paras apskaičiuojamas pagal (14) formulę:

$$BDS_7 = \left[(c_1 - c_2) - \frac{V_t - V_e}{V_t} \cdot (c_3 - c_4)\right] \cdot \frac{V_t}{V_e}, mgO_2/l; \quad (14)$$

čia: c_1 – ištirpusio deguonies koncentracija viename iš tiriamųjų mėginių nuliniu laiko momentu, mg/l.

c_2 – ištirpusio deguoies koncentracija tame pačiame mėginyje po 7 parų inkubacijos, mg/l.

c_3 – ištirpusio deguonies koncentracija tusčiame mėginyje nuliniu laiko momentu, mg/l.

c_4 – ištirpusio deguonies koncentracija tusčiame mėginyje po 7 parų inkubacijos, mg/l.

V_e – analizei paimtas mėginio tūris, ml.

V_t – bendras nustatomojo mėginio tūris, ml.

Cheminio deguonies suvartojimo koncentracijos nustatymas

Cheminio deguonies suvartojimo koncentracija nustatoma pagal Lietuvos standartą LAND 83 – 2006 „Vandens kokybė. Cheminio deguonies suvartojimo nustatymas". Tiriamas mėginys yra kaitinamas nustatytą laiką kondensatorinėje aparatūroje su žinomu kalio bichromato kiekiu sieros rūgšties tirpale. Kaitinimo metu oksiduojanti medžiaga sunaudoja dalį bichromato. Bichromato perteklius nutitruojamas, vertė apskaičiuojama pagal sunaudotą bichromato kiekį.

Cheminio deguonies suvartojimas apskaičiuojamas pagal (15) formulę:

$$ChDS = \frac{8000 \cdot c \cdot (V_1 - V_2)}{V_o}, mg/l; \quad (15)$$

čia: c – amonio-geležies (II) sulfato koncentracija, nustatyta pagal 12.9 punktą (moliais litre).

V_0 – mėginio tiriamosios dalos tūris prieš skiedimą (jei mėginys skiestas) (mililitrais).

V_1 – amonio-geležies (II) sulfato tūris, sunaudotas tuščiojo mėginio titravimui (mililitrais).

V_2 – amonio-geležies (II) sulfato tūris, sunaudotas mėginio tiriamosios dalos titravimui (mililitrais).

8000 – 1/2 O_2 molinė masė (miligramais litre).

2.2.3. Trumpos grandinės lakiųjų riebiųjų rūgščių nustatymas

Pirminio dumblo hidrolizės literatūros apžvalgos metu pastebėta, kad lakiųjų riebalų rūgčių susidarymas yra analizuojamas perskaičiuojant jį pagal TGLRR sudėtį (Ubay Cokgor *et al.* 2005; Rybicki 2014). Pagal LRR tyrimo metodiką (SVP 2012) yra gaunamas LRR kiekis *mg-ekvl/l*. Tam, kad būtų galima nustatyti LRR kiekį mg/l, reikia jį išreikšti pagal acto rūgštį (Ubay Cokgor *et al.* 2005; Rybicki 2014). LRR ekvivalentas yra perskaičiuojamas į acto rūgštį pagal (16) formulę:

$$LRR_{Hac} = LRR \cdot E_{Hac}, mg/l; \quad (16)$$

LRR_{Hac} – lakiųjų riebalų rūgščių kiekis perskaičiuotas pagal acto rūgštį, mg/l.
LRR – lakiųjų riebalų rūgščių kiekis, mg-ekv/l.
E_{Hac} – acto rūgšties ekvivalentas, E_{Hac} = 60,5 ekv.

Lakiosios riebalų rūgštys yra sudarytos ne tik iš acto rūgšties (1 lentelė), o ir iš kitų LRR, todėl apskaičiuojant TGLRR yra taikomas koeficientas, įvertinantis lakiųjų riebalų rūgščių sudėtį (Ubay Cokgor *et al.* 2005; Rossle *et al.* 2001). TGLRR yra apskaičiuojama pagal (17) formulę:

$$TGLRR = LRR_{Hac} \cdot k, mg/l; \quad (17)$$

čia: *TGLRR* – trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių kiekis, mg/l.
k – koeficientas, įvertinantis lakiųjų riebalų rūgščių sudėtį ir taikomas, kai nėra galimybės nustatyti LRR sudėties dujų chromatografijos metodu, k =1,30 (Ubay Cokgor *et al.* 2005; Rossle *et al.* 2001).
LRR_{Hac} – lakiųjų riebalų rūgščių kiekis perskaičiuotas pagal acto rūgštį, mg/l.

3. TYRIMO ANALIZĖ IR REZULTATAI

3.1. Pirminio dumblo hidrolizės proceso analizė

Laboratoriniai pirminio dumblo hidrolizės „Batch“ tyrimai atlikti 2017 m. liepos mėnesį bei 2018 m. gegužės mėnesį. Tyrimams naudoto pirminio dumblo charakteristikos pateiktos 4 lentelėje.

4 lentelė. Tyrimams naudoto pirminio dumblo charakteristikos.

	Temp., ˚C	pH	SM, g/l	BSM, g/l	LRR, mekv/l	TGLRR, mg/l	$ChDS_{tirp.}$, mgO_2/l	BDS_7, mgO_2/l
Tyrimas Nr. 1	20,0	7,40	36,20	27,76	7,0	551	1010	521
Tyrimas Nr. 2	20,6	6,10	37,40	25,99	3,0	236	922	496
Tyrimas Nr. 3	20,9	7,30	37,90	29,49	7,5	590	1106	611

Pastaba: Temp. – pirminio dumblo temperatūra, ℃; SM – sausosios medžiagos, g/l; BSM – bepelenės sausosios medžiagos, g/l. LRR – lakiosios riebiosios rūgštys, mekv/l; LRR_{Hac} – lakiosios riebiosios rūgštys nustatytos pagal acto rūgštį, mg/l; TGLRR – trumpos grandinės lakiosios riebiosios rūgštys nustatytos įvertinus lakiųjų rūgščių sudėtį, mg/l; $ChDS_{tirp.}$ – tirpi cheminio deguonies suvartojimo dalis, mgO_2/l; BDS_7 – biocheminis deguonies suvartojimas dumblo vandenyje, mgO_2/l.

Tyrimams naudoto pirminio dumblo charakteristikos nustatomos „Batch“ tyrimo pradžioje prieš supilant dumblą į inkubacinius buteliukus. Tyrimai vykdomi pastovioms aplinkos sąlygomis ir naudojant tą pačią tyrimo metodiką.

Iš 3 lentelės matyti, kad pirminio dumblo temperatūra, nustatyta kiekvieno tyrimo metu buvo panaši. Pradinės pH reikšmės buvo skirtingos – 6,10, 7,30, 7,40. Sausų medžiagų koncentracija tyrimo Nr. 1 metu buvo 36,20 g/l, tyrimo Nr. 2 – 37,40 g/l, tyrimo Nr. 3 – 37,90 g/l. Bepelenių sausų medžiagų koncentracija tyrimo Nr. 1 metu buvo 27,76 g/l, tyrimo Nr. 2 – 25,99 g/l, tyrimo Nr. 3 – 29,49 g/l. $ChDS_{tirp.}$ tyrimo Nr. 1 metu sudarė 1010 mgO_2/l, tyrimo Nr. 2 metu sudarė 922 mgO_2/l, tyrimo Nr. 3 metu 1106 mgO_2/l. Atitinkamai BDS_7 sudarė – 521, 496, 611 mgO_2/l. Tyrimo Nr. 1 ir pakartotinio tyrimo Nr. 3 metu TGLRR koncentracija pradiniame mėginyje buvo panaši – 551 ir 590 mg/l, tyrimo Nr. 2 – 236 mg/l. Pradiniame mėginyje, kai pirminio dumblo hidrolizės

procesas nevyksta, TGLRR sudaro 25,6 % (tyrimas Nr. 2) ir 53,3–54,5 % (tyrimas Nr. 1, tyrimas Nr. 3) lengvai skaidomos ChDS dalies.

Nustatyti pirminio dumblo hidrolizės proceso rezultatai skirtingais tyrimų etapais, kai naudojamas skirtingas pirminis dumblas, pateikti 6 lentelėje.

Pirminio dumblo hidrolizės tyrimai vykdomi esant 19,0–21,6 °C aplinkos temperatūrai. Tyrimų metu nebuvo pastebėta žymių temperatūros svyravimų. Tyrimo Nr. 1 metu temperatūra kito tarp 20,0–21,6 °C, kai vidutinė reikšmė buvo 20,8 °C. Tyrimo Nr. 2 metu temperatūra svyravo tarp 20,2–21,5 °C, vidutinė reikšmė buvo 20,4 °C. Tyrimo Nr. 3 metu temperatūros ribos buvo tarp 20,0 ir 21,1 °C, vidutinė reikšmė 20,9 °C. Tyrimo metu nustatyta temperatūros ir TGLRR susidarymo priklausomybė. 5 lentelėje yra pateikti koreliacijos nustatymo rezultatai

5 lentelė. Temperatūros ir TGLRR susidarymo priklausomybė.

	Tyrimas Nr. 1	Tyrimas Nr. 2	Tyrimas Nr. 3
Koreliacijos koeficientas	0,447	0,192	0,57

Iš 5 lentelės matyti, kad koreliacijos koeficientai nėra artimi vienetui, todėl pagal nustatytas temperatūros reikšmes negalime prognozuoti TGLRR susidarymo. Tyrimais nustatytos temperatūros reikšmės patenka į literatūroje pateiktas pirminio dumblo hidrolizės procesui tinkamas ribas, todėl galima prognozuoti TGLRR susidarymą, tačiau susidarymas nebus priklausomos nuo tyrime nustatytų temperatūros reikšmių.

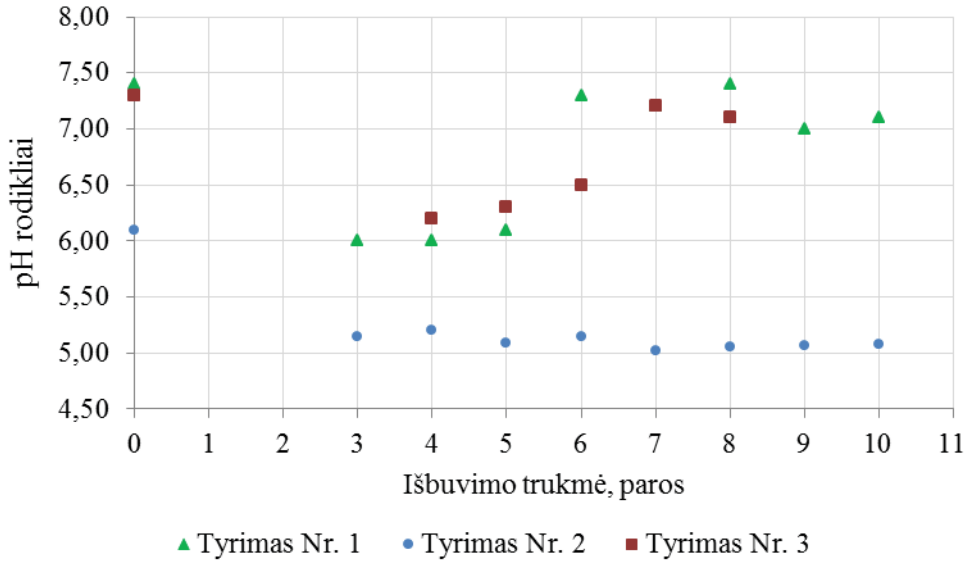
Pirminio dumblo hidrolizės proceso metu pH reikšmės tirtos kiekvieną dumblo išbuvimo dieną. Tyrimo Nr. 1 metu pastebėtas pH kintamumas, pH reikšmės kito tarp 6,0 ir 7,4 (4 lentelė). Rodiklio pH sumažėjimas stebėtas 3–5 paromis (13 pav.). Literatūroje pateikiama, kad prasidėjus pirminio dumblo hidrolizės procesui, pH reikšmės mažėja, kai pH reikšmės pradeda didėti, tuomet vyksta susidariusių TGLRR suvartojimas, TGLRR sudėtyje esanti acto rūgštis yra pradedamas vartoti *aceticlastic methanogen* bakterijų, kurios acetatą skaido iki metano. Tyrimo Nr. 1 metu pH reikšmė nuo pradinės vidutiniškai sumažėjo 18,5 % ir buvo lygi 6,0. Vėliau, 6–10 paromis, pH reikšmė vidutiniškai padidėjo iki 7,2.

6 lentelė. Pirminio dumblo hidrolizės proceso rezultatai

Tyrimo Nr.	Parametras	Pirminio dumblo išbuvimo trukmė, paros							
		3	4	5	6	7	8	9	10
Nr. 1	$ChDS_{tirp.}$, mgO_2/l	3095	3787	4780	5294	5918	5330	5960	5780
	BDS_7, mgO_2/l	1595	1952	2464	2729	3050	2901	3150	3001
	SM, g/l	35,70	35,5	35,20	34,60	34,30	33,50	32,6	31,4
	BSM, g/l	27,34	27,21	26,97	26,49	26,28	25,64	24,95	24,01
	LRR, mekv/l	17	24	29	35	35	37,5	37,5	35
	TGLRR, mg/l	1316	1859	2246	2710	2710	2904	2904	2710
	Temperatūra, ˚C	21,0	20,0	20,0	21,0	21,0	21,0	21,6	21,2
	pH	6,00	6,00	6,10	7,30	7,20	7,40	7,00	7,10
Nr. 2	$ChDS_{tirp.}$, mgO_2/l	3792	4388	5430	5540	5685	5892	5968	6030
	BDS_7, mgO_2/l	2155	2262	2715	3011	2930	3202	3209	3124
	SM, g/l	37,17	37,02	36,9	36,55	36,1	35,7	34,5	33,2
	BSM, g/l	25,82	25,72	25,64	25,39	25,07	24,79	23,92	23,02
	LRR, mekv/l	5	6	6	5,5	5	5	7	7
	TGLRR, mg/l	393	472	472	433	393	393	551	551
	Temperatūra, ˚C	21,1	20,3	21	21,1	19,7	19	20	20,4
	pH	5,14	5,2	5,09	5,14	5,02	5,05	5,06	5,08
Nr. 3	$ChDS_{tirp.}$, mgO_2/l	-	3840	4580	5170	5220	5560	-	-
	BDS_7, mgO_2/l	-	1790	2360	2810	2840	2880	-	-
	SM, g/l	-	37,30	37,00	36,40	35,80	35,20	-	-
	BSM, g/l	-	28,95	28,68	28,15	27,62	27,12	-	-
	LRR, mekv/l	-	16,5	27	35	36	32	-	-
	TGLRR, mg/l	-	1278	2091	2710	2788	1936	-	-
	Temperatūra, ˚C	-	21,0	20,0	21,2	21,5	20,9	-	-
	pH	-	6,2	6,3	6,5	7,2	7,1	-	-

Pastaba: Temp. – pirminio dumblo temperatūra, °C; SM – sausosios medžiagos, g/l; BSM – bepelenės sausosios medžiagos, g/l. LRR – lakiosios riebiosios rūgštys, mekv/l; LRR_{Hac} – lakiosios riebiosios rūgštys nustatytos pagal acto rūgštį, mg/l; TGLRR – trumpos grandinės lakiosios riebiosios rūgštys nustatytos įvertinus lakiųjų rūgščių sudėtį, mg/l; $ChDS_{tirp.}$ – tirpi cheminio deguonies suvartojimo dalis, mgO_2/l; BDS_7 – biocheminis deguonies suvartojimas dumblo vandenyje, mgO_2/l.

Tyrimo Nr. 1 metu BSM koncentracija mažėjo kiekvieną dumblo išbuvimo dieną, BSM koncentracija kito nuo 27,76 iki 24,01 g/l, bendras sumažėjimas sudarė 13,5 % nuo pradinės BSM koncentracijos (4 lentelė), o TGLRR susidarymas didėjo iki 6 parų dumblo išbuvimo trukmės (14 pav., 4 lentelė). Rezultatų analizė rodo, kad 6–10 paromis prasidėjo TGLRR vartojimas, kurį, kaip teigiama literatūroje, vykdo metanogeninės bakterijos. Taigi, sprendžiant pagal pH kitimo tendenciją, TGLRR yra pagaminamos, bet nėra vartojamos mikroorganizmų esant 5–6 parų išbuvimo trukmei.



13 pav. pH kitimo grafikas tyrimų metu

Tyrimo Nr. 2 metu pH reikšmės kito nuo 5,02 iki 5,20 (13 pav.), jos visomis tyrimo paromis buvo mažesnės už rekomenduojamą mažiausią 5,5 reikšmę. Didžiausias pH sumažėjimas sudarė 17,7 % nuo pradinės reikšmės. Tyrimo Nr. 2 pradinė pH reikšmė buvo 6,1, o nuotekų pH pirminiuose nusodintuvuose – 7,0. Tyrimo Nr. 2 TGLRR koncentracijų ir susidariusių TGLRR kiekių reikšmės pateiktos 7 lentelėje.

7 lentelė. Tyrimo Nr.2 TGLRR rodiklių reikšmės

Rodiklis	Minimali reikšmė	Maksimali reikšmė	Vidutinė reikšmė
TGLRR koncentracija	393,3	550,6	457,2
TGLRR susidarymas	0	157	22

Tai rodo, kad hidrolizės procesas pradeda vykti iki mėginio paėmimo vietos. Galimos priežastys: dumblo paėmimo vieta yra ne pirminio dumblo siurblinė, o kiek nuo jos nutolęs dumblo apdorojimo techninis pastatas, todėl neaiški dumblo išbuvimo trukmė iki dumblo tyrimui paėmimo, iš dumblo apdorojimo įrenginių su dumblo vandeniu patenkantys hidrolizės procesą galintys vykdyti mikroorganizmai paspartina hidrolizės procesą, pasirinktas pirminio dumblo šalinimo iš pirminių nusodintuvų režimas sudaro sąlygas hidrolizės procesui vykti. Kadangi šios priežastys neanalizuotos, tyrimo Nr. 2 rezultatų analizė nebetęsta.

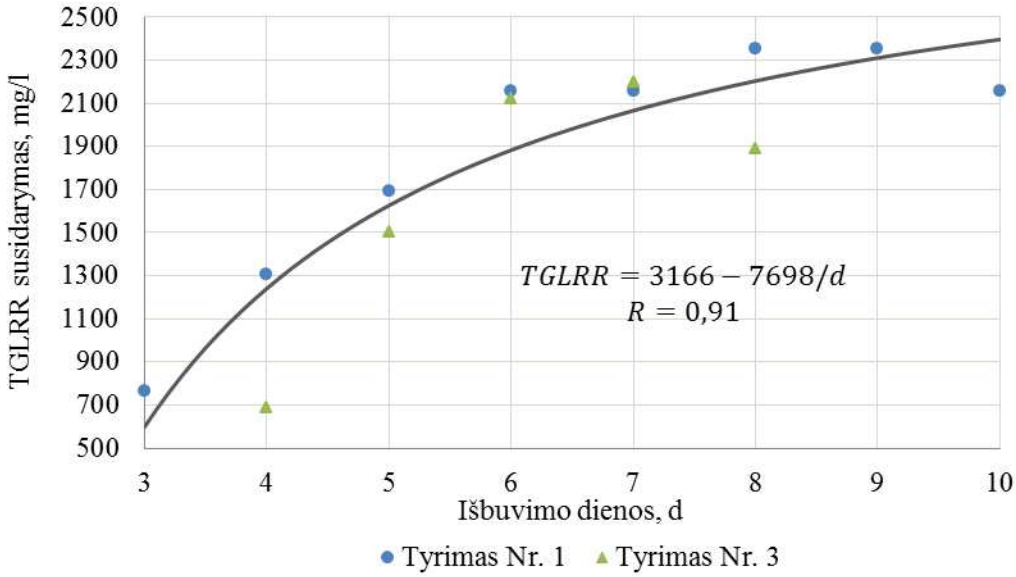
Pakartotinio tyrimo Nr. 3 metu taip pat pastebėtas pH reikšmių kintamumas, pH reikšmės kito tarp 6,2 iki 7,3 (4 lentelė). Rodiklio sumažėjimas stebėtas 4–6 dumblo išbuvimo paros (13 pav.). 7 parą pH rodiklis pakilo iki 7,2 ir buvo stabilus iki tyrimo Nr. 3 pabaigos. Tyrimo Nr.3 metu pH reikšmė nuo pradinės vidutiniškai sumažėjo 15,1 % ir buvo lygi 6,2. Vėliau, 7–8 paromis, pH reikšmė vidutiniškai padidėjo iki 7,15.

Tyrimo Nr. 3 metu BSM koncentracija mažėjo kiekvieną dumblo išbuvimo dieną, BSM koncentracija kito nuo 29,49 iki 27,12 g/l, bendras sumažėjimas sudarė 8,0 % nuo pradinės BSM koncentracijos (4 lentelė), tuo tarpu TGLRR susidarymas didėjo iki 6 paros dumblo išbuvimo trukmės (14 pav., 4 lentelė). Rezultatų analizė rodo, kad 7–8 paromis prasidėjo TGLRR vartojimas (4 lentelė, 13 pav.). Pakartotinio tyrimo Nr. 3 metu pagal pH kitimo tendenciją, TGLRR yra pagaminamos, bet nėra vartojamos mikroorganizmų esant 6–7 parų išbuvimo trukmei.

Tyrimų Nr.1 ir Nr. 3 metu analizuotas TGLRR susidarymas atsižvelgiant į pirminio dumblo išbuvimo trukmę ir pH reikšmes. Tyrimo metu atlikta TGLRR priklausomybės nuo dumblo išbuvimo trukmės analizė, kuri parodė gerą koreliacijos ryšį (R = 0,91) tarp tirtų parametrų. Tolesnei analizei TGLRR susidarymo reikšmės prognozuotos pagal nustatytą priklausomybę:

$$TGLRR = 3166 - 7698/d, mg/l \quad (18)$$

čia: TGLRR – trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių susidarymas.
d – dumblo išbuvimo trukmė.



14 pav. Susidariusio TGLRR kiekio ir dumblo išbuvimo trukmės priklausomybės grafikas

8 lentelė. Tyrimo metu susidariusių TGLRR kiekiai

Dumblo išbuvimo trukmė, d	TGLRR koncentracijos , mg/l	Susidariusio TGLRR. kiekis, mg/l	Susidariusio TGLRR kiekio procentinė dalis, %
4	600–1242	641	35,7
5	1242–1627	385	21,4
6	1627–1883	257	14,3
7	1883–2067	183	10,2
8	2067–2204	137	7,7
9	2204–2311	107	6,0
10	2311–2397	86	4,8
Viso	–	1796	100,0

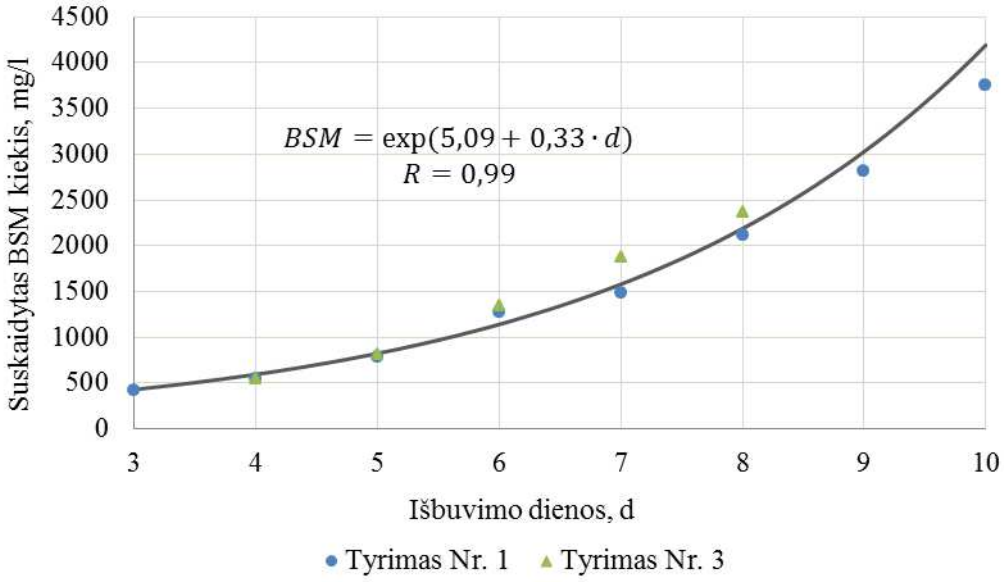
Pagal dumblo išbuvimo reikšmes apskaičiuoti susidariusio TGLRR kiekiai taikant 10 ir 18 formules (8 lentelė). Bendra TGLRR suskaidymo reikšmė buvo 1796 mg/l. Nustatant optimalią TGLRR susidarymo reikšmę imtos tos dumblo išbuvimo reikšmės, kurių metu TGLRR susidarymas buvo ne mažesnis nei 15 % nuo susidariusio TGLRR, nes iš 12 paveikslo matyti, kad ilgiau kaip 6 paras išlaikant dumblą, vyksta ne tik TGLRR gamyba, bet ir jų suvartojimas (4 lentelė). Pagal nurodytą atrankos kriterijų susidaręs TGLRR kiekis yra lygus 1283 mg/l. Tai sudaro 71,4 % nuo bendro tyrimo metu susidariusio kiekio. Kai dumblo išbuvimo trukmė buvo nuo 6 parų iki 10 parų, susidaręs TGLRR kiekis mažėjo atitinkamai nuo 183 mg/l/d iki 86 mg/l/d. Galima teigti, kad pagal TGLRR susidarymą ir jo vartojimo pradžią optimali dumblo išbuvimo trukmė yra 6 paros. Esant dumblo išbuvimo trukmei 6 paroms pastebėtas 14,4 % pH sumažėjimas, vidutiniškai pH kito nuo 7,35 iki 6,35.

Tyrimų metu analizuotas BSM. suskaidymas atsižvelgiant į pirminio dumblo išbuvimo trukmę. Tyrimo metu atlikta BSM suskaidymo priklausomybės nuo dumblo išbuvimo trukmės analizė, kuri parodė gerą koreliacijos ryšį (R = 0,99) tarp tirtų parametrų (15 pav.). Tolesnei analizei BSM suskaidymo reikšmės prognozuotos pagal nustatytą eksponentinę priklausomybę:

$$BSM = exp(5{,}09 + 0{,}33 \cdot d), mg/l \quad (19)$$

čia: BSM – suskaidytas bepelenių sausų medžiagų kiekis, mg/l.

d – dumblo išbuvimo trukmė, d.



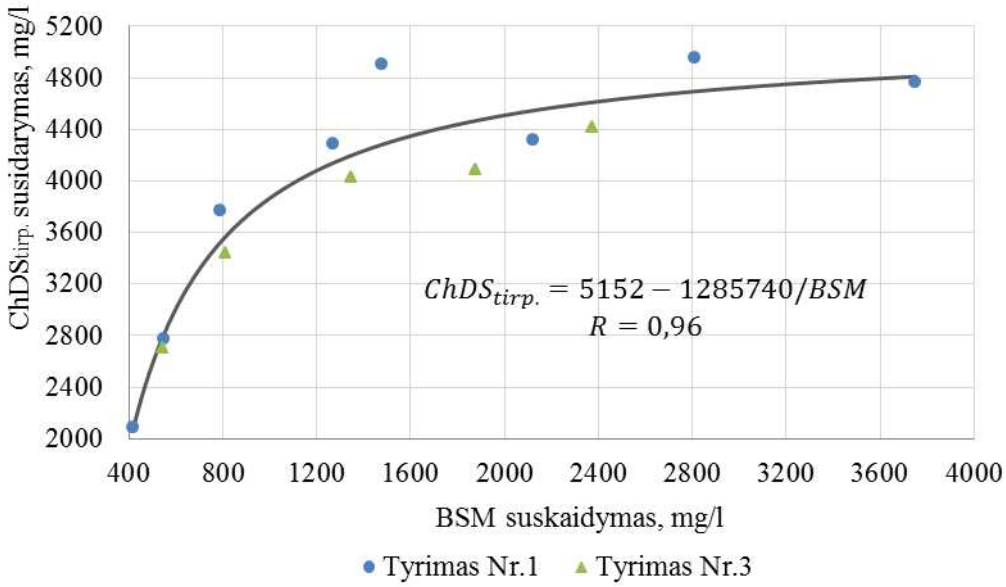
15 pav. Suskaidyto BSM kiekio ir dumblo išbuvimo trukmės priklausomybės grafikas (Tyrimas Nr. 1 ir tyrimas Nr. 3)

Tyrimo metu taip pat atlikta BSM suskaidymo priklausomybės nuo $ChDS_{tirp.}$ susidarymo reikšmių analizė, nustatytos priklausomybės tarp analizuojamų parametrų (16 pav.). Tolesnei analizei susidariusio $ChDS_{tirp.}$ reikšmės prognozuotos pagal nustatytą priklausomybę:

$$ChDS_{tirp.} = 5152 - 1285740/BSM, mg/l \quad (20)$$

čia: $ChDS_{tirp.}$ – cheminio deguonies suvartojimo koncentracijos padidėjimas dumblo vandenyje, mgO_2/l.

BSM. – suskaidytas bepelenių sausų medžiagų kiekis, mg/l.



16 pav. $ChDS_{tirp.}$ susidarymo ir BSM suskaidymo priklausomybės grafikai (Tyrimas Nr. 3)

Iš 16 paveikslo matyti, kad koreliacijos koeficientas yra artimas vienetui (R = 0,96), todėl yra stiprus ryšys tarp analizuojamų parametrų. Vadinasi, pagal BSM suskaidytą kiekį galima prognozuoti susidariusio $ChDS_{tirp.}$ reikšmes taikant 20 formulę.

Pagal dumblo išbuvimo trukmės reikšmes sudaryti BSM suskaidymo reikšmių intervalai ir atitinkamai apskaičiuotos susidariusio $ChDS_{tirp.}$ reikšmes pagal 20 formulę. Gauti rezultatai pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Tyrimo Nr. 1 ir Nr. 3 metu susidariusio $ChDS_{tirp.}$ kiekiai

Dumblo išbuvimo trukmė, d	BSM suskaidymo intervalai, mg/l	$ChDS_{tirp.}$ koncentracija, mgO_2/l	Susidaręs $ChDS_{tirp.}$ kiekis, mgO_2/l	Susidariusio $ChDS_{tirp.}$ kiekio procentinė dalis, %
4	430–596	2162–2994	832	31,0
5	596–824	2994–3591	597	22,2
6	824–1141	3591–4025	434	16,2
7	1141–1580	4025–4338	313	11,7
8	1580–2187	4338–4564	226	8,4
9	2187–3027	4564–4727	163	6,1
10	3027–4191	4727–4845	118	4,4
Viso			2683	100

Tyrimo metu bendras susidaręs $ChDS_{tirp.}$ kiekis buvo 2683 mg/l. Nustatant optimalią susidariusio $ChDS_{tirp.}$ reikšmę imti tie BSM suskaidymo intervalai, kurių metu $ChDS_{tirp.}$ buvo ne mažesnis nei 15 % nuo bendro susidariusio $ChDS_{tirp.}$ kiekio. Taikytas tas pats procentas, kaip ir analizuojant TGLRR. Pagal nurodytą atrankos kriterijų BSM suskaidymas kito nuo 430 mg/l iki 1141 mg/l. Kintant BSM suskaidymui nuo 430 mg/l iki 1141 mg/l, susidaręs $ChDS_{tirp.}$ kiekis yra lygus 1864 mgO_2/l, tai sudaro 69,5 % nuo bendro tyrimo metu susidariusio $ChDS_{tirp.}$ kiekio. $ChDS_{tirp.}$ kiekio maksimali reikšmė buvo 833 mg/l, tai sudaro 31,0 % nuo bendro susidariusio $ChDS_{tirp.}$ kiekio. Iš 16 paveikslo ir 9 lentelės matyti, kad esant 1864 mgO_2/l $ChDS_{tirp.}$ susidarymui yra suskaidomas 1141 mg/l BSM kiekis, todėl galima teigti, kad pagal $ChDS_{tirp.}$ optimali dumblo išbuvimo trukmė yra 6 paros.

Siekiant nustatyti priklausomybę tarp susidariusio $ChDS_{tirp.}$, BDS_7 kiekio ir susidariusio TGLRR. Kiekio, atlikta koreliacinė analizė naudojant tyrimų Nr.1 ir Nr.3 rezultatus. Atlikus koreliacinę analizę tarp nagrinėjamų parametrų nustatytos tiesinės priklausomybės (16 pav.):

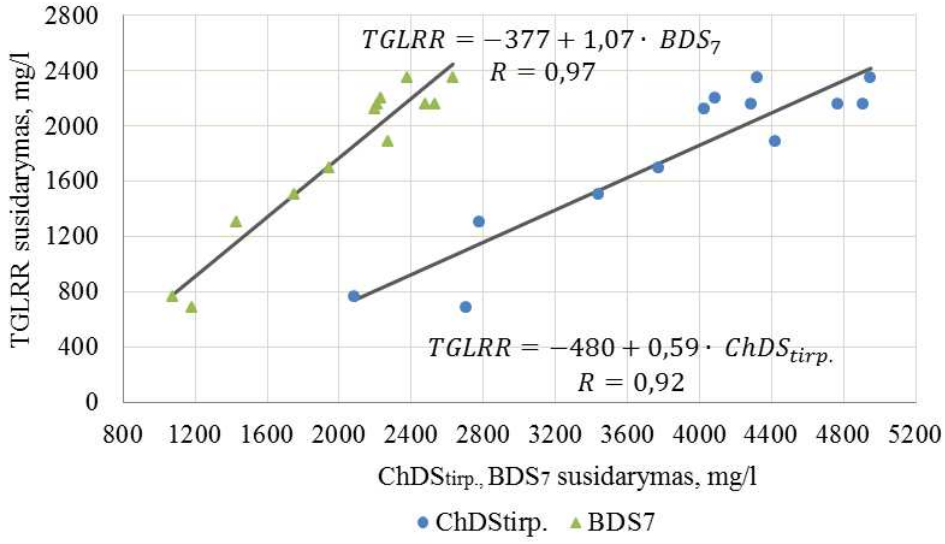
$$TGLRR_{susidar.} = -377 + 1{,}07 \cdot BDS_{7\ susidar.}, mg/l \quad (21)$$

$$TGLRR_{susidar.} = -480 + 0{,}59 \cdot ChDS_{tirp.}, mg/l \quad (22)$$

čia: TGLRR – Trumpos grandinės lakiųjų riebalų rūgščių susidarymas, mg/l.

$ChDS_{tirp.}$ – tirpios cheminio deguonies koncentracijos padidėjimas dumblo vandenyje, mgO_2/l.

BDS_7 – biocheminis deguonies kiekio koncentracijos padidėjimas dumblo vandenyje, mgO_2/l.

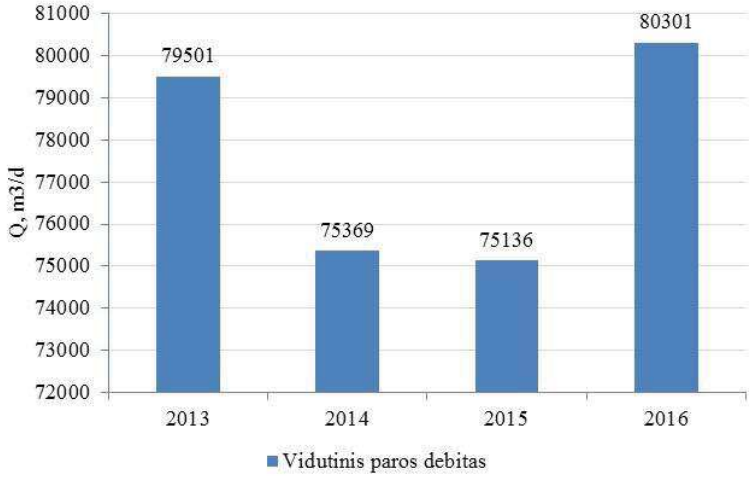


17 pav. $ChDS_{tirp.}$, BDS_7 ir $TGLRR$ priklausomybė grafikas

Koreliacijos koeficientai yra artimi vienetui (R = 0,97, R = 0,92), todėl yra stiprus ryšys tarp analizuojamų parametrų. Vadinasi, pagal susidariusį $ChDS_{tirp.}$ arba BDS_7 kiekį galima prognozuoti susidariusių TGLRR kiekį taikant 16 arba 17 formulę.

3.2. Vitebsko nuotekų valymo įrenginių išvalymo rodiklių kitimo analizė

Vitebsko nuotekų valyklos valomų nuotekų vidutinio paros debito kitimas 2013–2016 metų laikotarpiu pateiktas 18 paveiksle. Vidutinė nuotekų debito reikšmė 2013–2016 metų laikotarpyje buvo $77\,577\ m^3/d$. Vidutinė nuotekų debito reikšmė nustatyta tam, kad būtų galima įvertinti ChDS koncentracijos padidėjimą prieš biologinį nuotekų valymą, kai vykdomas hidrolizės procesas.



18 pav. Valomų nuotekų vidutinis paros debitas 2013-2016 metais

Statistinė teršalų kitimo duomenų analizė atlikta panaudojant 2013 metų sausio–2016 metų liepos mėnesių laikotarpio duomenis. Pagal 2.1.2. skyriuje pateiktas 6–9 formules, pasirinktas 95 % patikimumo intervalas. Į šį intervalą nepatenkančios reikšmės atmestos iš duomenų imties. Tyrimo duomenų statistinio apdorojimo rezultatai pateikti 10 lentelėje.

10 lentelė. Statistinio apdorojimo rezultatai

Rodiklis	$ChDS_{tirp.}$, mgO_2/l	BDS_5, mgO_2/l	P_b, mg/l	N_b, mg/l	Skendinčios medžiagos, mg/l
Prieš nuotekų valymą					
Vidurkis	709	297	5,5	59,7	339
Maksimali reikšmė	964	401	6,7	72,1	484
Minimali reikšmė	434	185	4,3	48,2	192
Mediana	724	290	5,6	59,8	340
Amplitudė	530	216	2,4	23,9	292
Dispersija	21382	3146	0,4	39	5422
Standartinis nuokrypis	146	56	0,63	6,2	77
Skaičiuojamoji reikšmė	725	302	5,6	71,2	347

10 lentelės tęsinys

Po pirminių nusodintuvų					
Vidurkis	489	246	5,6	-	169
Maksimali reikšmė	694	320	6,6	-	250
Minimali reikšmė	293	165	4,6	-	88
Mediana	492	250	5,6	-	172
Amplitudė	401	155	2,0	-	162
Dispersija	11364	1481	0,3	-	1679
Standartinis nuokrypis	107	34,5	0,5	-	41
Skaičiuojamoji reikšmė	501	250	5,7	-	173
Po nuotekų valymo					
Vidurkis	48,7	22,9	3,1	16,4	22,9
Maksimali reikšmė	70,0	24,9	3,5	23,9	25,0
Minimali reikšmė	19,9	19,3	2,3	9,3	19,0
Mediana	49,0	22,9	3,2	16,7	23,2
Amplitudė	50,1	5,6	1,2	14,6	6,0
Dispersija	213,2	2,0	0,1	12,9	2,7
Standartinis nuokrypis	14,6	1,4	0,4	3,6	1,6

Siekiant pagerinti išleidžiamų nuotekų kokybę, numatyta vadovautis naujomis į gamtinę aplinką išleidžiamų nuotekų užterštumų normomis pagal HELCOM reikalavimus:

- $BDS_5 \leq 15\ mgO_2/l$.
- $N_b \leq 10\ mg/l$.
- $P_b \leq 0{,}5\ mg/l$.

Iš 10 lentelės matyti, kad BDS_5, bendro azoto bei fosforo koncentracijos viršijo didžiausias naujai nustatytas leistinas koncentracijas valytose nuotekose: vidutinė BDS_5 koncentracija buvo 23,1 mgO_2/l, tai 1,5 kartus daugiau už vidutinę didžiausią leistiną koncentraciją. Vidutinė bendrojo azoto koncentracija lygi 17,1 mg/l, tai 1,7 karto daugiau už vidutinę DLK. Vidutinė bendrojo fosforo koncentracija lygi 3,1 mg/l, tai 6 kartus daugiau už vidutinę DKL. Taigi būtina užtikrinti bendrojo fosforo ir azoto pašalinimo efektyvumą.

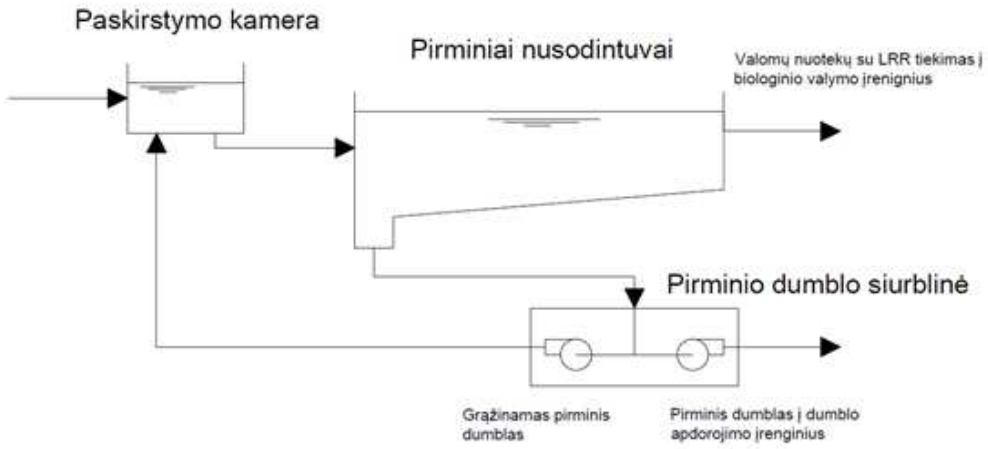
Optimali teršalų (C:N:P) proporcija, pagal kurią mikroorganizmai efektyviai vartoja teršalus yra lygi 100:5:1, pagal 10 lentelėje pateiktus duomenis nustatyta, kad Vitebsko miesto valytose nuotekos ši proporcija yra lygi 42:11:1. Kadangi valomose nuotekose nustatytas organinių medžiagų trūkumas, todėl yra reikalingas papildomas išorinis anglies šaltinis. Atlikus technologinius skaičiavimus „Belebungs–Expert“ programa pagal ATV–DVWK–A 131 E standarto metodiką nustatyta, kad yra reikalingas $ChDS$ poreikis iš išorinio anglies šaltinio – 5 mg/l (1 priedas). Siekiant įvertinti išorinio anglies šaltinio eksploatacijos kaštus, pasirinktas preparatas

pavadinimu Brentaplus VP1. Šis reagentas – maistingas alkoholių, cukrų ir proteinų junginys, kuris nėra nuodingas, degus ar pavojingas. Jei būtų naudojamas Brentaplus VP1 kaip išorinis anglies šaltinis, tada 10 metų laikotarpyje eksploatacijos suma siektų 540 000 eurų (11 lentelė). Siekiant sumažinti eksploatacijos kaštus anglies šaltinį būtų galima išgauti iš pirminio dumblo hidrolizės proceso. Šiuo tikslu įvertinta, ar laboratoriniais tyrimais nustatytas susidarantis lengvai skaidomų organinių medžiagų kiekis užtikrins reikiamą išorinio anglies šaltinio poreikį.

11 lentelė. Brentaplus VP1 eksploatacijos kaštai

Išorinis anglies šaltinio reagentas	Preparato poreikis, m^3	kaina, Eur/m^3	Laikotarpis, metai	Kaina 10 metų laikotarpyje, Eur
Brentaplus VP1	0,388	381	10	540 000

Siekiant anglies šaltinį išgauti iš pirminio dumblo hidrolizės proceso, rekomenduojama panaudoti esamus pirminius nusodintuvus. Vitebsko nuotekų valykloje naudojami 4 pirminiai nusodintuvai, trijų skersmuo yra lygus 28 m, vieno – 30 m. Naudingas pirminių nusodintuvų gylis yra 3,4 metrai. Pagal 3.1.5. tyrimų metodikoje nurodytą 14 formulę apskaičiuotas pirminio dumblo kiekis – 13 498 kg SM/d. Palaikant laboratoriniais tyrimais nustatytą optimalią dumblo išbuvimo trukmę hidrolizės procesui vykti (6 paros), pirminiuose nusodintuvuose reikėtų pastoviai turėti apie 80 990 kg dumblo pagal SM. Rekomenduojama pirminio dumblo hidrolizės technologinė schema pateikta 19 paveiksle. Pirminis dumblas su susidariusiomis organinėmis medžiagomis būtų tiekiamas į paskirstymo kamerą, tam kad būtų užtikrintas organinių medžiagų sumaišymas su atitekančiomis nuotekomis. Šiuo tikslu yra reikalinga pirminio dumblo recirkuliacija. Atsižvelgiant į nuotekų ir pirminio dumblo nustatytus kiekius, rekomenduojama pirminio dumblo recirkuliacija būtų apie 3 % nuo atitekančio nuotekų paros debito, kai pirminio dumblo koncentracija – 40 kg SM/m^3.



19 pav. Rekomenduojama pirminio dumblo hidrolizės technologinė schema

Pagal 3.1.5. tyrimų metodikoje nurodytas 1–3 formules nustatyta, kad, taikant pirminio dumblo hidrolizės procesą, ChDS koncentracija po pirminių nusodintuvų būtų 516 mg/l tuo tarpu nustatyta ChDS koncentracija po pirminių nusodintuvų be hidrolizės proceso yra 501 mg/l. Taigi, dėl hidrolizės proceso ChDS koncentracija padidėja 3,0 %. Papildomai susidaręs organinių medžiagų kiekis yra 17 mg/l, o tai yra daugiau už reikalingą ChDS poreikį iš išorinio anglies šaltinio (5 mg/l), kuris nustatytas pagal ATV–DVWK–A 131 E standarto metodiką (2 Priedas). Pirminio dumblo hidrolizės proceso efektyvumas gamybinėmis sąlygomis šiame darbe nebuvo nustatytas, tai numatoma atlikti kitais tyrimo etapais.

IŠVADOS

1. Esant vidutinei 20,8 °C temperatūrai, pH reikšmėms kintant nuo 7,35 iki 6,35, optimali dumblo išbuvimo trukmė hidrolizės procesui vykti yra 6 paros. Nurodytomis sąlygomis vyksta tiek TGLRR, tiek $ChDS_{tirp.}$ susidarymas, tačiau nevyksta jų vartojimas dėl metanogeninių bakterijų veiklos.

2. TGLRR susidarymo optimalus efektyvumas bendro tyrimo metu susidariusio TGLRR kiekio atžvilgiu siekė 71,4 % ir tai vidutiniškai sudarė 1283 mg/l, o $ChDS_{tirp.}$ susidarymo efektyvumas – 69,5 % ir tai vidutiniškai sudarė 1864 mg/l. Optimaliam TGLRR ir $ChDS_{tirp.}$ susidarymo efektyvumui pasiekti pakako suskaidyti 5 % BSM, kai pradinė vidutinė BSM koncentracija buvo 28,6 kg/m^3.

3. Nustatytas stiprus koreliacinis ryšys (R = 0,92) tarp susidariusio $ChDS_{tirp.}$ kiekio ir susidariusio TGLRR kiekio. TGLRR parametrą pagal susidariusį $ChDS_{tirp.}$ kiekį galima prognozuoti taikant formulę: $TGLRR = 131 + 0{,}5 \cdot ChDS_{tirp.}$

4. Laboratoriniais pirminio dumblo hidrolizės tyrimais nustatytą optimalią ChDS reikšmę pritaikius Vitebsko miesto išorinio anglies šaltinio poreikio skaičiavimui nustatyta, kad dėl pirminio dumblo hidrolizės proceso $ChDS$ reikšmė padidėjo 3 %: pradinė ChDS reikšmė buvo 501 mg/l, po hidrolizės proceso – 516 mg/l.

5. Papildomai dėl pirminio dumblo hidrolizės proceso susidaręs 15 mg/l ChDS kiekis užtikrina nustatytą 5 mg/l išorinio anglies šaltinio, išreikšto ChDS, poreikį, kurio reikia bendrojo azoto 10 mg/l koncentracijai valytose nuotekose užtikrinti.

REKOMENDACIJOS

1. Siekiant išgauti išorinį anglies šaltinį, rekomenduojama taikyti pirminio dumblo hidrolizės procesą pirminiuose nusodintuvuose. Toks sprendinys siūlomas, nes nuotekų valykloje nėra rezervuarų, kuriuos būtų galima panaudoti, ir jis nereikalauja papildomų investicijų naujų rezervuarų statybai.

2. Siekiant užtikrinti organinių medžiagų susidarymą iš pirminio dumblo hidrolizės proceso rekomenduojama:

- Palaikyti 6 parų pirminio dumblo išbuvimo trukmę.
- Palaikyti pirminio dumblo pH reikšmes tarp 6,0 ir 7,0.
- Palaikyti pirminio dumblo koncentraciją apie 40 kg SM/m^3.

3. Siekiant užtikrinti susidariusių organinių medžiagų sumaišymą su atitekančiomis nuotekomis, rekomenduojama vykdyti pirminio dumblo recirkuliaciją per pirminius nusodintuvus, kuri sudarytų 3 % nuo atitekančio nuotekų paros debito.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Ali, I., Gupta, V.K. 2013. Wastewater Treatment by Biological Methods. *Environmental Water. Advances in Treatment, Remediation and Recycling*, p. 179–204.
2. Atherton, H. 1995. Primary sludge fermentation using a pilot-scale mainstream fermenter to enhance biological phosphorus removal. B.A.Sc. Queen's University, 124 p.
3. Barnard, J., Houweling, D., Steichen, M. 2011. Fermentation of Mixeed Liquor for Phosphorus Removal. Water Environment Research, Volume 89, 13 p.
4. Barnard, J.L. 2006. Biological nutrient removal: where we have been, where we are going. *Proceedings of the Water Environment Federation WEFTEC*, Dallas.
5. Camacho, P., Ewert, W., Kopp, P., Panter, K., Perez-Elvira, S.I., Piat, E. 2008. Combined experiences of thermal hydrolysis and anaerobic digestion – latest thinking on thermal hydrolysis of secondary sludge only for optimum dewatering and digestion. *Water Environment Federation*.
6. Camacho, P., Deleris, S., Gueaugey, V., Paul, E., Ginstet, P. 2002. A comparative study between mechanical, thermal and oxidative disintegration techniques of wasted activated sludge. *Wat Sci Technol* 46(10): 79-87.
7. Carrere H, Dumas C, Battimelli A, et al. 2010. Pretreatments methods to improve sludge anaerobic degradability: A review. J Hazard Mater. 183: 1–15.
8. Dauknys, R., Mažeikienė, A., Haluza, A., Halauniou, I., Yushchenko, V. 2017. Preliminary Investigation of Primary Sludge Hydrolysis. *Environmental Engineering 10 th International Conference*, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania.
9. Erden, G., Fillibeli, A. 2010. Ultrasonic pre-treatment of biological sludge: consequences for disintegration, anaerobic biodegradability and filterability, J Chem Technol Biotechnol. 85: 145–150.
10. Gupta A.K., Oldham W.K. and Coleman P.F. 1985. The effects of temperature, pH and retention time on volatile fatty acid production from primary sludge.
11. Henze, M., Harremoes, P., Cour Jansen, J. la, Arvin, E. 2002. *Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes*. 3rd edition. Berlin: Springer. 383 p.
12. Henze, M., van Loosdrecht, M.C.M., Ekama, G.A., AND Brdjanovic, D. 2008. Biological wastewater treatment: principles, design and modelling, IWA, London.
13. Hogan, F., Mormede, S., Clark, P., Crane, M. 2004. Ultrasonic sludge treatment for enhanced anaerobic digestion. *Wat Sci Technol*. 50(9):25-32

14. Houweling, D., Dold, P.L., and Barnard, J. 2010. Theoretic limits to biological removal-rethinking the influent COD:N:P ratio. *Proc., 83rd Annual Water Environment Federation Technical Exhibition and Conf.*, Water Environment Federation, Alexandria, VA.
15. Houweling, D., Dold, P., Hu, Z. 2012. Biological Nutrient Removal in Municipal Wastewater Treatment: New Directions in Sustainability. *Journal of Environmental Engineering., American Society of Civil Engineers.* 307-316 p.
16. Janssen, P. M. J., K. Meinema & H. F. van der Roest. 2002. Biological Phosphorus Removal: Manual for Design and Operation. IWA Publishing.
17. Jolis, D. 2008. High-Solids Anaerobic Digestion of Municipal Sludge Pretreated by Thermal Hydrolysis. Water Environment Research, 80 (7): 654-662.
18. Jorgensen, P.E. 1990. Biological Hydrolysis of Sludge from Primary Precipitation. *Chemical Water and Wastewater Treatment, pp 511-520.*
19. Joubert, W.A., Britz, T.J. 1986. The effect of pH and temperature manipulation on metabolite composition during acidogenesis in a gybdrid anaerobic digester. *Environmental Microbiology.* Volume 24, Issue 3, pp 253-258.
20. Kepp, U., Machenbach, I., Weisz, N., and Solheim, O.E. 2000. Enhanced stabilisation of sewage sludge through thermal hydrolysis–three years of experience with full scale plant. Water Science and Technology, 42, 89–96.
21. Lier, J.B.van., Mahmoud, N., Zeeman, G.2008 Anaerobic Wastewater Treatment. *Biological Wastewater Treatment:Principles, Modelling and Design*, p 401-442.
22. LST EN 15934:2012. Dumblas, apdorotos bioatliekos, dirvožemis ir atliekos. Sausųjų medžiagų kiekio skaičiavimas pagal nustatytą sausojo likučio arba vandens kiekį.
23. LST EN 12880:2002. Dumblo apibūdinimas. Sausosios liekanos ir vandens kiekio nustatymas.
24. LAND 83-2006 „Vandens kokybė. Cheminio deguonies suvartojimo nustatymas“
25. LAND 47-1:2007 „Vandens kokybė. Biocheminio deguonies suvartojimo per n parų (BDSn) nustatymas. I dalis”.
26. LST EN ISO 5667 – 13 “Vandens kokybė. Mėginių ėmimas. 13 dalis. Nurodymai kaip imti dumblo mėginius (ISO 5667-1:2006)”.
27. LST ISO 10523:2009. Vandens kokybė. pH nustatymas”
28. Menco, L. 2012. Cambi Thermal hydrolysis Sludge Treatment: Medium to large-scale application. [interaktyvus]. [žiūrėta 2017-01-23]. Prieiga per internetą: <http://www.environmentindex.com/en/article/cambi-thermal-hydrolysis-sludge-treatment-medium-to-large-scale-application-677.aspx>.

29. Metcalf, E. 2013. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. 656 – 657 p.
30. Miron Y, Zeeman G, van Lier J B, Lettinga G, 2000. The role of sludge retention time in the hydrolysis and acidification of lipids, carbohydrates and proteins during digestion of primary sludge in CSTR systems. Water Res, 34: 1705– 1713.
31. Mulkerrins, D., Dobson, A.D.W., Colleran, E. 2004. Parameters affecting biological phosphate removal from wastewaters, *Environment International* 30: 249– 259.
32. Muller, J. Lehne, G., Scwedes, J., Battenberg, S., Nveke, R., Kopp, J., Scheminsi, A. 1988. Disintegration of sewage sludges and influence on anaerobic digestion. *Water Sci Technol* 38:425-433.
33. Norlander, H. 2008. Hydrolysis of primary and mixed sludge for production of a carbo source suitable for denitrification. p 1-4.
34. Nuotekų tvarkymo reglamentas. Di-236. LR aplinkos ministerija. Vilnius.2006.
35. Oldham, W.K and Abraham, K., 1994. Overview of Full – scale Fermenter Performance. Use of fermentation to enhance biological nutrient removal. 67th Annual Water Enironment Federation Conference and Expositions. Vhicago, Illinois, U.S.A.:81 -86.
36. Onyche, T.I. 2007. Economic benefits of low pressure sludge homogenization for wastewater treatment plants.*IWA specialist conferences. Moving forward wastewater biosolids sustainability, Moncton, New Brunswick, Canda.*
37. Petruzzelli, D., De Florio, L., Dell'Erba, A., Liberti, L., Notarnicola, M. and Sengupta, A. 2003. A new phosphate-selective sorbent for the Rem Nut registered process. Laboratory investigation and field experience at a medium size wastewater treatment plant.
38. Rabinowitz, B. 1985. The Role of Specific Substrates in Excess Biological Phosphorus Removal. Ph.D Thesis. Department of Civil Engineering, University of British Columbia, Vancouver, B.C.
39. Rabinowitz, B., Neethling, J., Barnard, J., Bauer, R., Abraham, K., Erdal, Z. 2011. Fermenters for biological phosphorus removal carbon augmentation. Technical Report of the Water Environment Research Foundation, Arlington, p 21.
40. Randall, A., Benefield, L., D., and Hill, W., E. 1997. Induction of phosphorus removal in an enhanced biological phosphorus removal bacterial population. Water Research. 31 (11), pp. 2869-2877.
41. Rossle, WH., Pretorius, WA., (2001). A review of characterisation requirements for in-line prefermenters. Wastewater characterisation.Water SA Vol. 27 No. 3, p 405-411.
42. Rybicki, S. 2014. Role of Primary Sludge Hydrolysis in Energy Recovery from Municipal Wastewater Sludge. *Pol. J. Environ. Stud. Vol. 23, No.3, 1033-1037.*

43. Standartinė veiklos procedūra, 2012. Lakiųjų organinių rūgščių ir šarmingumo nustatymas. UAB „Kauno vandenys“.
44. Sweco BKG. Investicinė programa dumblo tvarkymui Lietuvoje. Galimybių studija. II tomas. Sanglaudos fondo strategija 2004 – 2006 metams. Vilnius, 2006 m.,
45. Tyagi V. K., Lo S.L. 2011. Application of physicochemical pretreatment methods to enhance the sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion: an update review. Rev Environ Sci Biotechnol. 10: 215–242.
46. Ubay-Cokgor, E.,Oktay, S., Zengin, G.E., Artan, N., Orthon, D. 2005. Effect of primary sludge fermentation products on mass balance for biological treatment. Water Science and Technology. Vol 5, No 11, p 106-114.
47. Ucisik, A. S., Henze, M. 2008. Biological hydrolysis and acidification of sludge under anaerobic conditions: the effect of sludge type and origin on the production and composition of volatile fatty acids. *Water Res.* 42, 3729–3738.
48. Weise, HGG., Jung, M. 2001. Sludge disintegration by electrical shockwaves. International conference on pulsed power application. Gelsenkirchen.

PRIEDAI

1. Skaičiavimo su „Belebungs Expert“ programa rezultatai, kai pirminio dumblo hidrolizės procesas yra netaikomas.
2. Skaičiavimo su „Belebungs Expert“ programa rezultatai, kai pirminio dumblo hidrolizės procesas yra taikomas.