



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

Nedas Katkauskis

Kėdainių nuotekų valyklos azoto šalinimo grandies optimizavimas

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Doc. dr. Viktoras Račys

KAUNAS, 2017

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

PROJEKTO PAVADINIMAS

Baigiamasis magistro projektas
Pramoninė biotechnologija (kodas 621J70004)

Vadovas

Doc. dr. Viktoras Račys

Recenzentas

Doc. dr. Dalia Jankūnaitė

Projektą atliko

Nedas Katkauskis

KAUNAS, 2017



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

Cheminės technologijos fakultetas

(Fakultetas)

Nedas Katkauskis

(Studento vardas, pavardė)

Pramoninė biotechnologija (kodas 621J70004)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Kėdainių nuotekų valyklos azoto šalinimo grandies optimizavimas“

AKADEMINIO SAŽINGUMO DEKLARACIJA

20__ m. _____ mėn. __ d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Nedo Katkauskio**, baigiamasis projektas tema „Kėdainių nuotekų valyklos azoto šalinimo grandies optimizavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)

TURINYS

Santrumpos	8
ĮVADAS	9
1 Literatūros apžvalga	11
1.1 Nuotekų valymas	11
1.1.1 Azoto šaltiniai	12
1.1.2 Fosforo šaltiniai	13
1.2 Teršalų poveikis vandenims	14
1.3 Azoto šalinimas	14
1.3.1 Hidrolizė ir amonifikacija	14
1.3.2 Nitrifikacija	15
1.3.3 Denitrifikacija	16
1.4 Nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesus įtakojantys veiksniai	17
1.4.1 Aeracijos trukmės įtaka nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesams.....	17
1.4.2 Temperatūros įtaka procesui	19
1.4.3 pH įtaka nitrifikacijai ir denitrifikacijai	20
1.4.4 Ištirpusio deguonies koncentracijos įtaka nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesui	22
2 Medžiagos ir metodai.....	24
2.1 Nitrifikacijos ir denitrifikacijos tyrimas	24
2.2 Biocheminio deguonies suvartojimo nustatymas	25
2.3 Nitratų kiekio nustatymas	26
2.4 Amonio kiekio nustatymas	28
2.5 Azoto kiekio nustatymas	29
2.6 Skendinčių medžiagų nustatymas.....	30
3 Kėdainių valymo įrenginių aprašymas.....	31
3.1 Priėmimo kamera.....	31

3.2	Mechaninio valymo linija.....	31
3.3	Paskirstymo kamera.....	32
3.4	Biologinis reaktorius.....	33
3.4.1	Anoksinis skyrius.....	33
3.4.2	Denitrifikavimo skyrius	33
3.4.3	Nitrifikavimo skyrius	33
3.4.4	Separavimo skyrius	34
4	Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas.....	35
5	Rekomendacijos	52
6	Išvados	55
7	Literatūros šaltiniai	56

Katkauskis Nėdas. Kėdainių nuotekų valyklos azoto šalinimo grandies optimizavimas. *Magistro Projektas / vadovas doc. dr. Viktoras Račys; Kauno technologijos universitetas, cheminės technologijos fakultetas.*

Mokslė kryptis ir sritis: biotechnologija, technologijos mokslai

Reikšminiai žodžiai: *nitrifikacija, denitrifikacija, azotas, nuotekos*

Kaunas, 2017. 58 p.

SANTRAUKA

Šiame projekte aprašoma Kėdainių miesto nuotekų valyklos azoto šalinimo grandies optimizavimas. Kadangi po dumblo pūdymo ir biodujų gamybos grandies įvedimo į procesą sutriko azoto šalinimo efektyvumas. Šio darbo metu buvo išnagrinėtos nuotekų charakteristikos prieš ir po biologinio valymo. Įsivertinus charakteristikas nustatyta, kad vienas iš veiksnių galinčių pagerinti azoto šalinimo efektyvumą yra nitrifikacijos trukmės prailginimas. Tam prie trijų linijų buvo pasiūlyta įvesti papildomus rezervuarus nitrifikacijai, o prie vienos prijunti rezervuarą skirtą tik filtrato iš dumblo apdorojimo grandies valymui. Tyrimo metu gauti rezultatai parodė, kad į procesą įvedus tris papildomus rezervuarus nitrifikacijai azoto pašalinimas pagerėtu 44,7 % lyginat su išvalymu gautu be papildomų rezervuarų. Taip pat buvo nustatyta, kad papildomas rezervuaras skirtas tik filtrato iš dumblo apdorojimo grandies valymui, turėtu visiškai pašalinti azotą. Įvertinus, kad atlikus tokius pakeitimus išvalytų nuotekų rodikliai atitiktų norminius direktyvų reikalavimus, buvo pasiūlyta rekomendacinė technologinė schema šių rezervuarų įvedimui.

Katkauskis Nedas. *Nitrogen Removal Section Optimization of Kėdainiai Wastewater Treatment Plant: Master's thesis in Industrial Biotechnology / supervisor doc. dr. Viktoras Račys.* The Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Research area and field: biotechnology, technological sciences

Key words: *nitrification, denitrification, nitrogen, wastewater*

Kaunas, 2017. 58 p.

SUMMARY

This project describes nitrogen removal section optimization of Kėdainiai wastewater treatment plant. It was estimated that after incorporating activated sludge treatment and biogas production section the nitrogen removal from wastewater was deteriorated. During this project wastewater characteristics before and after treatment were investigated. After the evaluation of characteristics it was determined that extending nitrification time could improve nitrogen removal. To achieve longer nitrification it was proposed that three additional nitrification tanks could be incorporated in process and one tank for treating wastewater returned from sludge treatment and biogas production section. During the investigation the results showed that with tree additional tanks for nitrification, nitrogen removal should be 44.7 % better that it was before. It was also found that additional tank, for wastewater from sludge treatment and biogas productions section, should completely remove nitrogen. It was estimated that after these changes the effluent should met requirements of directives. Taken this into account technological upgrade for additional tanks incorporation were recommended.

Santrumpos

ADSM – aktyviojo dumblo sausų medžiagų kiekis;

BDS – biocheminio deguonies suvartojimas;

BN – bendras azotas;

BP – bendras fosforas;

BVĮ – biologinio valymo įrenginiai;

ChDS – cheminio deguonies suvartojimas;

NH₄ – amonio jonai;

NO₂ – nitritai;

NO₃ – nitratai;

PO₄ – fosfatai;

SM – skendinčios medžiagos.

IVADAS

Vandens užterštumas visame pasaulyje, taip pat ir Lietuvoje, vis dar yra viena opiausių ekologinių problemų. Augant pramonės sektoriui ir didėjant gyventojų skaičiui kartu išauga ir švaraus vandens suvartojimas. Tai automatiškai lemia ir didesnius nuotekų kiekius. Tinkamai neapdorotos nuotekos, kuriose yra daug azoto ir fosforo junginių, išleistos į paviršinius ar gruntinius vandenį gali stipriai paveikti vandens kokybę, sukelti eutrofikaciją taip pat gali įtakoti toksiškų melsvadumblių atsiradimą ir ištirpusio deguonies trūkumą vandenyje.[10]

Europos sąjungos narių sutarimu buvo sudaryta direktyva nustatanti Bendrijos veiksmų vandens politikos srityje pagrindus. Šioje direktyvoje buvo išdėstyti ambicingi tikslai kuriais buvo tikėtasi pasiekti gerą visų Europos paviršinių vandenų ekologinę būklę iki 2015 metų. Tačiau apie 47% paviršinių vandenų iki užsibrėžto laiko tikslo nepasiekė. Todėl galutinė data buvo nukelta iki 2027 metų. [11],[12]

Lietuva kaip Europos sąjungos narė taip pat turi lakyti ES direktyvų reikalavimų. Tam, kad sugebėtų atitikti reikalavimus Lietuvoje turėjo būti tobulinamos nuotekų valyklos.

Kėdainių nuotekų valykloje siekiant pagerinti nuotekų išvalymo kokybę buvo įdiegta nauja biocheminio valymo technologija. Kurios veikimo principas yra išvalyto vandens atskyrimas nuo aktyviojo dumblo, filtruojant vandenį per pakibusį aktyviojo dumblo sluoksnį iš apačios į viršų. Ši moderni technologija turėjo užtikrinti, kad išleidžiamo išvalyto vandens kokybė atitiks normas. Tačiau pradėjus veikti naujai įrengtiems biocheminio valymo įrenginiams į procesą buvo įvesta biodujų gamybos iš perteklinio aktyviojo dumblo grandis. Po šios grandies atsiradimo ženkliai suprastėjo azoto pašalinimas. Tą įtakėjo į valymo įrenginius grąžinamas dumblo apdorojimo metu susidarantis koncentruotas filtratas. Amonio jonų koncentracija išleidžiamose nuotekose pradėjo viršyti leistinas normas.

Darbo tikslas: išanalizuoti Kėdainių miesto nuotekų valymo įrenginių darbą šalinant azotą, ir pasiūlyti technologinės schemos pakeitimus, kuriuos atlikus azoto koncentracija po valymo atitiktų norminius reikalavimus.

Darbo uždaviniai:

1. Išanalizuoti Kėdainių nuotekų valymo įrenginių darbą.
2. Išnagrinėti nuotekų užterštumo charakteristikas prieš ir po valymo.
3. Įvertinti nitrifikacijos greičio priklausomybę nuo nuotekų išbuvimo laiko nitrifikacijos zonoje.

4. Įvertinti papildomų rezervuarų nitrifikacijos prailginimui efektyvumą.
5. Atlikti nitrifikacijos/denitrifikacijos greičio nustatymo tyrimą papildomo rezervuaro, skirto gražinamo filtrato apdorojimui, efektyvumui įvertinti.
6. Apskaičiuoti reikalinga ištirpusio deguonies kiekį įrengimuose
7. Pagal gautus duomenis pateikti rekomendacijas technologinės schemos pakeitimui.

1 Literatūros apžvalga

1.1 Nuotekų valymas

Daugelis pasaulio šalių reikalauja, kad miestų buitinės ir pramoninės nuotekos būtų apdirbtos prieš išleidžiant jas į gamtą. Nuotekų valymo procesai buvo kuriami taip, kad atitekančias neapdorotas nuotekas tiek iš buitinių tiek iš pramoninių šaltinių apdorotų taip, kad ištekancio vandens kokybė būtų tinkama išleisti jį į natūralius paviršinius vandenis, padarant minimalų poveikį aplinkai ir visuomenės sveikatai. Šio proceso metu susidaro pašalinis produktas vadinamas aktyviuoju dumbliu, kuris turi kietos frakcijos iš neapdorotų nuotekų ir dalelių susidariusių nuotekų apdorojimo proceso metu. Tiek ištekantis vanduo tiek susidaręs aktyvusis dumblas yra apdorojami iki tokio kokybės lygio, kad juos būtų galima išleisti į aplinką ar panaudoti perdirbimo tikslais.

Nuotekamųjų vandenų valymas paprastai susideda iš preliminarus apdorojimo, pirminio apdorojimo ir antrinio apdorojimo. Aukštesnio laipsnio apdorojimas, vadinamas tretiniu arba pažangiu apdorojimu, gali būti reikalingas specifinėse vietovėse. Tradicinis nuotekų valymo metodas dažniausiai būna sudarytas iš nuotekų praleidimo per grotas, smėliagaudės, pirminio nusodintuvo ir biologinio apdorojimo. Preliminarus nuotekų apdorojimas paprastai apima nuotekų praleidžiamą per grotas ir smėliagaudę. Šio salymo metu pašalinamos stambios kietos šiukšlės ir sunkios neorganinės dalelės.

Pirminis nuotekų apdorojimas paprastai būna nusodinimas sunkio jėga jau preliminariai apdorotų nuotraukų, kad pašalinti sėdančias daleles. Pirminio apdorojimo atliekos tai koncentruota dalelių vandenyje suspensija vadinama pirminiu dumbliu. Pirminis apdorojimas tai pat turi įtakos mažinant teršalų, patogeninių organizmų, mikroelementų ir potencialiai toksiškų organinių junginių koncentracijas išleidžiamame vandenyje. Pirminio apdorojimo metu susidaro $2,5-3 \cdot 10^3$ L dumblo iš 10^6 L nuotekų. Pirminis dumblas turi apie 3-7% sausų medžiagų todėl gali būti lengvai sutankintas ar nuvandenintas.

Nuskaidrintos nuotekos toliau patenka į antrinį apdorojimą, kuris dažniausiai būna biologinis procesas kaip aktyviojo dumblo sistema. Mikroorganizmai yra naudojami bioskaidžių organinių medžiagų pašalinimui. Dalis organinės medžiagos yra oksiduojama mikroorganizmų gaunant anglies dioksidą ir kitus galutinius produktus. Mikroorganizmai biologiškai sudaro nusėdančius dribsnius. Taip susidariusi perteklinė biomasė yra atskiriama nusodinimo rezervuaruose kaip koncentruota suspensija antrinis dumblas kuris dar vadinamas biologiniu dumbliu ar atliekiniu aktyviuoju dumbliu. Nuotekų teršalai gali tapti antrinio dumblo sudedamąja dalimi dėl mikrobinės asimiliacijos, sorbcijos ant sėdančių dalelių ar dėl prisijungimo prie

susiformavusių aglomerato dalelių bioflokuliacijos metu. Antrinio apdoravimo metu pašalinamos suspenduotos dalelės ir kai kurios ištirpusios dalelės sudarant antrinį dumblą. Antrinio apdoravimo metu susidaro apytiksliai $1,5-2 \cdot 10^4$ L antrinio dumblo iš 10^6 L apdoravimo dumblo. Antrinis dumblas paprastai turi apie 0,5-2,0 l sausų medžiagų ir dėl to jį daug sunkiau sutankinti ar nuvandeninti nei pirminį dumblą.

Tretinis apdoravimas naudojamas nuotekų valyklose kuriose išleidžiamo vandens išvalymo laipsnis turi būti geresnis nei gaunamas po antrinio apdoravimo. Dezinfekcija patogeninių mikroorganizmų ir virusų kontrolei vienas iš tretinio apdoravimo tipų. Suspenduotų dalelių susijusių su BDS kiekiu sumažinimui gali būti naudojamas filtravimas, taip pat gali būti salinamos kogulianto pagalba. Adsorbicija, paprastai ant aktyviosios anglies, gali būti naudojama organinių junginių ar mikroelementų pašalinimui. Amonio koncentracija po antrinio apdoravimo gali būti sumažinama nitrifikacijos metu. Tretinis apdoravimas azoto ir fosforo pašalinimui yra dažnai taikomas metodas norint sumažinti teršalų patenkančių į paviršinius vandenius kiekį. Azotas paprastai šalinamas naudojant nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesus. Fosforas yra pašalinamas mikrobinio įsisavinimo ar cheminio nusodinimo būdu. Tretinio apdoravimo metu susidaro apytiksliai $1 \cdot 10^4$ L tretinio dumblo iš 10^6 L apdorotų nuotekų. Tretinio dumblo charakteristikos priklauso nuo naudoto nuotekų valymo metodo. [1]

1.1.1 Azoto šaltiniai

Azotas yra natūraliai randamas cheminis elementas, kuris yra būtinas gyvų organizmų augimui ir dauginimuisi. Tai vienas pagrindinių komponentų baltymų ir nukleo rūgščių sudėtyje, be kurių negalėtų egzistuoti gyvybė. Taip pat azotas yra gausiausias junginys atmosferoje. Dujinis azoto (N_2) yra sudarytas iš dviejų azoto atomų ir sudaro apie 79% oro tūrio.

Nors atmosferoje ir yra labai didelis kiekis azoto jis nėra lengvai prieinamas daugumai organizmų. kai kurios organizmų grupės įsisavina azoto dujas ir padaro jas prieinamas kitiems organizmams. Šis procesas vadinamas azoto fiksacija. Ji gali būti kelių tipų biologinė ir pramoninė. Biologinės azoto fiksacijos atveju atmosferinis azotas fermentų pagalba yra paverčiamas amoniu. Didžioji dalis azotą fiksuojančių organizmų vadinamų diazotropais gyvena arti augalų šaknų ir gauna energiją iš augalų. Pramoninės azoto fiksacijos metu per įvairius cheminius procesus iš oro gaunamas amonis ir nitratai.

Dideli azoto šaltiniai yra augalinės kilmės tai pūvantys augalai, gyvulinės kilmės atliekos, žmonių atliekos, pramoninės ir žemės ūkio kilmės ir atmosferinės kilmės. Azoto junginiai žmonių ir gyvulių atliekose yra siejami su baltymais ir nukleo rūgštimis. Amonis susiformuoja kaip baltymų ir nukleo rūgščių įrimo produktas. Lakus organinis azotas išsiskiria į atmosferą pūvant

augalams. Pramonės emisijos ir kuro deginimas sudaro azoto oksidus ir azoto rūgštį. Daug azoto formų yra naudojama žemdirbystėje kaip trąšos. Paprastai azoto trąšoms gauti naudojami junginiai yra karbamidas, amonio fosfatas, amonio sulfatas ir amonio nitratas.

Dažniausiai nuotekose sutinkamos azoto formos yra amonis (NH_3), amonio jonai (NH_4^+), azoto dujos (N_2), nitritai (NO_2^-), nitratai (NO_3^-) ir organinis azotas. Miestų nuotekas daugiausia sudaro amonis ir organinis azotas. Pramoninėse nuotekose kai kuriais atvejais būna nemažas kiekis nitratų. Buitinėse nuotekose paprastai būna apytiksliai 60% azoto kuris yra amonio formoje ir 40% azoto organinėje formoje. Organinis azotas sudarytas iš sudėtingo amino junginių mišinio, įskaitant amino rūgštis ir baltymus. Organinis azotas nesunkiai paverčiamas amoniu bakterinio skaidymo metu kuris vadinamas amonifikacija. Organinis azotas nusakomas Kjeldalio metodu.[2]

1.1.2 Fosforo šaltiniai

Fosforas yra neatskiriamas komponentas ląstelių energijos metabolizmo procese. Fosforas taip pat yra vienas pagrindinių komponentų ląstelių membranoje. Jis yra būtinas augalams ir mikroorganizmams kaip maistinis šaltinis. Fosforas randamas vejos trąšose, mėšle, detergentuose ir namų valymo priemonėse taip pat žmonių ir gyvulinės kilmės atliekose. Į paviršinius vandenis fosforas patenka iš buitinių ir pramoninių nuotekų ir natūralių nuotėkių metu.

Cheminės fosforo formos randamos vandeniniuose tirpaluose yra ortofosfatai, polifosfatai ir organinis fosforas. Ortofosfatai gali būti fosforo rūgšties (H_3PO_4), divandenilio fosfatai (H_2PO_4^-), vandenilio fosfatai (HPO_4^{2-}) ir fosfato jonai (PO_4^{3-}). Fosfatų rūšis ir jų gausa keičiasi priklausomai nuo tirpalo pH. Ortofosfatų koncentracija nuotekose priimama kaip visų ortofosfato rūšių suma. Pagal susitarimą visi išmatuoti kiekiai pateikiami ne kaip fosfatai, o kaip fosforas. Tačiau vandenvalos įrenginių operatorius turi būti atidus analizuodamas ir pateikdamas fosforo vertes. Fosforo koncentracija yra apskaičiuojama PO_4 vertes dalinant apytiksliai iš 3. Pavyzdžiui jei įtekančiose nuotekose yra 10 mg/L fosforo (P) tai fosfatų (PO_4) bus apytiksliai 30 mg/L

Nuotekose fosforas gali būti išskiriamas į dvi pagrindines grupes, remiantis fizinėmis charakteristikomis:

- Tirpus fosforas
- Netirpus fosforas

Ortofosfatai yra lengvai prieinami organizmams be papildomo skaidymo. Polifosfatai gali būti paverčiami ortofosfatais naudojant hidrolizės reakcijas, kurios yra gana lėtos. Tradicinėse vandenvalos įrenginiuose be biologinio fosforo šalinimo apytiksliai nuo 5 iki 10% fosforo yra pašalinama per pirminį nusodinimą ir antrinį skaidrinimą. Apytiksliai nuo 20 iki 25% fosforo yra sunaudojama aktyviojo dumblo per bakterinio augimo procesą. Organinių fosfatų koncentracija

buitinėse nuotekose dažniausiai būna nedidelė, tačiau jų pašalinimas biologiniais ir cheminiais procesais yra labai sudėtingas.[2]

1.2 Teršalų poveikis vandenims

Per didelis išmetamų teršalų kiekis į paviršinius vandenis gali sukelti rimtas ekologines problemas, kurios paveiktų vandens gyvūnijos sveikatą taip pat turėtų įtakos žmonėms ir gyvūnams. Yra kelios pagrindinės problemos kurias sukelia teršalai išleidžiami į paviršinius vandenis. Tai eutrofikacija, amonio toksiškumas ir gruntinio vandens užteršimas nitratais.

Eutrofikacija yra perteklinis augalų ir dumblių augimas vandenyje. Pagrindinis rūpestis yra eutrofikacijos poveikis vandens kokybei ir vandens gyvūnams. Kai augalai ir dumbliai miršta dėl jų puvinimo vandenyje sumažėja ištirpusio deguonies koncentracija.

Pagrindinė sąlyga kuri skatina augalų ir dumblių augimą yra makroelementų, azoto ir fosforo, būvimas taip pat reikia anglies dioksido ir saulės energijos. Kai nėra kurio nors iš makroelementų neatsiranda ir perteklinis augalų ir dumblių augimas. Todėl azotas ir fosforas yra pagrindiniai junginiai eutrofikacijos kontrolei. Vienas iš labiau paplitusių kontrolės metodų yra nustatyti ribas į aplinką išleidžiamo azoto ar fosforo kiekiui iš tiesioginių ir netiesioginių šaltinių.

Amonio toksiškumas. Molekulinė ar nejonizuota amonio azoto forma yra toksiška žuvims ir kitiems vandens gyvūnams. Efektas gali būti stiprus dėl kurio miršta žuvis arba lėtinis paveikiantis dauginimąsi ir sveikatą. amoniakas (NH_3) ir jonizuotas amonis (NH_4^+) vandeniniame tirpale būna pusiausvyroje jų procentinis santykis pH ir temperatūros funkcija.

Gruntinio vandens užterštumas nitratais. Valymo sistemos kurių nutekamieji vandenys išleidžiami į gruntinius vandenis turi potencialą užteršti gruntinius vandenis nitratais. Taip gali nutikti jei nutekamuose vandenyse yra nitratų arba amoniako, kuris nitrifikuojasi dirvožemyje kai su lietaus vandeniu atsiranda ištirpusio deguonies. Visuomenės susirūpinimas dėl nitratų yra siejamas su jų sukeliama kraujo sutrikimu vadinamu metemoglobinemija, kuris paveikia kūdikius. Nitratai prisijungdami prie hemoglobino užkerta jam kelią prisijungti deguonį ir tai gali baigtis uždusimu. Dėl to šis sutrikimas dar vadinamas mėlynojo kūdikio sindromu.[2]

1.3 Azoto šalinimas

1.3.1 Hidrolizė ir amonifikacija

Mikroorganizmai kurie dalyvauja nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesuose gali pašalinti tik neorganines azoto formas tokias kaip amonis, nitritai ir nitratai. Todėl organinės formos azotas

nepriklausomai nuo to tirpus ar ne, turi galimybę pereiti procesą neapdorotas. Tačiau netirpios formos organinis azotas paprastai yra prisijungęs prie kietų dalelių kurios yra pašalinamos skaidrinimo arba filtravimo metu. Taip pat netirpus organinis azotas hidrolizės metu gali būti paverčiamas į tirpią formą. Tada tirpūs organinio azoto junginiai yra paverčiami į amonio formos azotą, šis procesas yra vadinamas amonifikacija. Hidrolizė ir amonifikacija yra atliekama fakultatyvinių mikroorganizmų, kurie gali egzistuoti bet kurioje nuotekų valymo sistemos dalyje. Šie procesai retai kada įtakoja nitrifikacijos greitį.[2]

1.3.2 Nitrifikacija

Nitrifikacija yra dviejų stadijų biologinės konversijos procesas, kurio metu amonis paverčiamas nitritais, o po to nitratais. Šiai konversijai būtinos aerobinės sąlygos. Joje dalyvauja dvi specifinės autotrofinių bakterijų grupės: *Nitrosomonas* ir *Nitrobacter*. Šios bakterijos kaip anglies šaltinį naudoja anglies dioksidą, o augimui ir energijai gauti naudoja specifinius neorganinius chemikalus šiuo atveju *Nitrosomonas* naudoja amoniaką, o *Nitrobacter* – nitritus.

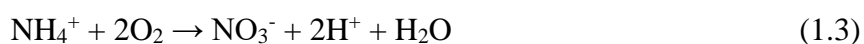
Nitrifikacijos proceso stochiometrija apibrėžia reaguojančių medžiagų ir produkto proporcijas. Stechiometrija svarbu išmanyti, nes taip galima nusakyti sąnaudas ir išeigas kiekviename proceso žingsnyje. Stechiometrinė lygtis parodanti molinį santykį oksidacijos reakcijai amonio (NH_4^+) pavertime į nitritus (NO_2^-) kurią atlieka *Nitrosomonas* bakterijos pateikta žemiau:



Taip pat stochiometrinė lygtis apibūdinanti nitritų oksidaciją į nitratus (NO_3^-) kuria atlieka *Nitrobacter* bakterijos:



Bendra stochiometrinė lygtis:



Nitrosomonas ir *Nitrobacter* bakterijų biomasės augimas yra amonio ir nitritų oksidacijos rezultatas. Manoma, kad šių bakterijų augimas yra priklausomas nuo atitinkamo substrato koncentracijos. Tai apibūdina Monod lygtis:

$$u_n = u_{n-\max} S_n / (K_n + S_n) \quad (1.4)$$

Kur:

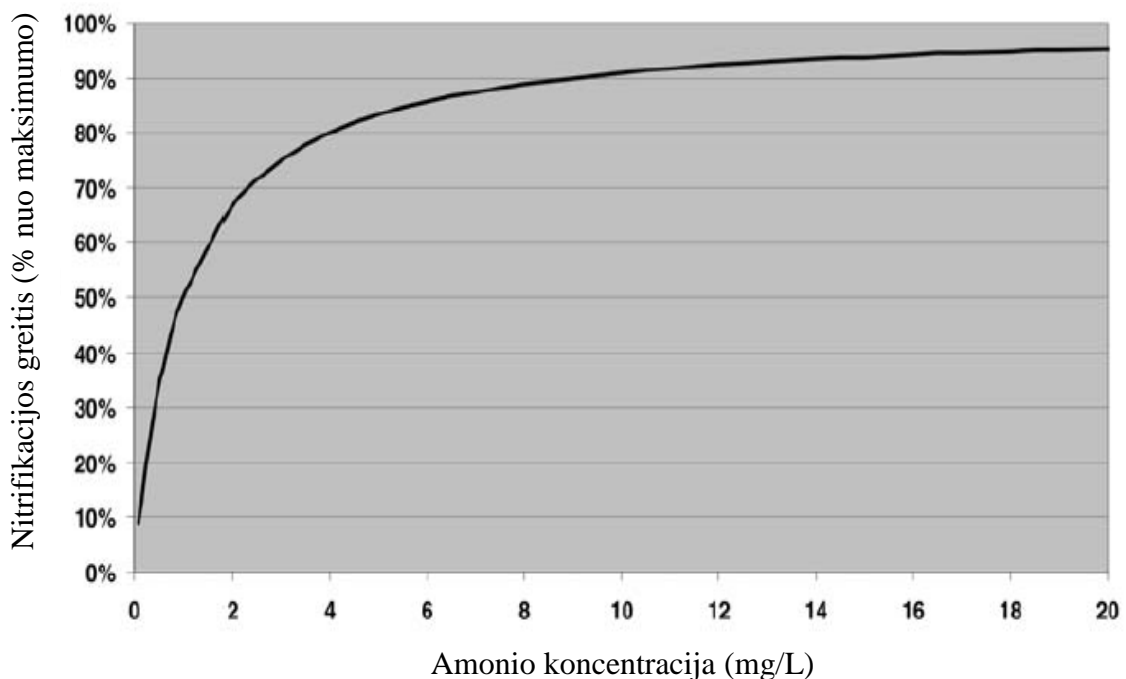
u_n = savitasis mikroorganizmų augimo greitis

$u_{n-\max}$ = maksimalus savitasis mikroorganizmų augimo greitis

S_n = augimą limituojančio substrato ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) koncentracija mg/L

K_n = pusiau-prisotinimo koeficientas amonio-azotui mg/L

Nitrifikacijos atveju amonio-azotas yra substratas (S_n), o pusiau prisotinimo koeficientas (K_n) yra apibrėžimas kaip koncentracija kai nitrifikuojančių bakterijų augimo greitis 50% nuo maksimalaus nitrifikuojančių bakterijų augimo greičio ($u_{n-\max}$), paprastai 1mg/L $\text{NH}_4^+\text{-N}$. Maksimalus nitrifikuojančių bakterijų augimo greitis yra pasiekiamas bakterijoms dauginantis kai nėra jokių limituojančių faktorių. Žemiau esančiame grafike (pav. 1.1) pateikta nitrifikuojančių bakterijų augimo greičio priklausomybė nuo amonio koncentracijos.[2]



Pav.1.1 Amonio koncentracijos įtaka nitrifikacijai

1.3.3 Denitrifikacija

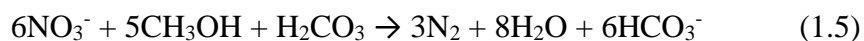
Denitrifikacija tai procesas kurio metu nitratai ir nitritai yra biologiškai redukuojami iki azoto dujų, esant ištirpusio deguonies trūkumui. Aplinka kurioje nėra ištirpusio deguonies arba jo labai mažai, bet yra deguonies nitratų ar nitritų formoje, vadinama anoksine. Denitrifikacijos metu

bakterijos naudoja deguonį esantį nitratų ar nitritų molekulėse organinės anglies metabolizmui. Kitaip nei nitrifikaciją, denitrifikaciją atlieka platus spektras heterotrofinių bakterijų rūšių. Paprastai šie organizmai kaip energijos šaltinį naudoja deguonį, tačiau kai deguonies yra labai mažai ar iš vis nėra, jie gali naudoti nitratus ir nitritus.[2]

Heterotrofinės bakterijos kaip maisto šaltinį denitrifikacijai atlikti gali naudoti įvairius substratus. Nuotekų denitrifikacijoje kaip anglies šaltiniai pagrinde naudojami šie junginiai:

- Organiniai junginiai esantys buitinėse ar pramoninėse nuotekose;
- Metanolis;
- Etanolis;
- Acto rūgštis;
- Maisto gamybos organinės atliekos(cukrai)

Stechiometrinė lygtis denitrifikacijai naudojant metanolį:



Denitrifikacijos greitis yra susijęs su heterotrofinių bakterijų kurios naudoja nitratus kaip deguonies šaltinį augimu, taip pat poveikį daro tokie faktoriai kaip įtekančių nuotekų charakteristikos, proceso konfigūracijos ir pagalbinio substrato naudojimas. [2]

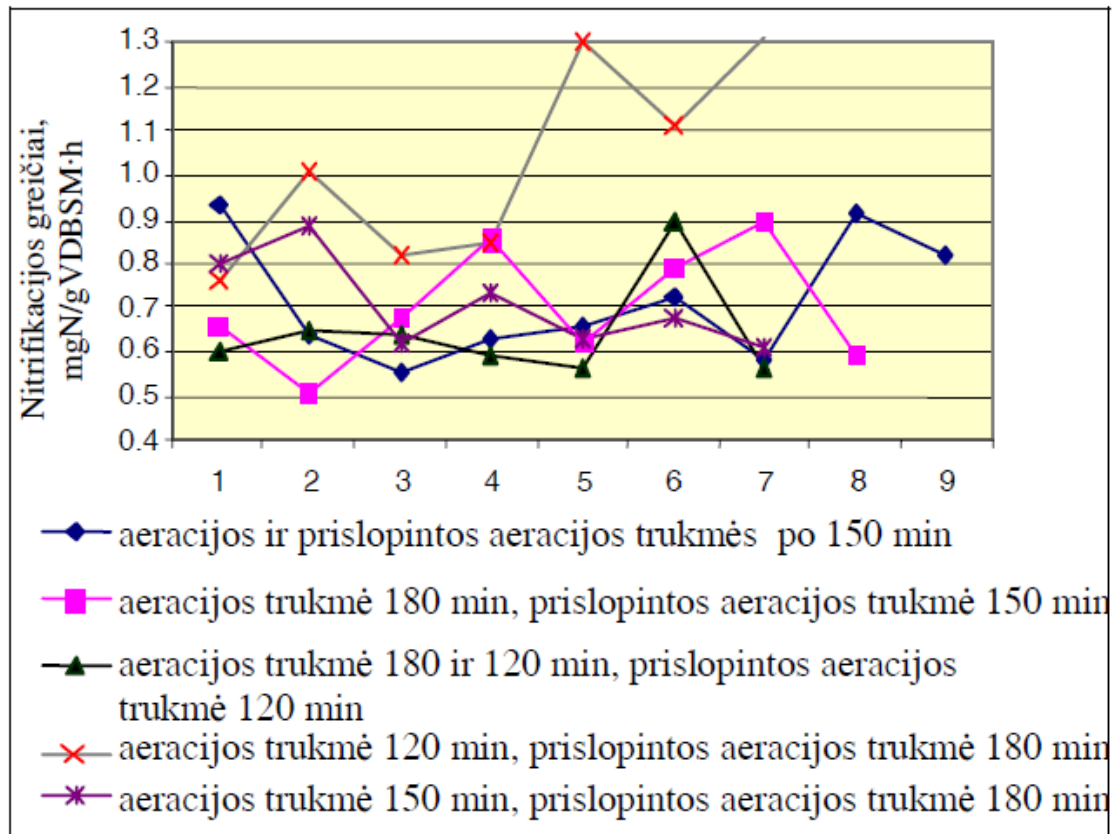
1.4 Nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesus įtakojančios veiksniai

Pagrindiniai veiksniai įtakojančios nitrifikaciją ir denitrifikaciją yra temperatūra, pH, dumblo amžius, dumblo apkrova, nuotekų teršalų sudėtis, ištirpusio deguonies koncentracija ir aeravimo trukmė.

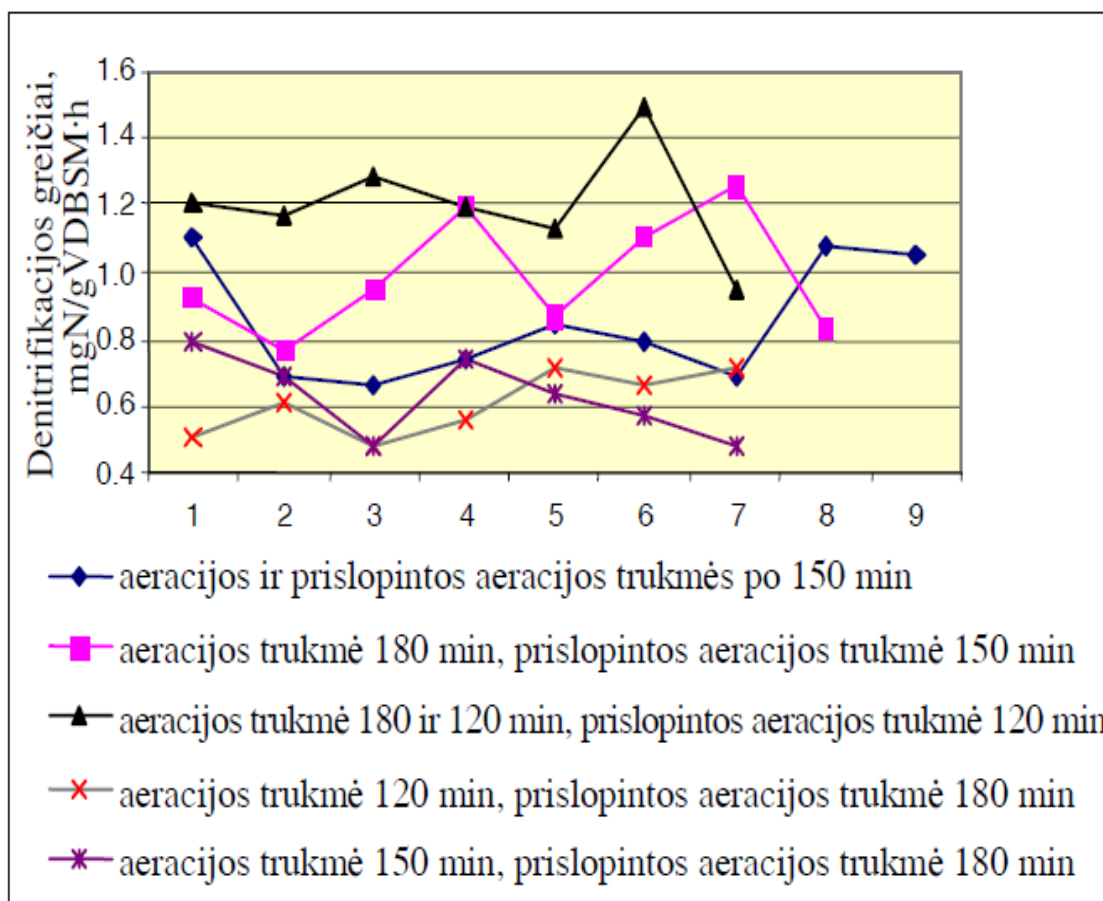
1.4.1 Aeracijos trukmės įtaka nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesams

Biologiniam azoto šalinimui kai nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesai vyksta įjungiant ir išjungiant aeravimą yra svarbu tinkamai parinkti aeravimo trukmę. Tai patvirtina literatūroje aprašyti jau atlikti eksperimentai. Iš penkių atliktų eksperimentų naudojant skirtingas aeravimo ir prislopinto aeravimo trukmes kurios svyruoja nuo 120 iki 180 minučių nustatyta, kad nitrifikacijos greitis esant skirtingoms aeravimo trukmėms kinta nuo 0,5 iki 1,3 mgN/gADSM (pav. 1.2), o denitrifikacijos greitis prie skirtingų prislopinto aeravimo trukmių svyruoja nuo 0,49 iki 1,49

mgN/gADSM (pav. 1.3). Taip pat iš pateiktų grafikų galima matyti, kad didžiausias nitrifikacijos greitis užfiksuotas kai aeracijos trukmė buvo 120 minučių, o mažiausias kai aeracijos trukmė – 180 minučių (pav. 1.2). Didžiausias denitrifikacijos greitis buvo užfiksuotas kai denitrifikacijos trukmė buvo 120 minučių, o mažiausias kai denitrifikacijos trukmė 180 minučių (pav. 1.3). [3]



Pav. 1.2 Nitrifikacijos greičiai priklausomai nuo aeracijos trukmės[3]



Pav. 1.3 Denitrifikacijos greičiai priklausomai nuo aeracijos trukmės[3]

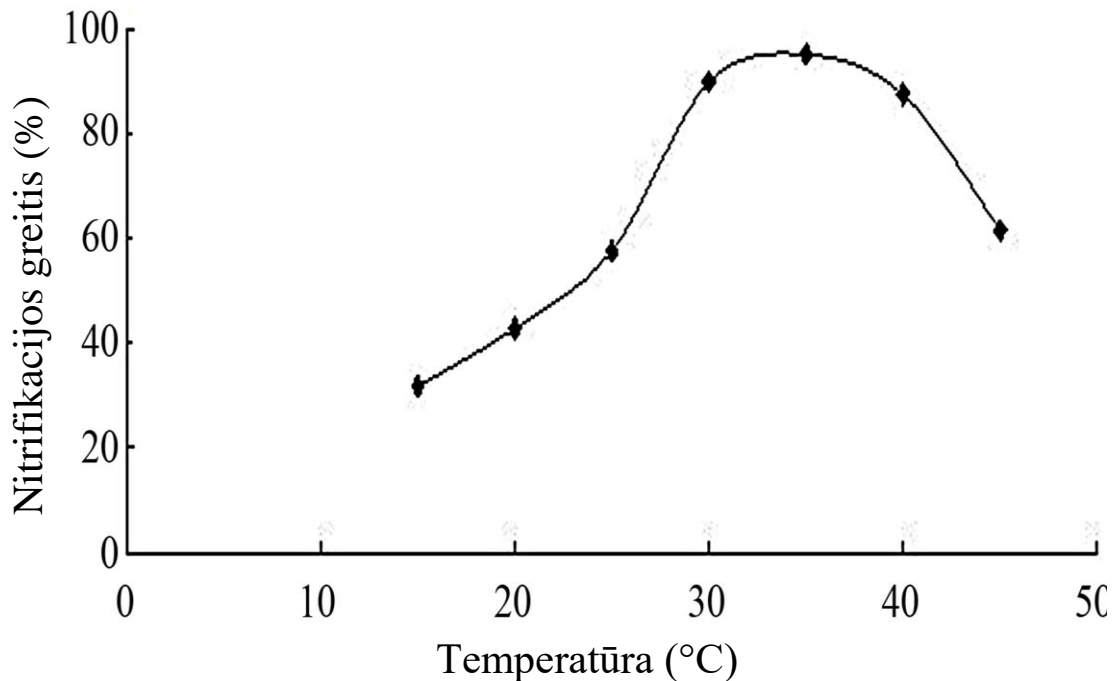
1.4.2 Temperatūros įtaka procesui

Temperatūra yra vienas labiausiai nitrifikuojančių bakterijų augimą, o tuo pačiu ir nitrifikacijos greitį įtakančių veiksnių. Skirtingose literatūros šaltiniuose galima rasti pateiktas kiek skirtingas temperatūras kurios yra optimalios nitrifikacijai. Lentelėje 1.1 pateikta optimali temperatūra yra apie 28 – 32 °C.[4]

1.1 Lentelė Temperatūros įtaka nitrifikacijai.[4]

Temperatūra	Įtaka nitrifikacijai
>45°C	Nitrifikacija nevyksta
28 – 32 °C	Optimali temperatūra
16 °C	Nitrifikacijos greitis apie 50% nuo nitrifikacijos greičio kai temperatūra 30 °C
10 °C	Gana didelis greičio sumažėjimas. Nitrifikacijos greitis apie 20% nuo nitrifikacijos greičio kai temperatūra 30 °C
<5 °C	Nitrifikacija nevyksta

Pagal literatūrą [13] optimali temperatūra nitrifikacijai yra 30 – 35 °C tai galima matyti iš pateikto grafiko (pav. 1.4).



Pav. 1.4 Temperatūros įtaka nitrifikacijos greičiui

Įprastai optimali temperatūra biocheminiams procesams vykti yra apie 38 °C. tačiau kuo aukštesnė temperatūra, tuo mažesnis deguonies tirpumas vandenyje. Tokiu atveju norint palaikyti tinkama deguonies koncentracija reikia tiekti daugiau oro į įrenginius. Dėl to išauga sąnaudos nuotėkoms valyti. Įvertinus sąnaudas deguonies tirpinimui ir biocheminių procesų greičius optimali temperatūra turėtų būti 23 – 27 °C. [14];[15]

Tuo tarpu optimali denitrifikacijos temperatūra yra nuo 25 iki 35 °C, tačiau denitrifikacijos procesas normaliai vyksta ir esant 2 – 50 °C temperatūrai ten, kur bakterijos išsivystė mokėdamos susidoroti su specifinėmis sąlygomis [16]

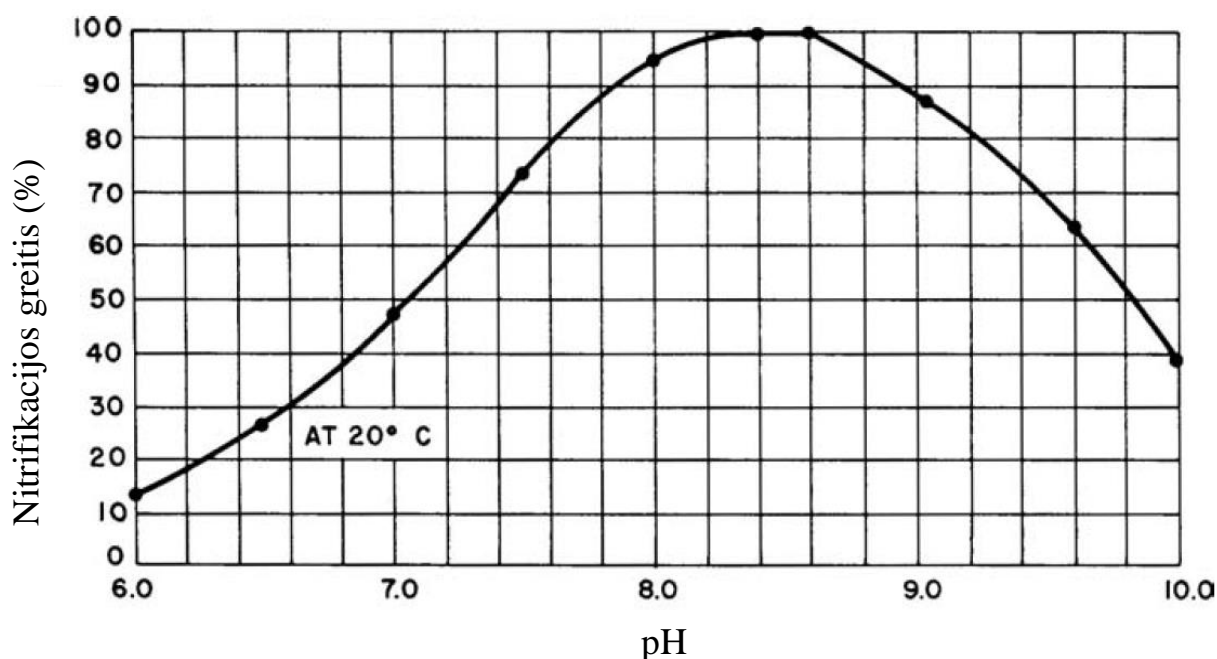
Nitrifikacijos greitis dažniausiai išreiškiamas miligramais amonio jonų oksiduotų gramo AD5M per dieną. Žemos temperatūros slopinantis poveikis labiau veikia *Nitrobacter*, nei *Nitrosomonas* bakterijas.[4]

1.4.3 pH įtaka nitrifikacijai ir denitrifikacijai

Dauguma bakterijų optimaliai funkcionuoti gali tik gana siaurame pH intervale nuo 6 iki 8. Jei biologiniuose vandenvalo įrenginių reaktoriuose pH išeina iš optimalaus veikimo intervalo,

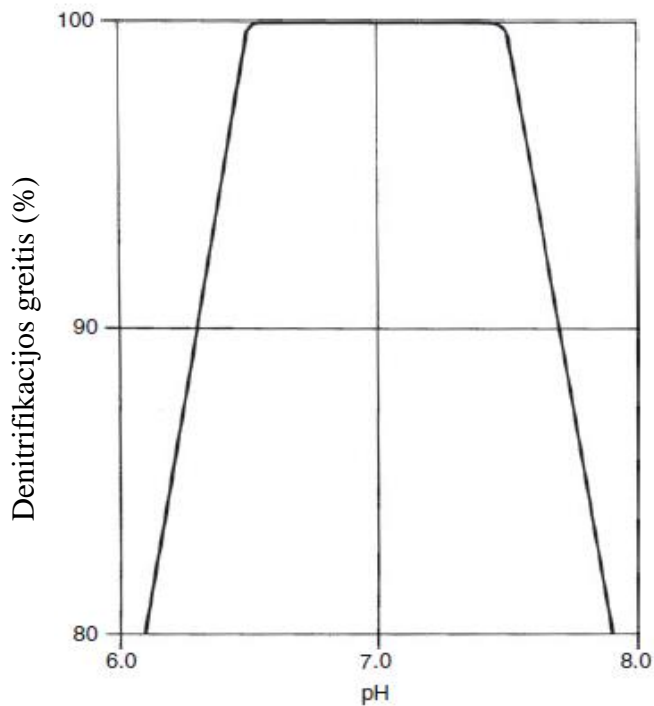
gerokai sumažėja mikrobinės populiacijos aktyvumas. Toks aktyvumo sumažėjimas sukelia nemažas problemas sistemos veikimui. [17]

Nuotekų vanduo paprastai yra šarminis. Šarmingumas atsiranda dėl geriamojo vandens ir gruntinio vandens patekimo į nuotekas, taip pat dėl cheminių junginių išleidžiamų į kanalizacijos sistemas. Šarmingumas mažėja nitrifikacijos proceso metu dėl to pH gali nukristi žemiau optimalios ribos ir slopinti procesą. Kai prarandamas šarmingumas ir pH aerotanke nukrenta žemiau 6,7 matomas gana ryškus nitrifikacijos greičio kritimas (Pav.1.5).[4];[18]



Pav. 1.5 Nitrifikacijos priklausomybė nuo pH

Literatūroje [17] nurodyta, kad optimalios pH ribos denitrifikacijai yra nuo 6,5 iki 7,5 (pav. 1.6). Šios ribos šiek tiek skiriasi nuo nitrifikacijos ribų ir kaip matoma iš paveikslėlio 1.6 kai pH neatitinka ribų net ir nedaug denitrifikacijos greitis pradeda sparčiai kristi. Iš nitrifikacijos zonų išstėkančios nuotekos kai kuriais atvejais gali viršyti 7,5 pH. Tačiau tai nėra bėda, nes denitrifikacijos zonoje vykstant anglies turinčių medžiagų oksidacijai išsiskiria anglies dioksidas kuris greitai sumažina pH iki palankių ribų kurios yra žemiau 7,5 pH. Todėl nereikia naudoti jokių papildomų chemikalų pH kontrolei.

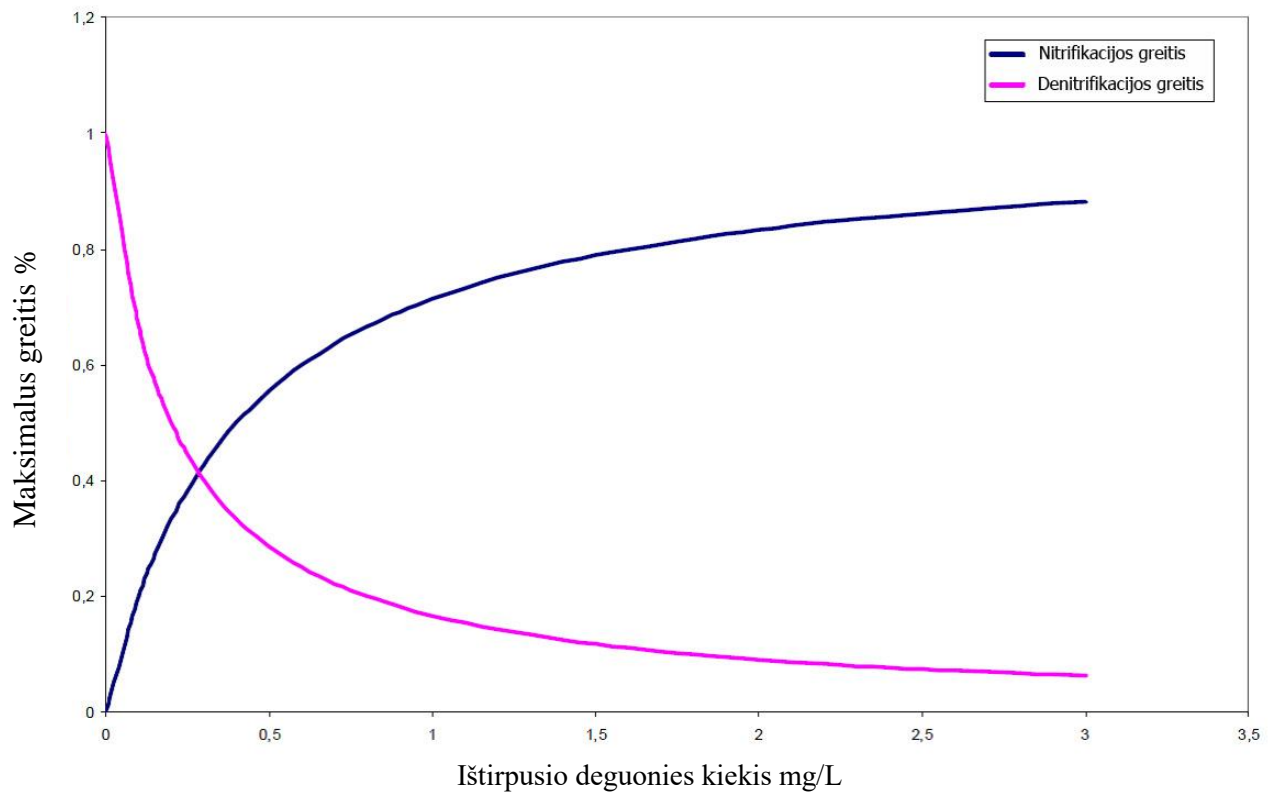


Pav. 1.6 Denitrifikacijos greičio priklausomybė nuo pH

1.4.4 Ištirpusio deguonies koncentracijos įtaka nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesui

Viena iš svarbių sąlygų norint palaikyti nitrifikaciją yra nuolatinis deguonies tiekimas. Kadangi nitrifikuojančios bakterijos yra obligatiniai aerobai, tai reiškiam kad jie gali funkcionuoti tik aerobinėmis sąlygomis. Ribos kuriose ištirpusio deguonies koncentracija pradeda slopinti nitrifikacijos greitį priklauso nuo įvairių veiksnių. Tai gali būti temperatūra, organinių teršalų kiekis, dumblo amžius ir t.t [2]. Pagal literatūrą [19] biocheminiai procesai įrenginiuose vyksta, kai ištirpusio deguonies koncentracija ne mažesnė nei 0,25 mg/L, o optimalia ištirpusio deguonies koncentracija turėtų būti 2 mg/L, kadangi didinant ištirpusio deguonies koncentraciją virš 2 mg/L teršalų oksidacijos greitis didėja nežymiai, o elektros energijos suvartojimas aeracijai padidėja ženkliai. Nors kai kuriose tyrimuose nustatyta, kad maksimaliam nitrifikacijos greičiui pasiekti ištirpusio deguonies koncentracija turi būti nuo 0,3 mg/L iki 4,0 mg/L. Taip pat buvo nustatyta tokių atvejų kai norint pasiekti maksimalų nitrifikacijos greitį reikėjo, kad ištirpusio deguonies koncentracija viršytų 4,0 mg/L, kai kiti tyrėjai nustatė, kad pakankamas kiekis yra 0,5 – 1,0 mg/L maksimaliam nitrifikacijos greičiui gauti.[20]. Tačiau dėl per stiprios aeracijos, kai oras pučiamas labai intensyviai aplinkoje gali imti trūkti anglies dioksido dėl degazavimo. Kadangi nitrifikuojančios bakterijos yra autotrofinės, anglį gauna iš anglies dioksido, atsiradus CO₂ trūkumui jos nustoja daugintis.[21]. Pav. 1.7 patvirtina tai, kad optimali ištirpusio deguonies koncentracija turėtų būti apie 2 mg/L, kadangi nitrifikacijos greitis didėja proporcingai kartu su

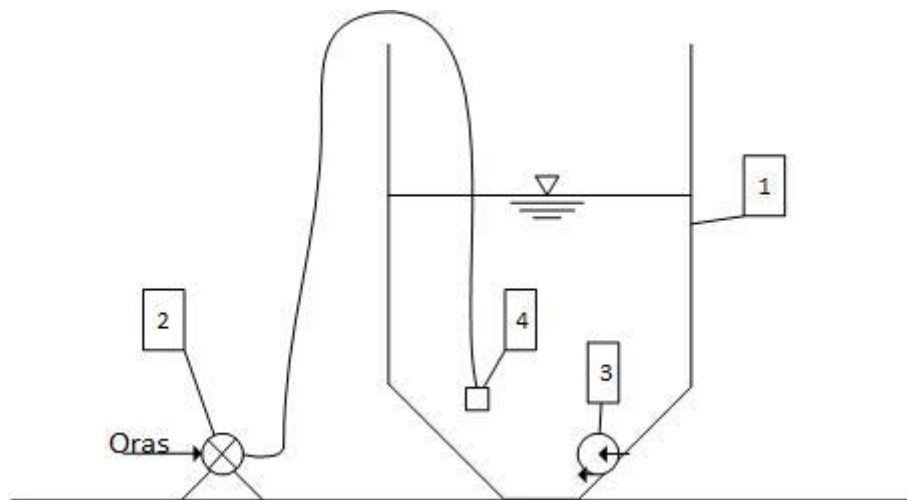
ištirpusio deguonies kiekiu nuo 1,5 iki 2 mg/L. Peržengus 2 mg/L ištirpusio deguonies koncentraciją nitrifikacijos greitis toliau didėja nežymiai.[22]



2 Medžiagos ir metodai

2.1 Nitrifikacijos ir denitrifikacijos tyrimas

Šiam tyrimui atlikti buvo sukonstruota nitrifikacijos ir denitrifikacijos sistema kurioje buvo galima palaikyti aerobines ir anoksines sąlygas kurios imituotų nitrifikacijos ir denitrifikacijos reaktorių. Sistema (pav. 2.1) buvo sudaryta iš biologinio 70L nitrifikacijos/denitrifikacijos reaktoriaus, orapūtės, kad būtų galima palaikyti aeracija nuotekose nitrifikacijos proceso metu, prie orapūtės prijungto difuzoriaus ir maišymo pompos aktyviojo dumblo maišymui.



Pav. 2.1 Principinė tyrimui naudotos sistemos schema: 1 – nitrifikacijos/denitrifikacijos reaktorius, 2 – orapūtė, 3 – recirkuliacinė pompa, 4 – difuzorius

Pirmam tyrimui aktyvusis dumblas buvo imamas iš Kėdainių nuotekų valyklos nitrifikacijos rezervuaro. Pasėmus mišinio iš rezervuaro buvo palaukiama kol dumblas nusės. Tada nupilamas vanduo, o likęs dumblas naudojamas tyrimui. Taip paimama 10L aktyviojo dumblo. Nuotekos naudojamos tyrimui buvo imamos jau po mechaninio apdorojimo, iš nuotekų įbėgimo į biologinį reaktorių vietas. Sumaišius 10L nuotekų su 10L aktyviojo dumblo, 70L nitrifikacijos/denitrifikacijos reaktoriuje, buvo imituojami nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesai. Šie procesai buvo atliekami ciklais po 120 minučių. Nitrifikacijos ciklas buvo atliekamas 120 minučių aeruojant ir maišant aktyviojo dumblo bei nuotekų mišinį. Denitrifikacijos procesas buvo vykdomas 120 minučių išjungus aeracija ir tik maišant aktyviojo dumblo bei nuotekų mišinį. Taip pat skirtingais laiko tarpais papildomai buvo įpilama po 10L nuotekų. Imamų iš įbėgimo į biologinį rezervuarą po mechaninio apdorojimo. Mėginai buvo imami kiek vieną kartą prieš įpilant ir įpylus nuotekų vandens, amonio ir nitratų nustatymui. Mėginio paėmimui prieš įpilant nuotekas sistema buvo stabdoma pusei valandos. Išjungiant ir aeravimą ir maišymą. Po pusės valandos nusėdus dumbliui paimamas apie pusės litro mėginys tyrimams atlikti. Įpylus nuotekų ir joms

susimaišius su senu mišiniu vėl palaukiama kol dumblas nusės, kad būtų galima paimti skaidrą mėginį. Paėmus abu mėginius sistema vėl paleidžiami veikti nitrifikacijos/denitrifikacijos ciklais.

Antram tyrimui aktyvusis dumblas taip pat kaip ir pirmam buvo imamas iš nitrifikacijos rezervuaro. Pasėmus mišinio iš rezervuaro buvo palaukiama kol dumblas nusės. Tada nupilamas vanduo, o likęs dumblas naudojamas tyrimui. Taip paimama 10L aktyviojo dumblo. Taip pat tyrimui buvo imama 10L nuotekų atitekančių iš dumblo pūdymo ir biodujų gamybos grandies. Sumaišius nuotekas su aktyviuoju dumbliu buvo imituojamas nitrifikacijos ir denitrifikacijos procesai ciklais po 120 minučių. Nitrifikacijos ciklas buvo atliekamas 120 minučių aeruojant ir maišant aktyviojo dumblo bei nuotekų mišinį. Denitrifikacijos procesas buvo vykdomas 120 minučių išjungus aeracija ir tik maišant aktyviojo dumblo bei nuotekų mišinį. Taip pat skirtingais laiko tarpais papildomai buvo pripilama po 10L nuotekų atitekančių iš dumblo pūdymo ir biodujų gamybos grandies. Mėginai buvo imami kiekvieną kartą prieš įpilant ir įpylus nuotekų vandens, amonio ir nitratų koncentracijų nustatymui. Mėginio paėmimui prieš įpilant nuotekas sistema buvo stabdoma pusei valandos. Išjungiant ir aeravimą ir maišymą. Po pusės valandos nusėdus dumbliui paimamas apie pusės litro mėginys tyrimams atlikti. Įpylus nuotekų ir joms susimaišius su senu mišiniu vėl palaukiama kol dumblas nusės, kad būtų galima paimti apie pusės litro skaidrą mėginį. Paėmus abu mėginius sistema vėl paleidžiami veikti nitrifikacijos/denitrifikacijos ciklais.

Iš gautų koncentracijų skaičiuojamas nitrifikacijos-denitrifikacijos (ρ_{N-DN}) greitis $\text{mgN/gADSM} \cdot \text{d}$:

$$\rho_{N-DN} = \frac{N_{in} - N_{out}}{a_a \times t_{N-DN} / 24}; \quad (2.1)$$

čia:

N_{in} – amonio ir nitratų koncentracijų suma įtekančiose nuotekose, mg/L ;

N_{out} – amonio ir nitratų koncentracijų suma išvalytose nuotekose, mg/L ;

a_a – ADSM koncentracija įrenginyje, g/L ;

t_{N-DN} – nitrifikacijos trukmė, h.

2.2 Biocheminio deguonies suvartojimo nustatymas

Principas

Apdorotas analizuojamas vandens mėginys praskiedžiamas skirtingais kiekiais skiedimo vandens, prisotinto ištirpusiu deguonimi ir užsėto aerobiniais mikroorganizmais, su nitrifikacijos

inhibitoriumi. Mėginys inkubuojamas, esant 20 °C temperatūrai, tamsoje, pilnai užpildytuose ir užkimštuose buteliukuose apibrėžtu periodu 5 arba 7 paras, pagal tai ar matuojamas BDS₅ ar BDS₇. Išmatuojama ištirpusio deguonies koncentracija prieš ir po inkubacijos. Apskaičiuojamas suvartotas deguonies kiekis litrai mėginio

Biocheminio deguonies suvartojimo per n parų skaičiavimas (BDS_n)

Biocheminio deguonies suvartojimas (BDS_n), išreikštas mgO₂/l, skaičiuojamas pagal lygtį:

$$BDS_n = \left[(\rho_1 - \rho_2) - \frac{V_t - V_s}{V_t} \times (\rho_3 - \rho_4) \right] \times \frac{V_t}{V_s}; \quad (2.2)$$

čia:

ρ_1 – ištirpusio deguonies koncentracija viename iš tiriamųjų mėginių nuliniu laiko momentu, miligramais litrai;

ρ_2 – ištirpusio deguonies koncentracija po inkubacijos (n parų) to paties mėginio, miligramais litrai.

ρ_3 – ištirpusio deguonies koncentracija tuščiam mėginyje nuliniu laiko momentu, mg/L;

ρ_4 – ištirpusio deguonies koncentracija po n parų inkubacijos tuščiam mėginyje, mg/L;

V_s – analizei paimtas mėginio kiekis, mL;

V_t – bendras nustatomojo mėginio kiekis, mL.

Jeigu keli skirtingi skiedimai atitinka nurodytas ribas, tai apskaičiuojamas gautų rezultatų vidurkis.

Rezultatai išreiškiami mg deguonies litrai. Rezultatai, mažesni kaip 10 mg/l deguonies, pateikiami dešimtųjų tikslumu. Rezultatai nuo 10 iki 1000 mg/l deguonies pateikiami dviejų reikšminių skaičių tikslumu. Rezultatai, didesni kaip 1000 mg/l, pateikiami trimis reikšminiais skaičiais, pvz., 1240 mg/l deguonies. [5]

2.3 Nitratų kiekio nustatymas

Principas

Geltonos spalvos junginio, susidariusio nitrato jonams reaguojant su sulfosalicilo rūgštimi (pastaroji susidaro į mėginį pridėjus natrio salicilato ir sieros rūgšties) šarminėje terpėje, spektrometrinis matavimas.

Kartu su šarmu įpilamas dinatrio etilendinitrilotetraacetato dihidratas (EDTANa₂), kad būtų išvengta kalcio ir magnio druskų nusėdimo. Natrio azidas pridedamas, kad būtų pašalintas nitrito jonų trukdymas.

Į garinimo indelius iš biuretės įpilti 1, 2, 3, 4 ir 5 ml nitratų darbinio standartinio tirpalo (nitratų darbinis standartinis tirpalas, $\rho_N = 1 \text{ mg/l}$). Tai atitinka nitratų kiekį $m(N) = 1, 2, 3, 4 \text{ ir } 5 \text{ mg}$ atitinkamuose indeliuose.

Išmatuojama tirpalo absorbcija, esant 415 nm bangos ilgiui, naudojant 40 mm arba 50 mm optinio sluoksnio storio kiuvetę. Kaip palyginamąjį tirpalą naudoti analizės vandenį. Išmatuotą absorbciją pažymėti A_s . Bandymais nustatyta, kad spalvoto junginio absorbcija išlieka stabili mažiausiai 24 valandas.

Tuščiojo mėginio absorbcijos skaitmeninė vertė atimama iš kiekvieno kalibravimo tirpalo absorbcijos ir nubrėžti absorbcijos intensyvumo priklausomybę nuo nitratų masės $m(N)$, mg. Kreivė turi būti tiesinės priklausomybės ir eiti per koordinatinių pradžių. Jeigu taip nėra, pakartoti kalibravimą.

Apskaičiuoti nitratų absorbciją A_r pagal lygtį:

$$A_r = A_s - A_b, \quad (2.3)$$

čia:

A_s – tiriamojo mėginio absorbcija;

A_b – tuščiojo mėginio absorbcija.

čia:

A_t – mėginio absorbcijos korekcija.

Iš kalibracinės kreivės surandama absorbciją A_r atitinkantį nitratų masę $m(N)$ mikrogramais.

Nitratų koncentracija mėginyje r_N , miligramais litre, apskaičiuoti pagal lygtį:

$$r_N = \frac{m(N)}{V} \quad (2.4)$$

čia:

V – tiriamojo mėginio tūris, mililitrais.

2.1 lentelė. Perskaičiavimai

Nitratai	c(NO ₃)	r _{NO₃}	r _N
	mmol/l	mg/l	mg/l
c(NO ₃) = 1 mmol/l	1	62	14,01
r _{NO₃} = 1 mg/l	0,0161	1	0,226
r _N = 1 mg/l	0,0714	4,427	1

Pavyzdys:

$$r_{\text{NO}_3} = 1 \text{ mg/l atitinka } r_{\text{N}} = 0,226 \text{ mg/l [6]}$$

2.4 Amonio kiekio nustatymas

Principas

Mėlynos spalvos junginio kolorimetrinis matavimas, esant šviesos bangos ilgiui 655 nm. Šis junginys susidaro reaguojant amoniui su salicilato ir hipochlorito jonais bei veikiant katalizatoriui natrio nitroprusidui.

Hipochlorito jonai susidaro vykstant N, N' - dichloro 1,3,5-triazino 2,4,6 (1H, 3H, 5H) trijono Na druskos (natrio dichloroizocianuratas) šarminei hidrolizei.

Chloramino reakcija su Na salicilatu vyksta esant pH 12,6 ir veikiant katalizatoriui natrio nitroprusidui. Taip nustatomas visų mėginyje esančių chloraminų kiekis. Natrio citratas, įeinantis į reagento sudėtį, panaikina katijonų, ypač kalcio ir magnio, neigiamą poveikį.

Kalibracinės kreivės sudarymas

Tuščiojo mėginio absorbcijos skaitmeninė vertė atimama iš absorbcijos verčių, nustatytų naudojant kalibracinius amonio azoto tirpalus. Remiantis gautais rezultatais brėžiama absorbcijos intensyvumo priklausomybės nuo amonio azoto koncentracijos, C_N, kreivė. Kreivė brėžiama per koordinatų pradžią.

Absorbcija, A_r, kurią mėginyje sąlygoja amonio azotas, apskaičiuojama pagal formulę:

$$A_r = A_s - A_b, \quad (2.5)$$

čia:

A_s – tiriamojo mėginio absorbcija;

A_b – tuščiojo mėginio absorbcija.

PASTABA. A_s ir A_b matuojama naudojant to paties optinio sluoksnio storio kiuvetes.

Amonio azoto koncentracija, C_N, mg/l, apskaičiuojama pagal formulę:

$$\frac{m_N}{V} \quad (2.6)$$

čia:

m_N – amonio azoto koncentracija, mikrogramais apskaičiuota iš A_r , ir kalibracinės kreivės, naudojant atitinkamo optinio sluoksnio storio kiuvetę;

V – tiriamojo mėginio tūris, ml.

2.2 lentelėje pateiktas C_N perskaičiavimas į amoniako ir amonio koncentracijas.

2.2 lentelė Perskaičiavimų lentelė

	C_N mg/l	C_{NH_3} mg/l	$C_{NH_4^+}$ mg/l	$C_{(NH_4)^+}$ μmol/l
$C_N=1$ mg/l	1	1,216	1,288	71,4
$C_{NH_3}=1$ mg/l	0,823	1	1,059	58,7
$C_{NH_4^+}=1$ mg/l	0,777	0,944	1	55,4
$C_{NH_4^+}=1$ μmol/l	0,014	0,017	0,018	1

Pavyzdys:

1 mg/l amonio jono koncentracija ($C_{NH_4^+}$) atitinka 0,777 mg/l azoto koncentraciją.

[7]

2.5 Azoto kiekio nustatymas

Principas

Amoniakas, nitritai ir daugelis organinių azoto junginių, esančių mėginyje, yra oksiduojami peroksodisulfatu buferinėje šarminėje terpėje, kaitinant mėginį uždareme inde, esant aukštesniam slėgiui, iki nitratų.

Po to nitratų yra redukuojami į nitritus, praleidžiant po mineralizacijos gautąjį tirpalą pro kolonėlę, užpildytą variu padengtu kadmiu. Susidarę nitritai reaguoja su 4-amino benzensulfonamidu ir N-(1-naftil)-1,2 diamino etandihidrochloridu, sudarydami rožinės spalvos junginį. Fotometrinių matavimų atliekami esant 540 nm bangos ilgiui.

Išmatuojamas sistemos atsakas į mėginius arba standartinius tirpalus. Bazinė linija, gauta atliekant pradinį jautrumo nustatymą, prilyginama tuščiojo mėginio atsakui. Iš kalibracinio grafiko atitinkamai nustatoma azoto koncentracija mg/L. [8]

2.6 Skendinčių medžiagų nustatymas

Principas

Naudojant košimo vakuume ar slėgyje įtaisą, mėginys nukošiamas pro stiklo pluošto koštuvą. Koštuvą yra džiovinamas $(105 \pm 2)^\circ \text{C}$ temperatūroje ir sveriant nustatoma sulaikytų ant koštovo nuosėdų masė.

Skendinčių medžiagų koncentracija apskaičiuojama pagal lygtį:

$$p = \frac{1000 \cdot (b - a)}{V} \quad (2.7)$$

čia:

p – skendinčių medžiagų koncentracija (miligramais litrai);

b – koštovo masė po filtravimo (miligramais);

a – koštovo masė prieš filtravimą (miligramais);

V – mėginio kiekis (mililitrais). Jei mėginys buvo sveriamas, 1 g masės laikyti ekvivalentišku 1 ml kiekiui.[23]

3 Kėdainių valymo įrenginių aprašymas

Kėdainių BVĮ technologinę schemą sudarantys įrenginiai:

- Priėmimo kamera;
- 2 lygiagrečios mechaninio valymo linijos;
- Perjungimo paskirstymo kameros;
- 4 biologinių USBF reaktorių linijos;
- Dumblo apdorojimo ir tvarkymo įrenginiai;
- Koagulianto paruošimo ir automatinio dozavimo stotis;
- 6 pagrindinės orapūtės (4 dirbančios, dvi rezervinės);
- Paršalio lovys;
- Kontrolinis šulinys;
- Septinių nuotekų surinkimo stotis.

3.1 Priėmimo kamera

Priėmimo kamera skirta nuotekų priėmimui, srovės gesinimui, nuotekų sumaišymui, stambių nešmenų sulaikymui. Tai stačiakampio formos gelžbetonio rezervuaras, kurio išmatavimai (ilgis x plotis x aukštis) 4,8x3,0x1,5 m su trimis rankinio valdymo nerūdijančio plieno uždoriais. Du uždoriai naudojami nuotekų paskirstymui į du atskirus kanalus. Trečias uždoris reikalingas nuotekų apvedimo linijai, esant BVĮ avarinei situacijai. Taip pat kameroje yra įrengtas ir persipylimo įrenginys virš pikinių nuotekų padavimui per apvedimo vamzdyną.

3.2 Mechaninio valymo linija

Iš priėmimo kameros nuotekos uždorių pagalba paskirstomos (50% +50%) ir paduodamos dviem vamzdynais į mechaninio valymo įrenginius IHP 150-1 ir IHP 150-2. Kiekviena linija susideda iš:

- Avarinės apvedimo linijos;
- Mechaninio valymo grotų, nešmenų surinkimui;
- Šnekinio preso;
- Smėliagaudės;
- Riebalų surinkimo mechanizmo.

Rankiniu būdu atidarius avarinės linijos uždorį yra pašalinami nešmenys, tam skirtu grėbliu, rankiniu būdu.

Mechaninio valymo grotos, skirtos nešmenų surinkimui, turi du darbo režimus:

- Standartinis – įsijungia nuo laiko relės. Kartą kas užduotą laiko intervalą ir pašalina nešmenis;
- Avarinis – kai nuotekų lygis pakyla iki užduoto lygio ir nuo plūduro signalo įsijungia rotorinis šepetys. Nešmenys šalinami iki to laiko, kol sumažėja nuotekų lygis, kuris irgi užduodamas programoje.

Šnekinis presas skirtas surinktų nešmenų presavimui. Nešmenys presavimo metu nuplaunami spaudiminiu vandeniu. Nešvarus vanduo nuteka į aeruojamą smėliagaudę, o praplauti ir supresuoti nešmenys paduodami į polietileninį maišą – rankovę kuri randasi nešmenų konteineryje.

Horizontalioje aeruojamoje smėliagaudėje nuotekos teka spiraline trajektorija. Nusėdęs smėlis kurio dalelės didesnės nei – 200 mikronų šnekiniu transporteriu transportuojamos į smėlio bunkerį. Iš bunkerio pasvirusiu šneku smėlis paduodamas į smėlio konteineryje esantį maišą – rankovę, pakeliui praplaunamas ir nusausinamas.

Smėliagaudės gale įrengtas riebalų surinkimo – šalinimo įrenginys susidedantis iš:

- Lovio riebalų surinkimui;
- Alkūninio veleno skirto lovio pasukimui;
- Talpos riebalų surinkimui;
- Sraigtinio siurblio riebalų šalinimui į tam skirtą šulinį.

3.3 Paskirstymo kamera

Tai kamera skirta atitekančių nuotekų srauto išlyginimui ir paskirstymui po mechaninio valymo. Kameroje įrengti keturi uždoriai kurias reguliuojamas nuotekų srautas į atskirus bioreaktorius. Taip pat kameroje įrengta bandinių paėmimo stotis, kurioje imami bandiniai įtekančių nuotekų užterštumui nustatyti.

3.4 Biologinis reaktorius

Biologinis reaktorius turi keturias lygiagrečias nepriklausomai viena nuo kitos veikiančias linijas. Kiekvienos linijos vidutinis hidraulinis pajėgumas 2050 m³/d, o maksimalus 6100 m³/d. Reaktoriaus linija sudaro 4 sekcijos:

1. Anoksinė;
2. Denitrifikavimo;
3. Nitrifikavimo;
4. Separavimo.

Kiekvienas skyrius yra skirtingų matmenų, turi savo technologines funkcijas ir savo technologinę įrangą.

3.4.1 Anoksinis skyrius

Skirtas pritekančių nuotekų susimaišymui su recirkuliacinėmis nuotekomis iš denitrifikacijos zonos. Anoksinėje zonoje esančiose nuotekose ir aktyviajame dumble praktiškai nėra ištirpusio deguonies. Būtent tokiose sąlygose mikroorganizmai gerai įsisavina nuotekose esantį fosforą, biologiškai jį surišdami savo organizmuose. Tokiu būdu fosforas iš tirpios būsenos pereina į surištą netirpią. Anoksinėje sekcijoje yra maišyklė ir recirkuliacinis siurblys.

3.4.2 Denitrifikavimo skyrius

Antras pagal vandens tėkmę skyrius – denitrifikavimo, skirtas kokybiškam nuotekų sumaišymui su aktyviuoju recirkuliaciniu dumblo ilgesnį laiką, kurios priteka iš anoksinio skyriaus. Denitrifikavimo skyriuje aktyviojo dumblo sąveikos su pritekančiomis nuotekomis pasekmė – žemas ištirpusio deguonies kiekio susidarymas denitrifikuojamame mišinyje. Taip sukuriama palankios sąlygos tolesniam fosforo įsisavinimui, o taip pat vykti biocheminiam procesui, kurio metu nitratai paverčiami į dujinį azotą. Šis procesas veikiant mikroorganizmams vadinamas denitrifikacijos procesu. Sekcijoje yra dvi maišyklės ir recirkuliacinis siurblys.

3.4.3 Nitrifikavimo skyrius

Trečias skyrius pagal vandens tėkmės kryptį. Skirtas dar intensyvesniam aktyviojo dumblo ir pritekančio mišinio iš denitrifikavimo skyriaus pneumatiniam maišymui ir suspausto oro padavimui siekiant prisotinti mišinį deguonimi. Šiame skyriuje absoliučiai kitokių

mikroorganizmų sąveikoje su nuotekomis vyksta amonio azoto oksidavimo procesas į nitritinį, o po to į nitratinį. Šis procesas vyksta esant dideliame ištirpusio deguonies kiekiui mišinyje, kuris reikalingas nitrifikuojančioms bakterijoms vystytis ir būti aktyvioms. Ištirpusio deguonies kiekis turi svyruoti nuo 2,5 iki 3,5 mg/L. Nitrifikavimo skyriuje sumontuoti aeraciniai elementai, per kuriuos smulkiaburbulinės aeracijos dėka į mišinį įnešamas deguonis.

3.4.4 Separavimo skyrius

Ketvirtas pagal tėkmės greitį skyrius. Skirtas išvalyto vandens atskyrimui nuo aktyviojo dumblo. Anoksinėje, denitrifikavimo ir nitrifikavimo skyriuose aktyvavimą praėjusios nuotekos separavimo skyriuje kyla iš apačios nuo dugno į viršų pakeliui pratekėdamos per pakibusį aktyviojo dumblo sluoksnį, kaip per filtra, kuris vadinamas fluidiniu filtru. Būtent toks nuotekų atskyrimas per fluidinį filtrą ir yra USBF technologijos ypatumas ir tuo skiriasi nuo klasikinių valymo įrenginių technologijos.

4 Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Iš gautų užterštumo charakteristikų prieš ir po valymo galima matyti, kad po valymo lieka gana didelė amonio koncentracija. Iš to galime spręsti, kad nitrifikacija įvyksta nepilnai. Po valymo likusi nitratų koncentracija ganėtinai maža, tai parodo gerą denitrifikacijos proceso veikimą. Duomenys pateikti 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė Nuotekų charakteristikos prieš ir po valymo

Nr.	Prieš valymą					Po valymo		
	Data	Debitas Q, m ³ /d	BDS7, mgO ₂ /L	NH ₄ , mgN/L	NO ₃ , mgN/L	BDS7, mgO ₂ /L	NO ₃ , mgN/L	NH ₄ , mgN/L
1	2015 01 07	6392	329	57	0,21	10	2,3	15
2	2015 01 20	11120	260	27	1,1	9,9	1	14
3	2015 01 28	8450	375	51	0,15	20	0,04	42
4	2015 02 18	8560	416	45	0,14	12	0,088	27
5	2015 02 28	6450	193	41	0,35	16	0,087	38
6	2015 03 05	10560	410	37	0,14	7,8	0,1	32
7	2015 03 26	8130	497	42	0,15	10	0,091	28
8	2015 04 14	9270	344	61	0,12	9,9	0,11	34
9	2015 04 28	8930	426	48	0,17	10	0,09	45
10	2015 05 19	7080	432	56	0,14	6,9	0,083	45
11	2015 05 27	6980	318	55	0,16	8	0,087	45
12	2015 06 05	6360	579	66	0,15	8,7	0,091	44
13	2015 06 30	5410	438	96	0,15	6	0,37	44
14	2015 07 15	6380	713	72	0,2	12	0,27	42
15	2015 07 29	6090	885	120	0,19	7	1,1	44
16	2015 08 12	6090	986	126	0,36	7,5	0,88	24
17	2015 08 19	5940	859	137	0,65	11	0,59	36
18	2015 09 02	6220	986	95	0,21	17	0,19	38
19	2015 09 30	5990	585	94	0,19	8,3	0,13	42
20	2015 10 14	5900	742	68	0,19	6,1	1,3	26
21	2015 10 21	6670	603	82	0,2	13	0,46	29
22	2015 11 04	6630	746	61	0,15	7,8	0,61	20
23	2015 11 25	6780	559	75	0,15	12	0,1	25
24	2016 01 13	6670	650	79	0,37	16	6,9	18
25	2017 01 28	12290	361	39	0,19	8,5	3,3	11
	Vidurkis	7413	548	69	0,25	10,5	0,81	32

Taip pat buvo paskaičiuoti suminiai teršalų kiekiai kg/d (4.2 lentelė), įeinantys M(in) ir išeinantys M(out) iš įrenginio per parą:

$$M = \frac{Q \times C_{ter}}{1000} \quad (4.1)$$

čia:

Q – nuotekų debitas, m³/d;

C_{ter} – teršalų koncentracija, mg/L

4.2 lentelė Nuotekų kiekiai kilogramais per dieną prieš ir po valymo

Data	Prieš valymą M(in)				Po valymo M(out)		
	Debitas, m ³ /d	BDS7, kg/d	NO3, kg/d	NH4, kg/d	BDS7, kg/d	NO3, kg/d	NH4, kg/d
2015 01 07	6392	2103	1,34	364	64	14,70	96
2015 01 20	11120	2891	12,23	300	110	11,12	156
2015 01 28	8450	3169	1,27	431	169	0,34	355
2015 02 18	8560	3561	1,20	385	103	0,75	231
2015 02 28	6450	1245	2,26	264	103	0,56	245
2015 03 05	10560	4330	1,48	391	82	1,06	338
2015 03 26	8130	4041	1,22	341	81	0,74	228
2015 04 14	9270	3189	1,11	565	92	1,02	315
2015 04 28	8930	3804	1,52	429	89	0,80	402
2015 05 19	7080	3059	0,99	396	49	0,59	319
2015 05 27	6980	2220	1,12	384	56	0,61	314
2015 06 05	6360	3682	0,95	420	55	0,58	280
2015 06 30	5410	2370	0,81	519	32	2,00	238
2015 07 15	6380	4549	1,28	459	77	1,72	268
2015 07 29	6090	5390	1,16	731	43	6,70	268
2015 08 12	6090	6005	2,19	767	46	5,36	146
2015 08 19	5940	5102	3,86	814	65	3,50	214
2015 09 02	6220	6133	1,31	591	106	1,18	236
2015 09 30	5990	3504	1,14	563	50	0,78	252
2015 10 14	5900	4378	1,12	401	36	7,67	153
2015 10 21	6670	4022	1,33	547	87	3,07	193
2015 11 04	6630	4946	0,99	404	52	4,04	133
2015 11 25	6780	3790	1,02	509	81	0,68	170
2016 01 13	6670	4336	2,47	527	107	46,02	120
2017 01 28	12290	4437	2,34	479	104	40,56	135
Vidurkis	7413,68	3850	1,91	479	78	6,25	232

Pagal formulę (4.2) iš 4.1 lentelėje pateiktų duomenų paskaičiavus nitrifikacijos greičius mgN/gADSM*d ir pagal (4.3) formulę – nuotekų išbuvimo trukmę rezervuare valandomis, buvo apskaičiuotas nitrifikacijos greitis per nuotekų išbuvimo rezervuare laiką naudojant (4.4) formulę. Rezultatai pateikti 4.3 lentelėje.

$$\rho_{N-DN} = \frac{N_{in} - N_{out} \times Q}{a_a \times V \times t_{N-DN} / 24} \quad (4.2)$$

čia:

N_{in} – amonio ir nitratų koncentracijų suma įtekančiose nuotekose, mg/L;

N_{out} – amonio ir nitratų koncentracijų suma išvalytose nuotekose, mg/L;

Q – nuotekų debitas, m³/d;

V – įrenginio naudingasis tūris, m³;

a_a – ADSM koncentracija įrenginyje, g/L;

t_{N-DN} – nitrifikacijos trukmė (nuotekų išbuvimo laikas rezervuare), h.

$$t_{N-DN} = \frac{V}{Q} \quad (4.3)$$

čia:

t_{N-DN} – nuotekų išbuvimo laikas nitrifikacijos rezervuare, h;

V – įrenginio naudingasis tūris, m³;

Q – nuotekų debitas, m³/d;

$$\rho_{N-DN*t} = \frac{\rho_{N-DN}}{24 \times t_{N-DN}} \quad (4.4)$$

čia:

ρ_{N-DN*t} – nitrifikacijos greitis per nuotekų išbuvimo laiką rezervuare, mgN/gADSM*t;

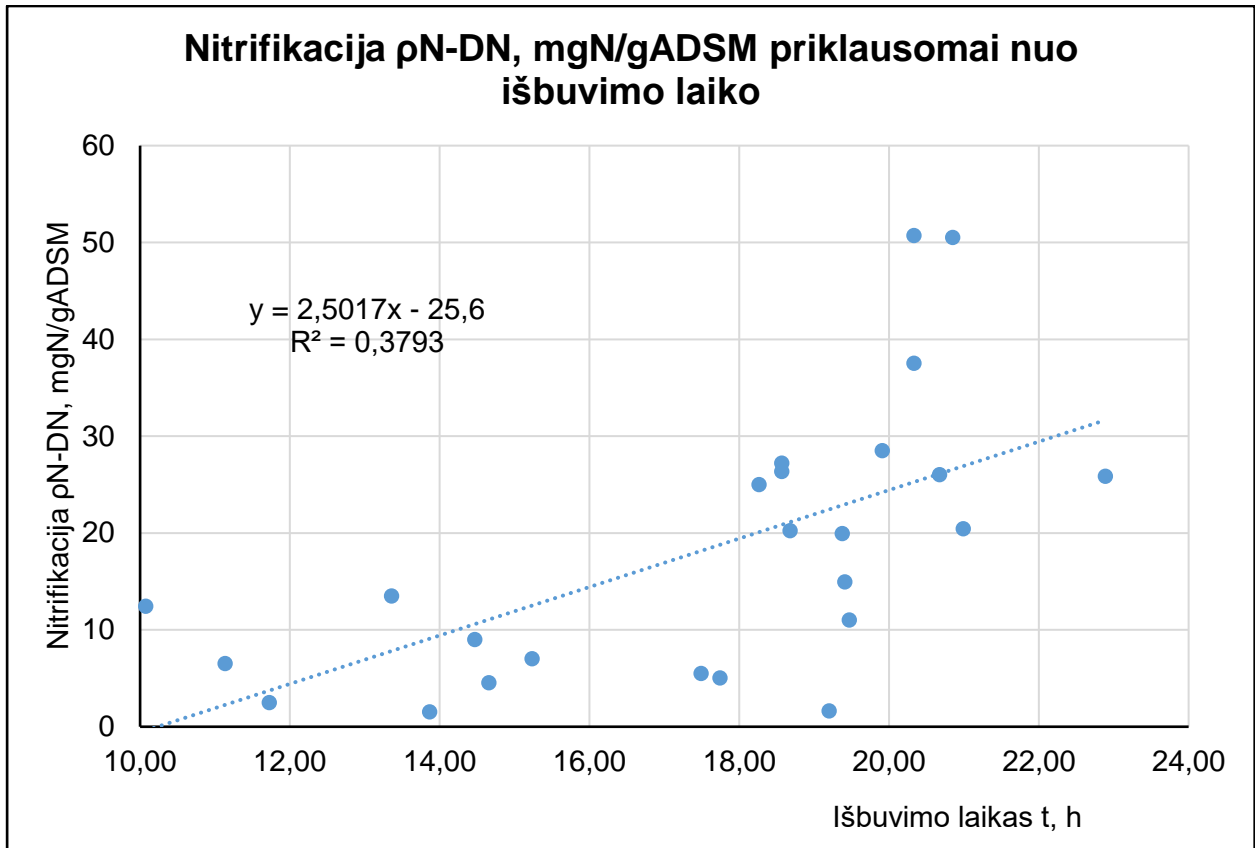
ρ_{N-DN} – nitrifikacijos greitis per dieną, mgN/gADSM*d;

t_{N-DN} – nuotekų išbuvimo laikas rezervuare, h

4.3 lentelė Nitrifikacijos greičiai per dieną, nuotekų išbuvimas laikas rezervuare ir nitrifikacijos greičiai per nuotekų išbuvimą laiką rezervuare

Nr.	Nitrifikacija denitrifikacija ρ , mgN/gADSM*d	Išbuvimas laikas nitrifikavimo zonoje t_{N-DN} , h	Nitrifikacija ρ_{N-DN} , mgN/gADSM*t
1	24,72	19,37	20
2	14,12	11,14	7
3	7,46	14,66	5
4	14,97	14,47	9
5	2,039	19,20	2
6	5,16	11,73	3
7	11,08	15,23	7
8	24,262	13,36	14
9	2,67	13,87	2
10	7,59	17,49	6
11	6,81	17,74	5
12	13,59	19,47	11
13	27,14	22,89	26
14	18,50	19,41	15
15	44,31	20,33	38
16	59,89	20,33	51
17	58,17	20,85	51
18	34,37	19,91	29
19	30,22	20,67	26
20	23,38	20,99	20
21	34,09	18,57	26
22	26,04	18,68	20
23	32,88	18,27	25
24	35,20	18,57	27
25	29,64	10,08	12
Vidurkis	23,53	17	18,16

Iš duomenų pateiktų 4.3 lentelėje buvo įvertinta nitrifikacijos greičio priklausomybė nuo nuotekų išbuavimo rezervuare laiko. Gauti rezultatai grafiškai pavaizduoti pav. 4.1. Galima matyti kaip nuotekų išbuavimo laikas nitrifikacijos zonoje įtakoja nitrifikacija. Kai išbuavimo laikas yra maždaug iki 18 valandų nitrifikacija yra ganėtinai maža. Geri rezultatai gaunami kai nitrifikacija vyksta daugiau nei 18 valandų. Taigi viena iš priežasčių dėl nepakankamos nitrifikacijos gali būti per trumpos nitrifikacijos laikas,



Pav. 4.1 Nitrifikacijos greičio priklausomybė nuo išbuavimo laiko nitrifikacijos zonoje.

Pagal gautus nitrifikacijos greičius naudojant (4.5) formulę paskaičiuojama kiek gramų azoto konvertuojama nitrifikacijos metu per dieną. Rezultatai pateikti 4.4 lentelėje.

$$\Delta_{N-DN} = \frac{\rho_{N-DN} \times a_a \times V}{1000} \quad (4.5)$$

čia:

Δ_{N-DN} – nitrifikacijos metu pašalinamo azoto kiekis, kg/d

ρ_N – nitrifikacijos greitis, mgN/gADSM*d;

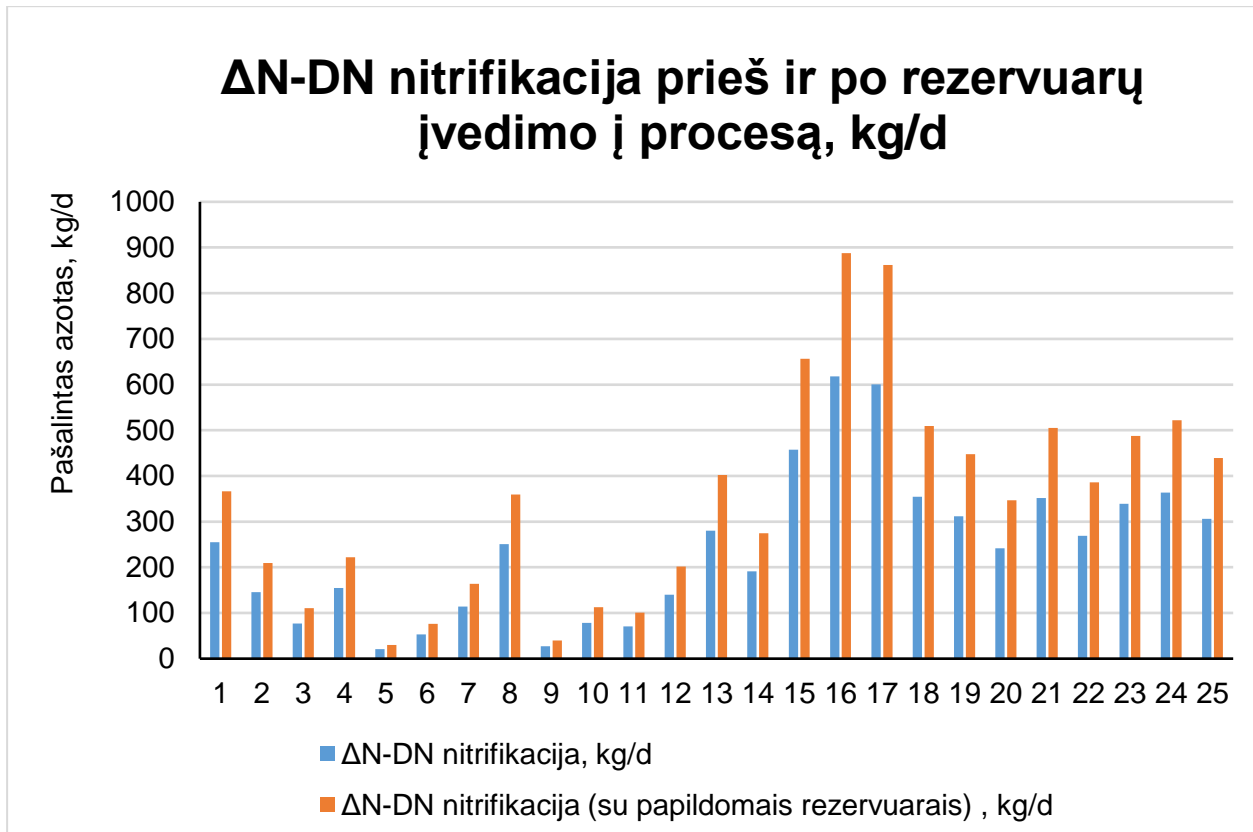
a_a – ADSM koncentracija, g/L;

V – įrenginio naudingasis tūris, m³

4.4 lentelė Aktyviojo dumblo sausų medžiagų koncentracija ir pašalinamo azoto kiekiai per dieną prieš ir po rezervuarų įvedimą

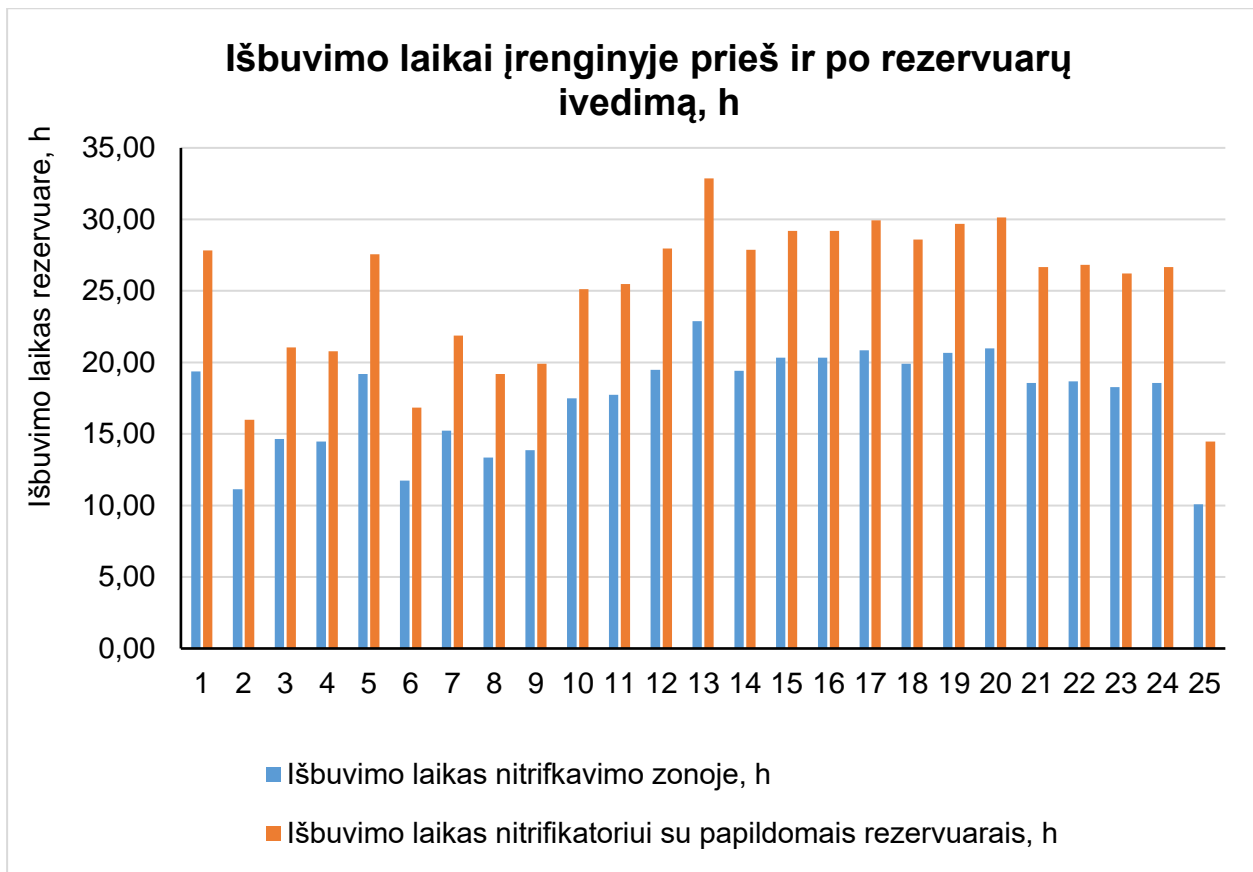
Nr.	ADSM a_a , g/L	$\Delta N-DN$ nitrifikacija, kg/d	$\Delta N-DN$ nitrifikacija (su papildomais rezervuarais) , kg/d
1	2	255	366
2	2	146	209
3	2	77	111
4	2	155	222
5	2	21	30
6	2	53	76
7	2	114	164
8	2	250	360
9	2	28	39
10	2	78	112
11	2	70	101
12	2	140	201
13	2	280	402
14	2	191	274
15	2	457	657
16	2	618	887
17	2	600	862
18	2	355	509
19	2	312	448
20	2	241	346
21	2	352	505
22	2	269	386
23	2	339	487
24	2	363	522
25	2	306	439
Vidurkis	2	243	349

Kadangi nitrifikacijos greitis yra nepakankamas, o pagal pav. 4.1 matome, kad nuotekų išbuvimo laikas procese turi tam įtakos. Buvo paskaičiuota kiek azoto būtų galima pašalinti į procesą įvedus tris papildomus rezervuarus po 750 m³ kurie prailgintų nitrifikacijos trukmę. Pašalinamo azoto kiekis gramais per dieną įvedus papildomus rezervuarus buvo skaičiuojamas pagal (4.4) formulė. Rezultatai pateikti 4.4 lentelėje.



Pav. 4.2 Pašalintas azotas kg/d prieš ir po papildomų rezervuarų įvedimo į procesą

Iš pav. 4.2 matome kad įvedus tris papildomus rezervuarus po 750 m³ ir taip prailginus nitrifikacijos trukmę, kurios skirtumai prieš ir po rezervuarų įvedimo kurie parodyti pav. 4.3 gaunamas ženkliai didesnis pašalinto azoto kiekis. Su papildomais rezervuarais įvestais į sistemą nuotekų išbuvimo laikas nitrifikacijos zonoje vidutiniškai padidėja apie 43,6%. Pašalinamo azoto kiekis taip pat vidutiniškai padidėja apie 43,6%.



Pav. 4.3 Nuotekų išbuvimo laikai nitrifikavimo zonoje prieš ir po rezervuarų įvedimą

Apskaičiavus pašalinamo azoto kiekius prieš ir po rezervuarų įvedimo buvo skaičiuojama kiek lieka azoto ištekančiose nuotekose po valymo. Nepašalinto azoto kiekis skaičiuojamas pagal formulę (16). Rezultatai pateikti 4.5 lentelėje.

$$M(out)_N = M(in)_N - \Delta_{N-DN} \quad (4.6)$$

čia:

$M(out)_N$ – azoto kiekis nuotekose po valymo, kg/d;

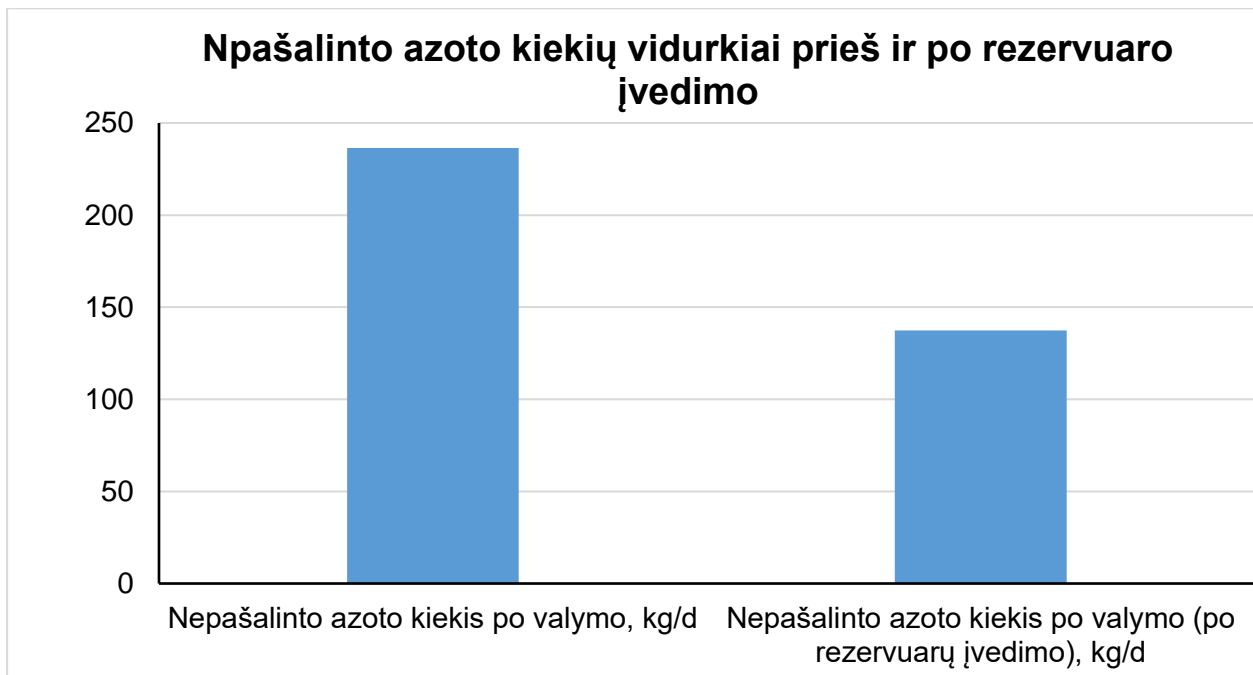
$M(in)_N$ – azoto kiekis nuotekose prieš valymą, kg/d;

Δ_{N-DN} – nitrifikacijos metu pašalinamo azoto kiekis, kg/d.

4.5 lentelė Nepašalinto azoto kiekiai prieš ir po rezervuarų įvedimo

Nr.	Azoto kiekis įtekančiose nuotekose, kg/d	Nepašalinto azoto kiekis po valymo, kg/d	Nepašalinto azoto kiekis po valymo (po rezervuarų įvedimo), kg/d
1	364	109	0
2	300	155	91
3	431	354	320
4	385	231	163
5	264	243	234
6	391	337	314
7	341	227	177
8	565	315	206
9	429	401	389
10	396	318	284
11	384	314	283
12	420	279	218
13	519	239	117
14	459	268	185
15	731	274	74
16	767	149	0
17	814	213	0
18	591	236	82
19	563	251	115
20	401	160	55
21	547	195	42
22	404	136	18
23	509	169	21
24	527	164	5
25	479	173	40
Vidurkis	479	236	137

Iš 4.5 lentelėje ir pav. 4.4 pateiktų duomenų galima matyti, kad net ir po rezervuarų įvedimo nitrifikacijos trukmei pailginti išvalytose nuotekose vis dar lieka nemažas kiekis azoto. Tačiau rezultatas nėra blogas, nes po papildomų rezervuarų prijungimo išvalytose nuotekose azoto kiekis vidutiniškai 44,7% mažesnis nei tada kai rezervuarai nepajungti į procesą. Nuo bendro azoto kiekio įtekančio su nuotekomis, kai nėra papildomų rezervuarų vidutiniškai pašalinama apie 50,6%, kai sistemoje yra papildomi rezervuarai nitrifikacijai pašalinama vidutiniškai apie 71,3% nuo azoto kiekio esančio įtekančiose nuotekose.



Pav. 4.4 Nepašalinto azoto kiekių vidurkiai prieš ir po rezervuaro įvedimo

Remiantis 4.5 lentelės duomenimis nepašalinto azoto kiekiai perskaičiuojami į koncentracijas, miligramais litre, liekančias po valymo ištekančiose nuotekose. Azoto likučio ištekančiose nuotekose perskaičiavimui iš kiekio į koncentraciją naudojama formulė (4.7). Rezultatai pateikti 4.6 lentelėje.

$$C_N = \frac{M_{(out)N}}{Q} \quad (4.7)$$

čia:

C_N – azoto koncentracija mg/L

$M_{(out)N}$ – azoto kiekis nuotekose po valymo, g/d;

Q – nuotekų debitas, m³/d.

4.6 lentelė Nuotekų perskaičiavimo iš kiekio į koncentraciją rezultatai

Nr.	Debitas Q	Nepašalinto azoto koncentracija po valymo, mgN/L	Nepašalinto azoto koncentracija po valymo (po rezervuarų įvedimo), mgN/L
1	6392	17,1	0,0
2	11120	13,9	8,2
3	8450	41,9	37,9
4	8560	26,9	19,1
5	6450	37,7	36,3
6	10560	32,0	29,8
7	8130	27,9	21,8
8	9270	34,0	22,2
9	8930	44,9	43,6
10	7080	44,9	40,1
11	6980	44,9	40,5
12	6360	43,9	34,3
13	5410	44,2	21,6
14	6380	42,1	29,0
15	6090	44,9	12,2
16	6090	24,5	0,0
17	5940	35,9	0,0
18	6220	38,0	13,1
19	5990	41,9	19,2
20	5900	27,1	9,3
21	6670	29,3	6,3
22	6630	20,5	2,8
23	6780	25,0	3,1
24	6670	24,5	0,8
25	12290	14,1	3,3
Vidurkis	7413,68	32,9	18,2

Atlikus eilę skaičiavimų, nitrifikacijos įvertinimui prieš ir po trijų papildomų rezervuarų nitrifikacijai kurių naudingasis tūris 750 m³, buvo nustatyta, kad papildomi rezervuarai pakeistų nuotekų išvalymą į gerąją pusę. Iš 4.6 lentelės duomenų matome, kad vidutinė azoto koncentracija ištekančiose nuotekose prieš rezervuarų įvedimą buvo apie 32,9 mgN/L, o po rezervuarų prijungimo sumažėjo vidutiniškai iki 18,2 mg/L. Tai apie 44,7% azoto koncentracijos sumažėjimas išvalytose nuotekose. Po rezervuarų įvedimo apskaičiuota azoto koncentracija išleidžiamose išvalytose nuotekose atitinka normas kurios pateiktos 4.7 lentelėje.

4.7 lentelė Į paviršinius vandens telkinius išleidžiamų nuotekų pagrindinės užterštumo normos

Teršiančios medžiagos	Leidžiama	
	vidutinė metinė koncentracija mg/l	maksimali momentinė koncentracija mg/l
BDS₇		
< 5 m ³ /d	30 ¹⁾	50
5 m ³ /d □ 5000 GE	25 ¹⁾	40
5000 □ 10000 GE	20 ¹⁾	30
> 10000GE	15 ¹⁾	25
ChDS		
< 10000 GE	100 ¹⁾	150
≥ 10000 GE	75 ¹⁾	120
BENDRAS P		
≥ 10000 GE	1.5 ¹⁾	2.5
BENDRAS N		
10000 □ 100000 GE	20 ¹⁾	35
> 100000 GE	15 ¹⁾	25
SKENDINČIOSIOS MEDŽIAGOS		
< 100000 GE	30 ¹⁾	45
≥ 100000 GE	25 ¹⁾	35

1) Jei nuotekų valymo įrenginių projektuose numatytos arba faktinės teršiančių medžiagų vidutinės koncentracijos (C_{vid}) mažesnės, negu nustatytos šiose normose, didžiausiai leistinai taršai (DLT) apskaičiuoti C_{vid} koncentracija imama atitinkamai pagal suderintą projektą arba laboratorinių tyrimų duomenis, o maksimali momentinė koncentracija (C_{max}) – pagal 1 ir 2 lenteles. (lentelė paimta iš LAND 10-96)[9]

Įvedus papildomu rezervuarus pagal skaičiavimus dumblo amžius vidutiniškai turėtų pailgėti beveik dviem paromis. Prieš rezervuarų įvedimą vidutinis dumblo amžius buvo apie 3 paros, o po rezervuarų įvedimo išaugo vidutiniškai iki 4,8. (Pav. 4.5) pateikti visi dumblo amžiaus rezultatai prieš ir po rezervuaro įvedimą. Šie rezultatai buvo gautas naudojant (4.8) formulę dumblo prieaugiui apskaičiuoti ir (4.9) formulę dumblo amžiaus skaičiavimui.

$$d = 0.8 \times C + 0.3 \times L_a \quad (4.8)$$

čia:

$C=C_1+C_2$ – skendinčiųjų (suspenduotų) medžiagų koncentracija nuotekose tiekiamose į valymo įrenginius, mg/L

L_a – valomųjų nuotekų BDS_5 mg/L

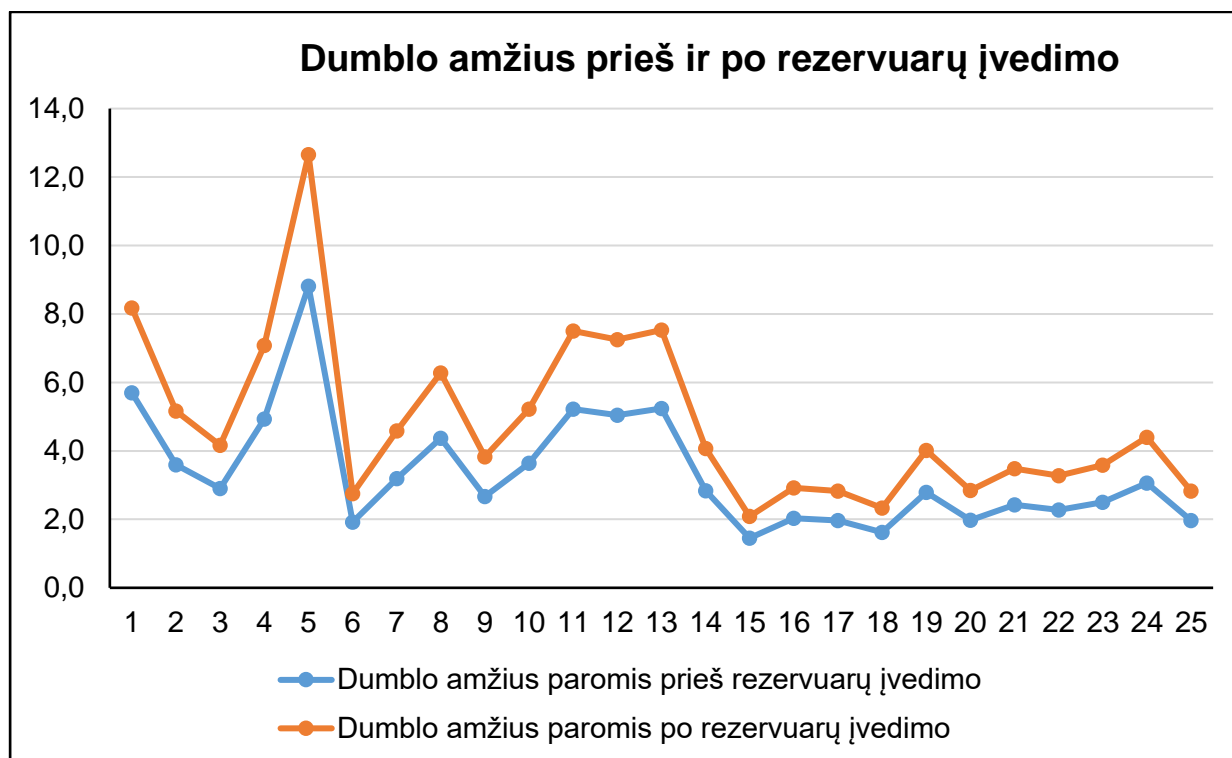
$$B = \frac{a_a \times V}{d \times Q \times 10^{-3}} \quad (4.9)$$

čia:

a_a – ADSM koncentracija aeraciniame įrenginyje, g/l

V – aeracinio įrenginio naudingasis tūris, m³

d – dumblo prieaugis, mg/l

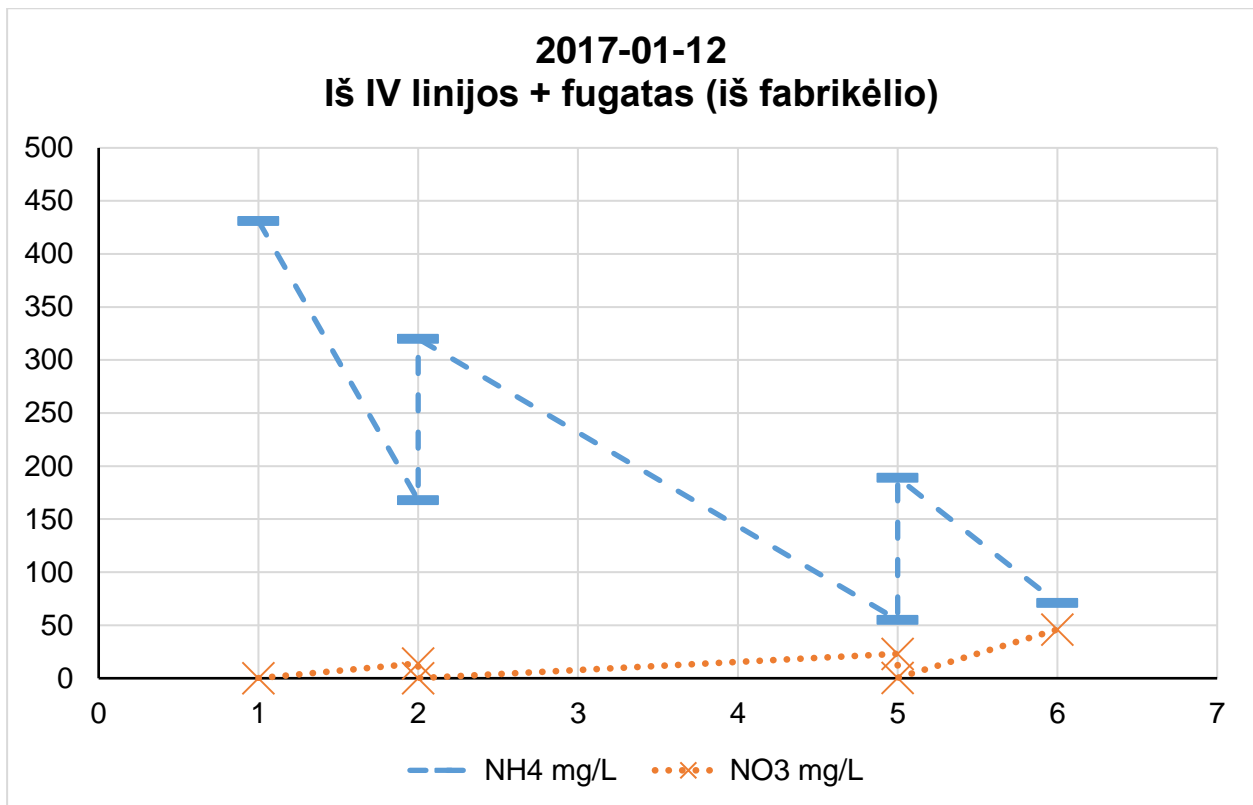


Pav. 4.5 Dumblo amžius prieš ir po rezervuarų įvedimo

Papildomi rezervuarai nitrifikaciai buvo skaičiuojami trimis linijoms iš keturių esančių Kėdainių nuotekų valymo įrenginiuose. Prie likusios linijos buvo numatyta paskaičiuoti kitokio tipo papildomo rezervuaro prijungimą. Jame vyktų ne tik nitrifikacija, bet ir denitrifikacija, ir toks rezervuaras būtų skirtas tik nuotekoms atitekančioms iš dumblo apdoravimo fabrikėlio. Išvalytos nuotekos iš šio rezervuaro būtų išleidžiamos į liniją. Tam buvo atlikti bandymai aprašyti 2.1 skyriuje. Gauti rezultatai pateikti 4.8 lentelėje. ir pavaizduoti grafiškai pav. 4.4 iš kurio galima matyti nitratų ir amonio koncentracijų kitimą per laiką. Taip pat iš gautų duomenų matoma, kad pradinė amonio koncentracija buvo gana didelė, tačiau parinktu nitrifikacijos – denitrifikacijos laiko ciklu, azotas šalimas gana efektyviai.

4.8 lentelė Tyrimo metu gauti duomenys

	Prieš valymą	
Mėginių ėmimo datos	NH₄, mgN/L	NO₃, mgN/L
2017-01-12 8h	431	0,2
2017-01-13 8h	320	0,12
2017-01-16 8h	189	0,34
Vidurkis	313,33	0,22
	Po valymo	
Mėginių ėmimo datos	NH₄, mgN/L	NO₃, mgN/L
2017-01-13 8h	168	14
2017-01-16 8h	55	23
2017-01-17 8h	71	46
Vidurkis	98,00	27,67



Pav. 4.4 Amonio ir nitratų koncentracijų kitimas per laiką

Iš eksperimento metu gautų rezultatų apskaičiuojami nitrifikacijos – denitrifikacijos greičiai naudojant formulę (2.1). Naudojant formulę 4.5 apskaičiuota kiek azoto gramais per dieną būtų galima pašalinti jei norimas įrengti papildomas rezervuaras dirbtų panašiu greičiu į gautą eksperimento metu. Gauti rezultatai pateikti 4.9 lentelėje.

4.9 lentelė Nitrifikacijos - denitrifikacijos greitis ir pašalinamo azoto kiekis

Nitrifikacija denitrifikacija ρ , mgN/gADSM*d	$\Delta N-DN$, nitrifikacija denitrifikacija, kg/d
62,30	93,00
20,18	30,00
18,09	27,50
33,52	50,83

Pagal 2017 metų nuotekų atitekančių iš dumblo perdirbimo grandies duomenis pateiktu 4.10 lentelėje, vidutinis amonio kiekis atitekantis su nuotekomis yra apie 190 mgN/L pagal formulę (4.1) perskaičiavus koncentraciją į kiekį, kai vidutinis debitas yra apie 200 m³, gaunama 38kg/d.

Taigi jei papildomas rezervuaras pašalintų apytiksliai tokį kiekį kaip teoriškai paskaičiuota, iš dumblo perdirbimo grandies atitekėjusios nuotekos būtų pilnai išvalytos, ir paduodamos į liniją, kur būtų atskiriamos nuo dumblo. Be to tokio rezervuaro įvedimas padėtų stabilizuoti likusių valymo linijų darbą. Kadangi iš dumblo perdirbimo grandies atitekančios nuotekos yra gana koncentruotos ir gali trikdyti biocenozės veiklą.

4.10 lentelė 2017 metų nuotekų iš dumblo perdirbimo grandies charakteristikos

Data	pH	ChDS	BDS	SM	NO2	NO3	NH4	BN	PO4	BP
		mgO ₂ /L	mgO ₂ /L	mg/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgN/L	mgP/L	mgP/L
2017 01 19	7,9	283	157	100	0,14	0,09	156	204	41,7	54,9
2017 02 23	7,7	619	274	116	0,19	0,18	265	285	58,7	65,2
2017 03 23	7,7	1258	547	800	0,04	0,13	138	181	35,6	53,9
2017 04 20	7,6	1006	572	570	0,002	0,13	199	228	48,5	81,2
Vidurkis	7,7	792	388	397	0,09	0,13	190	225	46,1	64

Reikiamas ištirpinti deguonies kiekis papildomuose rezervuaruose. Apskaičiuojamas pagal formulę (4.10).

$$OC = \frac{z_b \cdot (L_a - L_t) \cdot Q_{hvid} \cdot C_p \cdot K_t \cdot k}{1000 \cdot K_3 \cdot (C_p - C)} \text{ , kgO}_2/\text{h} \quad (4.10)$$

$$OC = \frac{4.84 \cdot (471 - 10.2) \cdot 7413.68 \cdot 28.8 \cdot 1.1 \cdot 1.3}{1000 \cdot 0.6 \cdot (28.8 - 2.0)} = 1764.5, \text{ kgO}_2/\text{h}$$

čia:

z_b – lyginamasis deguonies sunaudojimas, mgO₂/mg pašalinto BDS₅ ;

$$z_b = z + z_N = 0.94 + 3.9 = 4.84 \text{ mgO}_2/\text{mg pašalinto BDS}_5$$

z – lyginamasis deguonies sunaudojimas biocheminiuose procesuose (mikroorganizmų kvėpavimui, organiniams teršalams oksiduoti, mikroorganizmų naujų ląstelių sintezei ir nunykusiesiems mikroorganizmams oksiduoti); jo dydis priklauso nuo dumblo amžiaus

z_N – lyginamasis deguonies sunaudojimas nitrifikacijai, mgO₂/mg pašalinto BDS₅

$$z_N = \frac{4,6 \cdot N_v + 1,7 \cdot N_p}{L_a - L_t}; \quad (4.11)$$

$$z_n = \frac{4,6 \cdot 0,83 + 1,7 \cdot 36,31}{741 - 10,2} = 3,9 \text{ mgO}_2/\text{mg pašalinto BDS}_5$$

C_p – vandens prisotinimas deguonimi įrenginyje, mg/l;

$$C_p = C_\tau \left(1 + \frac{h_a}{C \cdot K_\tau} \right) = C_\tau \left(1 + \frac{h_a}{2,0 \cdot 0,6} \right) \quad (4.12)$$

$$C_p = 10,3 \cdot \left(1 + \frac{4}{2,0 \cdot 1,1} \right) = 28,8 \text{ mg/l}$$

C_τ - vandens prisotinimas deguonimi esant atmosferiniam slėgiui ir temperatūrai τ ($^{\circ}\text{C}$)

h_a - aeratoriaus panerimo gylis, m

C – ištirpusio deguonies koncentracija, mg/l; skaičiuojamoji reikšmė $C = 2,0$ mg/l

K_τ - koeficientas įvertinantis aukščiausią vidutinę mėnesinę dumblo mišinio temperatūrą (τ);

$$K_\tau = 1 + 0,02 (\tau - 20) = 1 + 0,02(15 - 20) = 1,1 \quad (4.13)$$

jis skirtas OC perskaičiuoti į standartines sąlygas ($\tau = 20$ $^{\circ}\text{C}$);

K_3 - koeficientas įvertinantis deguonies tirpumo sumažėjimą nuotekose; jo reikšmė priklauso nuo nuotekų cheminės sudėties ir nustatomas eksperimentiniu būdu; daugumos Lietuvos miestų nuotekoms $K = 0,6$

k – koeficientas įvertinantis teršalų kiekio patekimo netolygumą; jo dydis renkamas priklausomai nuo dumblo amžiaus ir pateiktas.

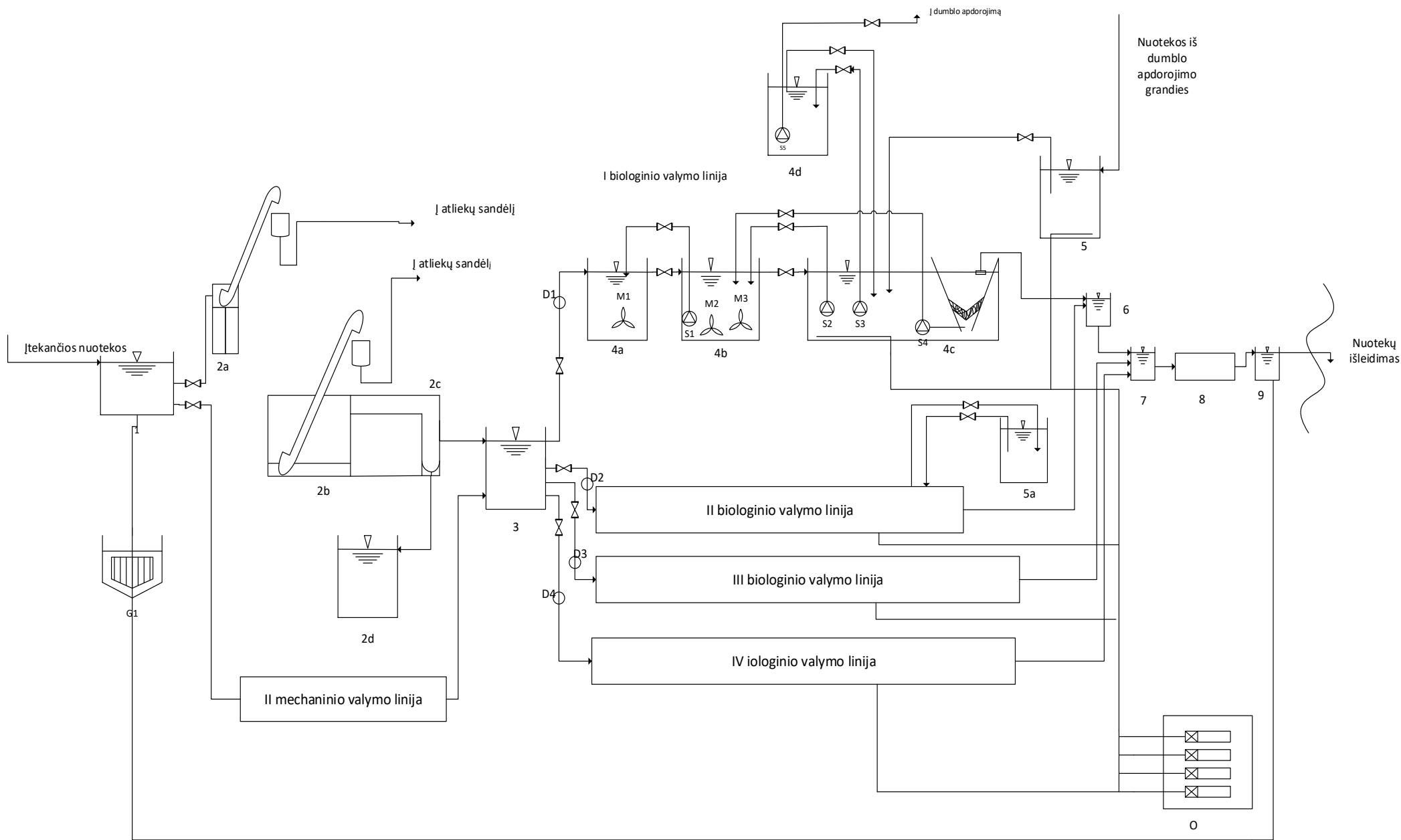
5 Rekomendacijos

Atlikus skaičiavimus ir įvertinus rezultatus buvo nustatyta, kad prijungti vieną rezervuarą kuris būtų skirtas nuotekų iš dumblo perdirbimo grandies nitrifikacijai ir denitrifikacijai ir tris papildomus rezervuarus nitrifikacijos prailginimui būtų palankus sprendimas. Kadangi rezultatai rodo nemaža nuotekų išvalymo laipsnio pagerėjimą, kuris atitinka nustatytas normas.

Toliau aprašyta technologinė schema (pav. 5.1) su prijungtais papildomais rezervuarais.

Visos atitekančios nuotekos, paduodamos į biologinio valymo įrenginio priėmimo kamerą (1) Į kamerą taip pat patenka nuotekos iš septinių nuotekų surinkimo stoties, bei vietinės siurblinės. Dviejų uždorių pagalba nuotekos yra paskirstomos į du atskirus kanalus. Trečiasis uždoris, naudojamas susidarius avarinei situacijai nukreipti nuotekas per apvedimo liniją. Apvedimo linijoje nuotekos pratekėjusios per grotas (G1), skirtas nešmenų surinkimui, patenka į nuvedimo šulinį (9). Iš priėmimo kameros nuotekos paskirstomos į dvi linijas pirminiam mechaniniam valymui. Šiame pastate sumontuotos dvi mechaninio valymo linijos. Nuotekos prateka per grotas (2a) skirtas nešmenų surinkimui. Šnekiniam prese praplauti ir supresuoti nešmenys transportuojami į konteinerį. Pratekėjusios per grotas, nuotekos patenka į smėliagaudę (2b), kurioje srautas teka spiraline trajektorija smėliui nusėdant ant dugno. Vandens lygis smėliagaudėje nustatomas taip, kad į riebalų lovį (2c) patektų 1 – 2 cm paviršinio vandens, su kuriuo taip pat patenka ir į paviršių iškilę riebalai. Alkūniniam mechanizmui pasukus lovį, tuo pat metu įsijungia riebalų siurblys atsiurbiantis riebalus į riebalų baką (2d). Mechanškai apdorotos nuotekos dviem vamzdiniais savitaka suteka į paskirstymo kamerą 3. Kameroje įrengta bandinių paėmimo stotis, kurioje pastoviai imami bandiniai nustatyti įtekančių nuotekų užterštumui. Paskirstymo kameroje uždorių pagalba nuotekos tolygiai paskirstomos į keturis vienodus srautus. Kiekvienas nuotekų srautas pratekėdamas per indukcinis debitomačius (D1-4) įteka į biologinį reaktorių (4). Kiekvienoje linijoje įrengtos mechaninės sklendės, kuriomis reguliuojamas paduodamų į bioreaktorių nuotekų kiekis, tuo pačiu yra galimybė atjungti nuotekų padavimą į bet kurį bioreaktorių. Iš paskirstymo kameros nuotekos patenka į biologinio reaktoriaus anoksinę zoną (4a), kurioje yra sumaišomos su recirkuliuojamomis nuotekomis iš denitrifikavimo kameros (4b). Įrengta maišyklė (M1) intensyvina sumaišymo procesą. Nuotekos iš denitrifikavimo į anoksinę kamerą paduodamos recirkuliaciniu siurbliu (S1). Nuotekos savitaka teka į denitrifikavimo kamerą (4b), kurioje panardinamomis maišyklėmis (M2-3) sumaišomos su aktyviu cirkuliaciniu dumbliu. Recirkuliacinis dumbblas iš separavimo – nusodinimo kameros, kuri yra integruota nitrifikacijos zonoje (4c) į denitrifikavimo kamerą pastoviai atsiurbiamas panardinamais recirkuliaciniais siurbliais (S4). Iš denitrifikavimo kameros paruoštas mišinys savitaka teka į nitrifikavimo kamerą (4c). Į nitrifikavimo kamerą oras tiekiamas orapūčių patalpoje (O) esančiomis orapūtėmis.

Aeracijos dėka dumblas stabiliai palaikomas judėjime. Aeracija užtikrina 2,0– 2,5 mg/l ištirpusio deguonies koncentraciją reaktoriuje. Tarp papildomų nitrifikatorių (5c) ir nitrifikavimo kameros (4c) vyksta nuotekų cirkuliacija. Panardinamu siurbliu dalis nuotekų nukreipiama į papildomą nitrifikatorių, o iš šio nuotekos savitaka grįžta į nitrifikavimo kamerą. Tuo tarpu tarp papildomo rezervuaro (5) ir nitrifikacijos kameros (4c) recirkuliacija nevyksta, nes į šį rezervuarą tiekiamos nuotekos iš dumblo apdorojimo grandies. Perteklinis aktyvusis dumblas pastoviai iš nitrifikavimo kameros erliftu (S3) atsiurbiamas į dumblo prieštankintuvą (4e). Prieštankintuve dumblas, kurio koncentracija 0,6% sutankinamas iki 2%. Nusistovėjęs vanduo pastoviai savitaka grąžinamas į nitrifikavimo kamerą. Sutankintas dumblas iki 25% iš prieštankintuvo dugno panardinamais dumblo siurbliais (S5) transportuojamas tolesniam dumblo perdirbimui. Po aeravimo nuotekų mišinys patenka į koridorių, iš kurio tolygiai paskirstomas į separatorių integruotą nitrifikacijos zonoje (4c), kuriame fluidinio filtro pagalba dumblas atskiriamas nuo išvalyto vandens. Susijungusios dumblo dalelės nusėda separavimo kameros dugne iš kur siurbliais (S4) pastoviai atsiurbiamos ir nukreipiamos į denitrifikavimo kamerą. Nuskaidrintas vanduo nuo separatoriaus paviršiaus per pusiau pagramzdintą sienelę patenka į švaraus vandens surinkimo lataką ir toliau į du šulinius (6) ir (7). Visas išvalytas vanduo prateka per Paršalio lataką 8, kuriame vyksta išvalyto vandens apskaita, toliau teka į nuvedimo šulinį (9) ir į nuotekų išleistuvą.



Pav. 5.1 Kėdainių technologinės schemos brėžinys

6 Išvados

1. Išnagrinėjus nuotekų charakteristikas prieš ir po valymo, buvo nustatyta, kad amonio pašalinimas yra nepakankamas. Iš valyklos išleidžiamame vandenyje vidutinė amonio koncentracija viršijo leistinas normas ir siekė 32 mg/L.
2. Buvo įvertintas nitrifikacijos greitis priklausomai nuo nuotekų išbuvimo nitrifikacijos zonoje trukmės. nustatyta, kad intensyvesnė nitrifikacija vyksta kai išbuvimo trukmė yra didesnė už 18 valandų.
3. Nustatyta, kad prie esamų įrenginių prijungus 3 papildomus rezervuaru po 750 m³ nitrifikacijos trukmė pailgėja 43,6%. Taip pat apskaičiuota, kad įvedus papildomus rezervuarus išleidžiamose nuotekose azoto koncentracija sumažėtų nuo 32 mg/L iki 18,2 mg/L. Tai yra apie 44,7 % mažiau nei prieš rezervuarų įvedimą ir atitinka direktyvų normas.
4. Nustatyta, kad ketvirtas papildomas rezervuaras kuris būtų skirtas filtrato grąžinamo iš dumblo apdoravimo grandies nitrifikacijai ir denitrifikacijai turėtų pilnai pašalinti azotą.
5. Įvertinus atliktus skaičiavimus buvo pateikta rekomendacinė technologinė schema azoto šalinimo grandies optimizavimui.
6. Buvo apskaičiuotas reikalingas ištirpinamo deguonies kiekis kuris lygus 1764,5 kgO₂/h

7 Literatūros šaltiniai

1. Lawrence K. Wang; Joo-Hwa Tay; Stephen Tiong Lee Tay; Yung-Tse Hung. *Environmental Bioengineering*. New York, 2009. ISBN: 978-1-58829-493-7
2. WATER ENVIRONMENT FEDERATION AND THE AMERICANSOCIETY OF CIVIL ENGINEERS/ENVIRONMENTAL AND WATER RESOURCES INSTITUTE. *Biological Nutrient Removal (BNR) Operation in Wastewater Treatment Plants*. Alexandria, 2005. ISBN-13: 9780071464154
3. VABOLIENĖ, Giedrė; MATUZEVIČIUS Algirdas Bronislovas. Nitrifikacijos ir denitrifikacijos greičių vertinimas, azotą iš nuotekų šalinant biologiniu būdu. *Journal of environmental engineering and landscape management*. 2007, Vol XV, No 2, 77–84. ISSN 1648–6897
4. Michael H. Gerardi. *Nitrification and Denitrification in the Activated Sludge Process*. New York, 2002. ISBN 0-471-06508-0
5. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS APSAUGOS NORMATYVINIS DOKUMENTAS LAND 47-1:2007. „Biocheminio deguonies suvartojimo per n parų nustatymas skiedimo ir sėjimo, pridėjus aliltiokarbamido, metodas“, patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2007 m. gruodžio 3 d. įsakymu Nr. D1-655 (Žin., 1998, Nr. 84-2353; 2002, Nr. 20-766).
6. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS APSAUGOS NORMATYVINIS DOKUMENTAS LAND 65-2005. „Vandens kokybė. Nitratų kiekio nustatymas. Spektrometrinis metodas, vartojant sulfosalicilo rūgštį“, patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2005 m. gegužės 5 d. įsakymu Nr. D1-232 (Žin., 2004, Nr. 60-2121, Nr. 61-2763).
7. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS APSAUGOS NORMATYVINIS DOKUMENTAS LAND 38-2000. „Vandens kokybė. Amonio kiekio nustatymas. Rankinis spektrometrinis metodas.“, patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2000 m. lapkričio 6 d. įsakymu Nr. 485 (Žin., 1998, Nr.84-2353).
8. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS APSAUGOS NORMATYVINIS DOKUMENTAS LAND 59-2003. „Azoto nustatymas. Oksidacinio mineralinimo peroksodisulfatu metodas“, patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2000 m. gruodžio 5 d. įsakymu Nr. 624 (Žin., 1998, Nr. 84-2353; 2002, Nr. 20-766).

9. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS APSAUGOS NORMATYVINIS DOKUMENTAS LAND 10-96. „Nuotekų užterštumo normos“, patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos apsaugos ministerijos 1997 07 24 įsakymu Nr. 127
10. REDDY, Y.V. Krishna; ADAMALA, Sirisha; LEVLIN, Erik K.; REDDY, K.S. Enhancing nitrogen removal efficiency of domestic wastewater through increased total efficiency in sewage treatment (ITEST) pilot plant in cold climatic regions of Baltic Sea. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2017.
11. EUROPOS PARLAMENTO IR TARYBOS DIREKTYVA 2000/60/EB. nustatanti Bendrijos veiksmų vandens politikos srityje pagrindus, 2000
12. BERGER, Elisabeth et al. Water quality variables and pollution sources shaping stream macroinvertebrate communities. *Science of the Total Environment*. 2017, 587-588, 1-10.
13. Cai-Hong Yu et al. Isolation and Identification of Ammonia Nitrogen Degradation Strains from Industrial Wastewater. *Engineering*, 2012, 4, 790-793
14. ECKENFELDER, W. *Principles of Water Quality Management*, 1980. ISBN 978-94-011-7117-5
15. MATUZEVIČIUS, A. *Nuotekų valymas aktyviuoju dumbliu*. 1998
16. BRADY, N. C.; WEIL, R. R.. *The nature and properties of soils. 13th ed.* New Jersey, 2002, ISBN 0-13-016763-0.
17. WANG, L. K.; SHAMMAS, N. K. and HUNG, Y. T. *Advanced Biological Treatment Processes*. New York, 2009, ISBN: 978-1-58829-360-2
18. US EPA, *Nitrification and Denitrification Facilities-Wastewater Treatment*, Environmental Protection Agency, Technology Transfer, EPA-625/4-73-004a, 1973.
19. ECKENFELDER, W.W.; O'CONNOR, D. J. *Biological Waste Treatment*. 1961. ISBN: 9781483137551
20. STENSTROM, K. Michael. The effect of dissolved oxygen concentration on nitrification. *Water Research*. 1980, 14, 643-649
21. TARRE, S.; GREEN, M.. High-Rate Nitrification at Low pH in Suspended- and Attached-Biomass Reactors, *Applied and Environmental Microbiology* 2004, 70(11): 6481–6487
22. HIGGINS, Patrick. Myths and Realities: Ammonium Based Aeration Control in Wastewater. 2014.
23. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS APSAUGOS NORMATYVINIS DOKUMENTAS LAND 46-2007. „Vandens kokybė. Skandinavinių medžiagų nustatymas. Košimo pro stiklo pluošto koštuvą metodas“, patvirtinta Lietuvos Respublikos aplinkos

ministro 2007 m. liepos 13 d. įsakymu Nr. D1-412 (Žin., 1998, Nr. 84-2353; 2002, Nr. 20-766).