



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**

**Šarūnas Šilkaitis**

**AKTYVIOJO DUMBLO MODELIO PANAUDOJIMO PROCESŲ  
MODELIAVIMUI IR VALDYMUI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

doc. dr. Jolanta Repšytė

**KAUNAS, 2015**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS**  
**AUTOMATIKOS KATEDRA**

**AKTYVIOJO DUMBLO MODELIO PANAUDOJIMO PROCESŲ  
MODELIAVIMUI IR VALDYMUI TYRIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Valdymo technologijos (621H66001)

**Vadovas**

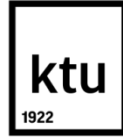
doc. dr. Jolanta Repšytė

**Recenzentas**

**Projektą atliko**

Šarūnas Šilkaitis

**KAUNAS, 2015**



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

(Fakultetas)

Šarūnas Šilkaitis

(Studento vardas, pavardė)

Valdymo technologijos (621H66001)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

Baigiamojo projekto „Aktyviojo dumblo modelio panaudojimo procesų modeliavimui ir valdymui tyrimas“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 15 m. gegužės 26 d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano **Šarūno Šilkaičio** baigiamasis projektas tema „**Aktyviojo dumblo modelio panaudojimo procesų modeliavimui ir valdymui tyrimas**“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o 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)

Šilkaitis, Š. Aktyviojo dumblo modelio panaudojimo procesų modeliavimui ir valdymui tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Jolanta Repšytė; Kauno technologijos universitetas, Elektros ir elektronikos fakultetas, Automatikos katedra.

Kaunas, 2015. 42 psl.

## SANTRAUKA

Šio darbo tikslas – sudaryti aktyviojo dumblo proceso imitatorių Matlab/Simulink aplinkoje, kurio pagalba būtų galima atlikti nuotekų valymo technologinių procesų modeliavimą ir valdymo sistemų tyrimą.

Pirmoje darbo dalyje apžvelgiama apie biologinių nuotekų valymo technologijas, aprašoma aktyviojo dumblo sudėtis bei azoto ir fosforo šalinimas iš nuotekų.

Antroje dalyje sudaromas proceso matematinis modelis, aprašomi modelio būsenos kintamieji, aptariamos nuotekų valymo procesų valdymo problemos ir būdai.

Trečioje dalyje sudaromas imitacinis modelis. Jo pagalba atliekami pereinamųjų procesų tyrimai, apskaičiuojamos leistinos teršalų normos. Sudaroma ištirpusio deguonies koncentracijos palaikymo automatinio reguliavimo sistema.

Paskutinėje dalyje sudaroma ištirpusio deguonies koncentracijos palaikymo automatinio reguliavimo sistema ir pateikiamos darbo išvados.

*Reikšminiai žodžiai:* Aktyvusis dumblas, mikroorganizmai, imitacinis modelis, pereinamieji procesai, būsenos kintamieji, nuotekų valymas, ištirpusio deguonies koncentracija, trikdys

Šilkaitis, Š. Research of Activated Sludge Model for Process Modelling and Control. Final project of master / supervisor Assoc. Prof. Dr. Jolanta Repšytė; Kaunas University of Technology, Faculty of Electrical and Electronics Engineering, department of Automation.

Kaunas, 2015. 42 psl.

## SUMMARY

The objective of this work is to create an activated sludge process simulator using Matlab/Simulink software which would be possible to research of wastewater treatment processes modeling and control systems.

First part of the work provides an overview of biological wastewater treatment technologies and describes composition of activated sludge. This chapter primarily focuses on several ways how to remove nitrogen and phosphorus from the wastewater.

The second part of the thesis focuses on processing data in a mathematical model which describes state variables in wastewater treatment processes. Also process control problems and suggestions are discussed in this part.

In the third part, a process simulator was used for research of transition processes and then were calculated allowable emissions.

The findings of the work and creation of dissolved oxygen concentration control system are presented in the last part of the thesis.

*Keywords* : Activated sludge, microorganisms, simulator, transition processes, state variable, wastewater treatment, dissolved oxygen concentration, disturbance

# TURINYS

Įvadas .....	7
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	9
1.1 Biologiniai nuotekų valymo būdai .....	9
1.2 Nuotekų valymas aktyviuoju dumblu.....	10
1.3 Aktyvaus dumblo sudėtis .....	12
1.4 Biologinis azoto ir fosforo šalinimas .....	13
1.3 Aktyvaus dumblo aeracijos metodai .....	15
2 AKTYVIOJO DUMBLO MODELIS.....	15
2.3 Veiksniai darantys įtaką nuotekų valymui .....	16
2.1 ASM1 modelio būsenos kintamieji .....	17
2.4 ASM1 modelio procesai .....	18
2.5 Svarbiausi proceso trikdžiai .....	18
2.6 Biologinio nuotekų valymo procesų valdymo problemos ir būdai .....	19
2.7 ASM1 modelio diferencialinės lygtys .....	20
3 PROCESO IMITACINIO MODELIO SUDARYMAS .....	22
3.1 ASM1 modelio imitatoriaus sudarymas Matlab/Simulink aplikoje .....	25
3.2 Pereinamųjų procesų tyrimas .....	29
3.3 Leistinos teršalų normos.....	35
3.4 Ištirpusio deguonies koncentracijos ARS.....	36
Išvados ir rezultatai .....	40
Litertūros šaltiniai .....	41
Priedai .....	43

## Įvadas

Norint apsaugoti gamtą nuo įvairiausių teršalų, mokslininkai kuria įvairiausias technologijas, dėl šios priežasties metai iš metų yra skiriamos didelės investicijos ieškant naujų būdų, kaip efektyviau išvalyti nuotekas.

Gamtoje yra bakterijų rūšys, kurios dauginimuisi panaudoja organines medžiagas. Nuotekų valymui naudojamas aktyvusis dumblas. Aktyvusis dumblas- tai tam tikroje nuotekų valymo įrenginių dalyje esančios nuotekų dalelės ir mikroorganizmai. Šie mikroorganizmai gyvena ir natūralioje aplinkoje, tačiau biologiniuose nuotekų valymo įrenginiuose jiems sudaromos palankios mitybos ir dauginimosi sąlygos. Sukūrus palankias sąlygas t.y. kontroliuojant vandenyje ištirpusio deguonies kiekį, organines medžiagas (šiuo atveju nuotekas), maišant ir aeruojant sudaromos dirbtinės sąlygos intensyviai bakterijų maitinimuisi, organinių medžiagų, teršalų perėjimui iš vandens į bakterijų masę ir vandens švarinimui[22].

Vykdamas nuotekų valymą, atliekamos keturios pagrindinės operacijos[21]:

1. Pirmiausiai vykdomas pirminis nuotekų apdorojimas, t.y. panaudojus grotas ir smėliagaudes pašalinamos mechaninės priemaišos ir nuotekos nuskaidrinamos, po to jos paliekamos nusistovėti pirminiuose nusodintuvuose.
2. Antrajame etape, aeracijos baseine dalyvaujant aerobiniams mikroorganizmams vyksta ištirpusių organinių medžiagų skaidymas. Po šio proceso susidaro nemažas kiekis dumblo, kurio pagrindinę masę sudaro mikroorganizmų ląstelės. Dumblas yra pašalinamas, o jei naudojamas aktyvusis dumblas, jo dalis grąžinama atgal į baseiną.
3. Trečiajame etape vyksta fosforo ir azoto junginių atskyrimas ir nusodinimas.
4. Aerotankuose vyksta pirmame ir antrame etapuose susidariusio dumblo skaidymas. Intensyviai aeruojant mažinamas nuosėdų ir mikrobuų kiekis, taip pat ir blogas kvapas.

**Darbo tikslas:** Sudaryti aktyviojo dumblo proceso imitatorių Matlab/SIMULINK aplinkoje, kuris būtų skirtas nuotekų valymo technologinių procesų modeliavimui ir valdymo sistemų tyrimui.

**Darbo uždaviniai:** Atlikti literatūros analizę: apie biologinio nuotekų valymo technologijas; plačiau apie ASM1 modelį; įvardinti svarbiausius proceso trikdžius; apie biologinio nuotekų

valymo procesų valdymo problemas ir būdus. Išanalizavus literatūroje pateikiama ASM1 modelį, sukurti aktyviojo dumblo proceso imitatorių Matlab/SIMULINK aplinkoje. Imitatoriaus pagalba atlikti objekto pereinamųjų procesų tyrimą, kai veikia būdingiausi (maksimalūs ir vidutiniai) trikdžiai. Sudaryti antros aeruojamos kameros ARS ištirpusio deguonies koncentracijos palaikymui ir ištirti sudarytos ARS pereinamuosius režimus, pakeičiant nuostatą ir veikiant trikdžiams. Apskaičiuoti leistinas teršalų normas.



# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1 Biologiniai nuotekų valymo būdai

Biotechnologiniai nuotekų valymo būdai pagrįsti bakterijų gebėjimu skaidyti ištirpusias organines, koloidines ar suspenduotas medžiagas. Biologiškai valyti nuotekų neįmanoma, jei nutekamuosiuose vandenyse visiškai nėra organinių junginių. Pagal teršalų sudėtį galima nuspręsti ar nuotekas galima valyti biologiniu būdu, ar ne.

Biologinis nuotekų valymas įmanomas, kai santykis  $ChDS/BDS_5 < 2 - 3$ . Esant dideliame santykiui tarp ChDS ir BDS, teršalai sunkiau oksiduojami. [18]

Biocheminis deguonies sunaudojimas (BDS) – tai ištirpusio deguonies koncentracija, kuri saunaudojama biologiniu būdu skaidant organines ir/arba neorganines medžiagas nuotekose.  $BDS_5$  nustatomas paimant mėginį, kuris laikomas specialiame hermetiškame inde tamsoje, esant 20 °C temperatūrai penkias paras ir remiantis ištirpusio deguonies koncentracijos sumažėjimu.[11]

Cheminis deguonies sunaudojimas (ChDS) – tai organinėms medžiagoms oksiduoti reikalingas deguonies kiekis. Jo pagalba, medžiagos oksiduojamos iki mineralinių komponentų. [11]

Biotechnologiniam nuotekų valymui dirbtinėmis sąlygomis naudojami aerobiniai ir anaerobiniai metodai. Aerobinio proceso metu organinės medžiagos suskaidomos į anglies dioksidą ir vandenį bei susidaro biomasės prieaugis. Kad aerobinėmis sąlygomis vykstančių oksidacijos procesų metu nuolat kauptųsi energija, labai svarbu ląstelę aprūpinti deguonimi ir svarbi jo koncentracija terpėje. Todėl valymo proceso metu deguonis turi būti tiekiamas taip, kad jo pakaktų teršalams oksiduoti ir kad koncentracija nebūtų mažesnė už minimalią[10]. Biotechnologiniai procesai vyksta, kai nuotekų valymo įrenginyje ištirpusio deguonies koncentracija yra ne mažesnė kaip 0,25 mg/l. Laikoma, kad optimali ištirpusio deguonies koncentracija yra 2 mg/l, nes didinant koncentraciją teršalų oksidavimo proceso greitis didėja nedaug, o elektros energijos sąnaudos aeravimui padidėja iki kelių kartų[24]. Deguonies kiekis turi didelę įtaką fermentacinių reakcijų greičiui, kai procesas nelimituojamas substratu, o sumažėjus substrato koncentracijai mažėja deguonies koncentracijos reikšmė.[10]

Esant dideliame kiekiui organinių medžiagų nuotekose, jos valomos anaerobiniu būdu. Šis būdas pagrįstas anaerobinių mikroorganizmų dauginimuisi bedeguonėje aplinkoje. Kad šis procesas vyktų naudojami keli įrenginiai- metantankai ir septikai[19]. Organinės medžiagos skaidomos keliais etapais:

- organinių junginių hidrolizė;

- acetogenezė;
- metanogenezė.

Organinių junginių hidrolizės procesas skaido stambiamolekulinius junginius, kurie yra sudaryti iš angliavandenių, riebalų ir baltymų, paverčiant juos į monosacharidus, riebiąsias ir amonio rūgštis.

Acetogenezės proceso metu, bakterijos ankstesniame etape gautas medžiagas skaido iki lakiųjų riebiųjų rūgščių, spiritų, aldehydų, vandenilio ir anglirūgštės. Vykstant šiam procesui pastebimas pH sumažėjimas bei bendras riebiųjų rūgščių kiekio padidėjimas.

Metanogenezės metu metalogeninės bakterijos skaido substratą, išskirdamos metaną ir anglies dioksidą.[12]

Žemiau 1 lentelėje pateikiama aerobinio ir anaerobinio nuotekų valymo procesų palyginimas.

**1 lentelė** Valymo procesų palyginimas[24]

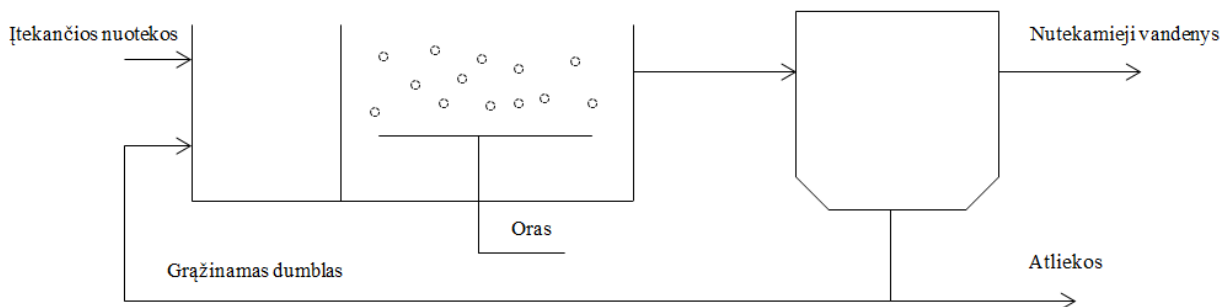
Rodiklis	Aerobinis	Anaerobinis
Energijos poreikis	Didelis	Mažas
Išvalymo laipsnis	Didelis (daugiau kaip 95%)	Vidutinis (nuo 60 iki 90%)
Dumblo prieaugis	Didelis	Mažas
Proceso stabilumas	Nuo vidutinio iki didelio	Nuo mažo iki vidutinio
Paleidimo laikas	Nuo 2 iki 4 savaičių	Nuo 2 iki 4 mėnesių
Maitingų medžiagų poreikis	Didelis	Mažas
Kvapas	Mažesnė kvapo galimybė	Potenciali kvapo problema
Šarmingumo poreikis	Mažas	Didelis gamybinėms nuotekoms
Biodujų gamyba	Ne	Taip

Galima teigti jog aerobinis nuotekų valymas yra veiksmingesnis už anaerobinį, nes pasiekiamas efektingesnis išvalymo laipsnis, ko pasekoje į aplinką patenka mažiau teršalų.

## 1.2 Nuotekų valymas aktyviuoju dumblu

Aktyviajame dumblyje pagrindiniai mikroorganizmai yra bakterijos, kurios taip pat gali būti randamos buitinėse ir pramoninėse nuotekose, kurios atkeliauja į nuotekų valymo įrenginius iš miesto. Norint, kad bakterijos augtų, joms reikia sudaryti tinkamas sąlygas. Augančios ląstelės maistines medžiagas naudoja iš nuotekų. Deguonis naudojamas mikroorganizmų augimui. *Heterotrofinės* bakterijos naudoja vandenyje ištirpusį deguonį. Šios bakterijos sudaro didžiąją dalį aktyviojo dumblo, naudodamos organinę anglies medžiagą, jos susikuria sau terpę, kurioje

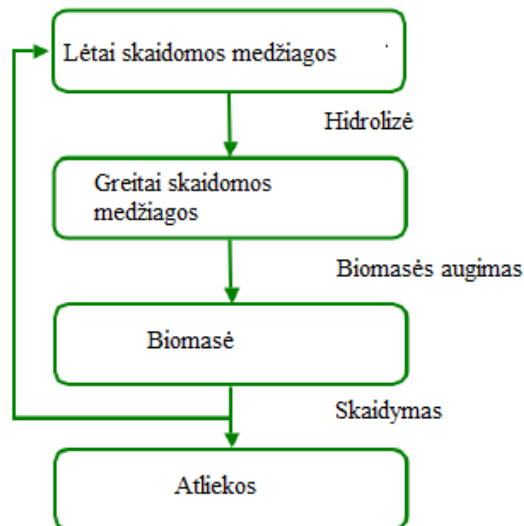
laisvai gali augti. Kitos aktyviajam dumblui būtinos bakterijos yra *autotrofinės*. Jos gali augti tik jei yra ištįpusio vadenyje deguonies ir naudoja neorganinę anglies medžiagą kaip substratą. Norint palaikyti mikrobiologinių bakterijų kiekį, dumblas iš nusodintuvo perpumpuojamas į anoksinį rezervuarą. Žuvusios ir neaktyvios bakterijos yra pašalinamos, kaip atliekos. (1.1pav.) pateikiamas biologinio nuotekų valymo įrenginys.[5]



**1.1pav.** Nuotekų valymo įrenginys

Iš nusodintuvo aktyvusis dumblas pakartotinai grąžinamas į bioreaktorių, kuriame nuotekos yra aeruojamos. Norint, kad deguonis ir aktyvusis dumblas geriau pasiskirstytų bioreaktoriuje naudojama maišyklė. Nutekamieji vandenys gali būti panaudoti antriniam naudojimui arba tiesiog išleidžiami į vandens telkinius. Susidariusios atliekos pašalinamos iš valymo įrenginio.[3]

(1.2pav.) parodytas biologinių procesų algoritmas, kuris vyksta bioreaktoriuje. Organinės medžiagos patenkančios į įrenginį, po ten vykstančių biologinių procesų, virsta kitomis medžiagomis. Pirmiausiai hidrolizės procesas organines medžiagas paverčia į molekules, kurias mikroorganizmai lengviau apdoroja. Biomasės augimas priklauso nuo daugelio kintamųjų dydžių, tokių kaip biomasės kiekis, substrato, temperatūros, pH ir t.t. Vykstant organinių medžiagų skaidymui susidariusios nenaudingos atliekos lieka nusodintuvuose. [3]



**1.2pav.** Biologinių procesų algoritmas

### 1.3 Aktyviojo dumblo sudėtis

Aktyvusis dumblas, tai iš bakterijų ir pirmuonių susidariusios dumblo dalelės, kurios sukimba tarpusavyje sudarydamos dribsnius.

Aktyviajame dumble esti daugybė rūšių mikroorganizmų, tačiau įvardijamos kelios pagrindinės bakterijų kultūros:[18][24]

- Flokules formuojančios bakterijos;
- Siūlinės bakterijos;
- Nitrifikuojančios bakterijos.

Didžiausias kiekis mikroorganizmų randamas aeruojamame rezervuare skendinčiuose aktyviojo dumblo dribsniuose. Juos sudaro Bacillus, Mycobacterium, Micrococcus, Sarcina, Bacterium, Pseudomonas, Pseudobacterium ir kt. mikroorganizmų rūšys[20].

Aktyviajame dumble neretai aptinkamos heterotrofinės bakterijos (*Sphaerotilus natans*), kurios tinkamai mineralizuoja organines medžiagas, tačiau jos priskiriamos prie blogųjų bakterijų, kurios antriniuose nusodintuvuose apsunkina efektyvų dumblo nusodinimą.

Sukūrus palankias sąlygas mikroorganizmų augimui, aktyviajame dumble galima aptikti iki 8 skirtingų rūšių bakterijų. Nuotekų valyme mikroorganizmų koncentracija gali kisti nuo tam tikrų veiksnių t.y. skirtingos dumblo apkrovos, pH, ir temperatūros[18].

Galima teigti, kad pagrindinė aktyviojo dumblo sąlybė yra bakterijų sukibimas sudarant dribsnius ir jų nusėdimas[24].

(1.1 lentelėje) pateikiama bakterijų rūšys ir kokias medžiagas jos skaido.

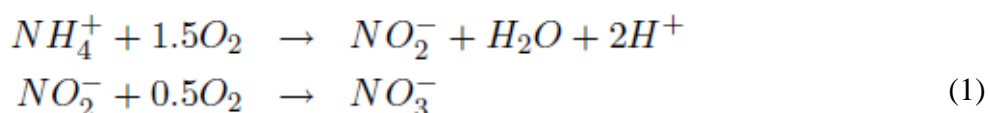
**1.1 lentelė** Mikroorganizmai ir medžiagų skaidymas[24]

<b>Mikroorganizmai</b>	<b>Skaidomos medžiagos</b>
Pseudomonas	Skaido angliavandenilius, turinčius daugiau nei vieną anglies atomą
Flavobakterium	Skaido etaną, propaną ir kt angliavandenilius (iki 8 anglies atomų)
Achromobacter	Azotą fiksuojančios bakterijos
Sphareotilus	Skaido organines rūgštis
Coli – aerogenes	Skaido organines rūgštis
Alcaligenes	Oksiduoja vandenilį kaip energijos šaltinį
Bacillus	Skaido riebiąsias rūgštis
Comamonas	Skaido anglies monoksidą
Mikrococcus	Tirpdo neorganinius fosforo junginius
Actynomyces	Mineralizuoja organinius sieros junginius

#### 1.4 Biologinis azoto ir fosforo šalinimas

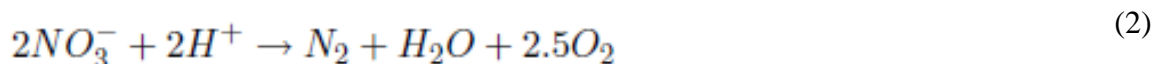
Nuotekose azotas aptinkamas kaip cheminis elementas arba junginys, kuris yra amoniake ( $\text{NH}_3$ ) arba jonizuotame amoniake ( $\text{NH}_4^+$ ), nitratuose ( $\text{NO}_3^-$ ) ir nitrituose ( $\text{NO}_2^-$ ). Skirtingos formos sudaro visa azoto turinį. Nors azotas yra svarbi maistinė medžiaga biologiniam organizmų augimui ir yra viena iš pagrindinių visų gyvų organizmų sudedamųjų dalių, tačiau dėl tam tikrų priežasčių azotą iš nutekamųjų vandenų reikia šalinti. Per didelis šių junginių kiekis gali pakenkti vandens organizmų gyvybei ir vystymuisi[3].

Nuotekose, kurios atiteka į valymo įrenginius, daugiausiai azoto randama amoniako junginyje, jis pašalinamas per kelis etapus. Pirmame etape aerobinėmis sąlygomis amoniakas oksiduojamas, šis procesas vadinamas nitrifikacija, pateikiamos supaprastintos cheminės reakcijų lygtys:



Tai reiškia, kad amoniakas yra oksiduojamas ir gaunami nitritai, oksidavus nitritus, gauname nitratus. Deguonis būtinas šiame procese dalyvaujančioms bakterijoms[3][6].

Denitrifikacijos būdu nitratai paverčiami azotu. Šis procesas vyksta anoksinėje aplinkoje t.y., deguonis dalyvauja kaip nitratas, o bakterijos nitratai naudojami kaip vandenyje ištirpusi deguonį. Pateikiama supaprastinta cheminės reakcijos lygtis:



Nitrifikacijos ir denitrifikacijos procese, azotas iš nuotekų pašalinamas biologiniu būdu. Tai reiškia, jog anoksinėje aplinkoje būtina denitrifikacija, o aerobinėje zonoje nitrifikacija.

Fosforas yra labai svarbi medžiaga mikroorganizmų augimui, tačiau net ir labai nedidelis kiekis išvalytuose nuotekose, gali sukelti eutrofikaciją, kuri pasireiškia vandens telkiniuose. Tai yra melsvadumblių ir vandens augalų augimas. Toks reiškinys gali sukelti aplinkosaiginių problemų, todėl būtina fosforą pašalinti iš išvalytų nuotekų[3].

Fosforo šalinimui naudojami du metodai: cheminis nusodinimas ir biologinis valymas. Cheminis nusodinimas vyksta panaudojus tam tikras chemines medžiagas, pvz., silpnai rūgštinis pH ir cheminis priedas, aliuminio arba geležies druskos. Fosforo šalinimui iš nuotekų naudojamos druskos pateiktos (1.2 lentelėje).

**1.2 lentelė.** Metalų druskos, kurios šalina fosforą iš nuotekų [13].

Cheminė formulė	Metalų druskos
$\text{Ca(OH)}_2$	Kalcio hidroksidas (gesintos kalkės)
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Aliuminio sulfato hidratas
$\text{NaAlO}_2$	Natrio aliuminatas
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Geležies trichlorido hidratas
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	Geležies trisulfatas
$\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Geležies sulfato hidratas
$\text{FeCl}_2$	Geležies dichloridas

Cheminis nusodinimas vyksta keliais etapais: nusodinimas, koaguliacija, flokuliacija ir atskyrimas. Nusodinimo metu į nuotekas įterpus metalų druskų, fosforas paverčiamas į mažai tirpias medžiagas - koloidus. Koaguliacijos procese koloidai destabilizuojami ir koaguliuojami į pirmines daleles. Flokuliacijos proceso metu, nusodinamosios medžiagų dalelės didinamos, tam, kad jas būtų galima atskirti nuo nuotekų nusodinimo etape. Flokuliacijos kameroje nuotekos lėtai maišomos mechaniniais flokulatoriais. Maišant nuotekas jose indukuojasi greičio gradientai, priverčiantys pirmines daleles sukaupti ir sudaryti dribsnius. Biologiniuose valymo įrenginiuose, kuriuose yra aeravimo kamera, medžiagos maišosi aeravimo metu. Nusodinimo metu susidarę dribsniai atskiriami nuo nuotekų nusodinimo, flotacijos arba filtracijos įrenginiuose [13].

Bakterijos *acinetobacterspp.* savo ląstelėse gali kaupti polifosfatus, todėl jomis pasinaudojama biologiniame fosforo pašalinime. Sukuriamos aerobinės ir anaerobinės zonos. Fosforas skysčio pavidalu išleidžiamas iš ląstelių anaerobinėje zonoje. Tam, kad susiformuotų anglies atsargos ląstelės viduje, organinė anglis paimama į ląsteles ir polimerizuojama. Paimtas iš skystosios fazės fosforas polimerizuojamas į polifosfatus aerobinėse zonose. Anglis sudaro

maitinančią terpę naujai ląstelių masei, tuo pačiu duodama energijos. Dumblo perteklius prisotina fosforo ir taip jis pasišalina kartu su dumblu. Įmonės, kurios biologiškai pašalina fosforą stabilizuoja jį lygiagretais nusodinimo būdu. Bendras fosforo likutis ištekyje, vykstant biologiniam fosforo pašalinimo procesui, yra nuo 0,3 iki 3 mg/l. Vykstant vien tik chemiui nusodinimui koncentracija pasiekama mažesnė.[14]

### **1.3 Aktyvaus dumblo aeracijos metodai**

#### **Difuzinis aeravimas**

Nuotekos atkeliauja į rezervuarą, kurio dugne yra difuzoriaus aeracijos sistema. Paprasčiausias aeratoriaus panaudojimo būdas yra akvariumuose, kuriuose vanduo yra prisotinamas deguonimi, kuris yra būtinas vandens orgnaizmų gyvenimui. Oras paduodamas per aeratoriaus blokus, tuomet susidaro oro burbulai, kurie kildami į viršų kartu atlieka ir substrato maišymo funkciją. Riboto dydžio rezervuaruose arba esant dideliai nuotekų koncentracijai, aeravimui vietoj oro siūloma naudoti deguonį. Paprastai oras generuojamas oraputėmis arba kompresoriais.[2]

#### **Paviršinis aeravimas**

Šio tipo aeravimas vyksta taip: rezervuare vertikaliai sumuntuoti iki 1 metro skresmens vamzdžiai, nuo talpos viršaus iki apačios. Jų ilgis gali siekti apie 10 metrų. Paviršiniai aeratoriai dirba plonos skysčio plėvelės ištaškymo ore principu, intensyviai prisotinant ją deguonimi. Skysčio čiurkšlės išmetimas lydimas hidrauliniu šuoliu ir intensyviu oro siurbimu, dėl susidariusio aeratoriaus veikimo zonoje vakuomo. Aeratoriaus mechanizmas, pantonų pagalba laikomas aerobinio rezervuaro paviršiuje. Elektros variklis sukdamas sraigatą pakelia nuotekas, kurios yra išpurškiamos pro difuzoriaus antgalius.[2][1]

## **2 AKTYVIOJO DUMBLO MODELIS**

Tarptautinė vandens asociacija (IWA) pasiūlė keletą modelių, kurie apibūdina biologinius procesus vykstančius valymo įrenginiuose panaudojus aktyvųjį dumblą. Modeliai gali būti naudojami tyrimams, mokymosi programoms kurti. Dažniausiai jie taikomi nuotekų valymui bei valymo įrenginių optimizavimui. Aktyviojo dumblo modelis susideda iš: būsenos

kintamųjų, (kuriuos apima skirtingų frakcijų cheminis deguonies suvartojimas (ChDS), biomasė (iš įvairių rūšių maistinių medžiagų, tiek organinių, tiek neorganinių), dinaminių procesų (kurie aprašomi matematinėmis formulėmis) ir modelio parametrų (augimo ir slopinimo koeficientas, hidrolizės ir t.t)[16].

- **ASM1**, aktyviojo dumblo modelis Nr.1 gali būti laikomas etaloniniu modeliu, nes jis yra pagrindinis biologinių procesų modeliavime. Pirmiausiai ASM1 modelis buvo sukurtas aprašyti organinių junginių ir azoto šalinimą, panaudojant deguonį. (ChDS) cheminis deguonies suvartojimas buvo priimtas kaip organinių medžiagų koncentracijos matavimo matas. [8][28]
- **ASM2**, aktyvaus dumblo modelis Nr. 2 praplėčia ASM1 modelio galimybę aprašyti biologinį fosforo šalinimą.[7]
- **ASM2d**, modelis paremtas ASM2 pridėdam denitrifikacijos procesą, leidžianti geriau aprašyti fosfatų ir nitratų dinamiką.[7]
- **ASM3**, aktyvaus dumblo modelis Nr. 3 taip pat buvo sukurtas biologinio azoto šalinimui, iš esmės jis yra toks pat kaip ASM1. Pagrindinis skirtumas tarp šių ASM1 ir ASM3 modelių yra tai, kad pastarasis pripažįsta polimerų svarbą heterotrofinio aktyviojo dumblo konversijoje.[9][28]

### 2.3 Veiksniai darantys įtaką nuotekų valymui

Nuotekų sudėtis, pH, temperatūra ir toksiškos medžiagos gali stipriai paveikti nuotekų valymo procesus. Visi kinetiniai modelio parametrai priklauso nuo temperatūros, todėl šie parametrai turi būti tinkamai apskaičiuoti, kad prisitaikytų prie temperatūros pokyčių. Pradiniai aktyviojo dumblo modelio (ASM1) parametrai randami, kai procesai vyksta 10 °C - 20 °C temperatūroje. Nitrifikacijos procesas nuotekų valyme yra labai jautrus temperatūros pokyčiams. Nepaisant to, pH yra kitas faktorius, kuris gali smarkiai įtakoti nuotekų valymo procesus. Todėl buvo daroma prielaida, jog ASM1 modelyje pH turi būti artimas neutraliam ir pastoviam dydžiui. Nuotekose esant toksiškoms medžiagoms, jos gali sutrikdyti nitrifikacijos procesą, todėl 1995 m., buvo patobulinta nitrifikacijos lygtis, kad toksiškos medžiagos kuo mažiau paveiktų procesą. Šis modelio pakeitimas būtinas dėl pramoninių nuotekų susimaišymo su kitomis, ne toksiškomis nuotekomis, kurios valomos tuose pačiuose valymo įrenginiuose[17].



## 2.1 ASM1 modelio būsenos kintamieji

Organinės medžiagos yra skirstomos į biologiškai skaidomas ( $S_S$  ir  $X_S$ ), ne biologiškai skaidomas ( $S_I$  ir  $X_I$ ) ir aktyviają biomasę ( $X_{BH}$  ir  $X_{BA}$ ). Lengvai biologiškai suyrančias substratas, sudarytas iš tirpių molekulių, kurios gali būti lengvai absorbuojamos organizmų ir metabolizuojama energijai. Priešingai, lėtai irstantis substratas sudaro gana sudėtingas molekulių grupes, kurioms reikia fermentavimo proceso prieš absorbcijos procesą. Ne biologiškai irstantis medžiagos dalyvaudamos biologiniame procese išlieka nepakitusios. Biomasę sudaro keletas komponentų, t.y. heterotrofinės bakterijos  $X_{B,H}$ , kurios aerobinėje aplinkoje skaido organines medžiagas, autotrofinės bakterijos  $X_{B,A}$ , kurios esant aerobinėms sąlygoms, paverčia vandenyje ištirpusią amoniaką į nitratus ir papildomas komponentas  $X_p$ , kuris susidaro biomasės puvinimo metu. (2.1 lentelėje) pateikiami būsenos kintamieji [3].

2.1 lentelė ASM1 modelio kintamieji

Būsenos kintamasis	Paaiškinimas
$S_{NH}$	Tirpus amonis, azotas
$S_{NO}$	Tirpus nitratas, azotas
$S_{ND}$	Tirpus, biologiškai irstantis organinis azotas
$S_O$	Ištirpęs deguonis
$S_S$	Lengvai skaidomas substratas
$X_{B,A}$	Autotrofinė biomasė
$X_{B,H}$	Heterotrofinė biomasė
$X_{ND}$	Organinis azotas
$X_S$	Lėtai irstantis substratas
$X_p$	Inertiški smulkūs produktai
$S_{ALK}$	Proceso šarmingumas

Organinis azotas skirstomas į dvi grupes: tirpstantis organinis azotas  $S_{ND}$  ir netirpstantis  $X_{ND}$ . Modelyje taip pat aprašomi azotiniai teršalai t.y., amoniakas  $S_{NH}$ , nitritai ir nitratai  $S_{NO}$ .

Aprašant aktyviojo dumblo modelį, svarbūs parametrai yra ištirpęs deguonis  $S_O$  ir šarmingumas  $S_{ALK}$ . Ištirpęs deguonis reikalingas biocheminėms reakcijoms, kurios vyksta bioreaktoriuje. Medžiagų elgesį galima įvardinti kaip netiesinę sistemą, todėl jų reakcijos vykstančios bioreaktoriuje aprašomos netiesinėmis diferencialinėmis lygtimis, kurios susideda iš masės balanso ir reakcijos. [3]

## 2.4 ASM1 modelio procesai

Pagrindinius procesus, kurie vyksta bioreaktoriuje sukelia dviejų rūšių mikroorganizmai, t.y, heterotrofinės ir autotrofinės bakterijos. Aerobinis heterotrofų augimas vyksta naudojant deguonį, to pasekoje susidaro heterotrofinė biomasė. Mikroorganizmų augimas priklauso nuo maistinių medžiagų kiekio, kurį sudaro lengvai skaidomas substratas  $S_S$  ir deguonies koncentracija  $S_O$ . Šis procesas yra svarbiausias norint padidinti biomasės kiekį. Amoniakas naudojamas kaip azoto šaltinis sintezės procesui. Anoksinėje aplinkoje heterotrofinės bakterijos sukelia denitrifikacijos procesą. Autotrofiniai mikroorganizmai, kurie esant aerobinėms sąlygoms, paverčia vandenyje ištirpusį amoniaką į nitratus, toks procesas vadinamas nitrifikacija. Procesas, kai lėtai irstančio substarto koncentracija padidėja, įvyksta dėl heterotrofinių ir autotrofinių bakterijų puvimo. Organizmai miršta ir sudaro netirpias inertines organines medžiagas. Žemiau pateikiama (2.2 lentelė) su vykstančiais procesais bei reakcijos lygtimis.[8]

2.2 lentelė. Reakcijų lygtys

Vykstantys procesai	Reakcijų lygtys
Aerobinis heterotrofų augimas	$S_S + S_O + S_{NH} \rightarrow X_{BH}$
Anoksinis heterotrofų augimas	$S_S + S_{NO} + S_{NH} \rightarrow X_{BH}$
Aerobinis autotrofų augimas	$S_O + S_{NH} \rightarrow X_{BA} + S_O$
Heterotrofų irimas	$X_{BH} \rightarrow X_p + X_S + X_{ND}$
Autotrofų irimas	$X_{BA} \rightarrow X_p + X_S + X_{ND}$

## 2.5 Svarbiausi proceso trikdžiai

Norint tinkamai valdyti nuotekų valymo procesą, reikia įvertinti galimus sistemos trikdžius, kurie gali smarkiai įtakoti pereinamuosius procesus. Aptarkime vidinius trikdžius, atsirandančius pačiuose valymo įrenginiuose: įtekančios nuotekos, siurblių darbas, grąžinamas dumblas, nitratų recirkuliacija, cheminis dumblas, nuosėdos. Šie trikdžiai gali smarkiai paveikti biotechnologinius procesus ir apsunkinti procesų valdymą[23].

## 2.6 Biologinio nuotekų valymo procesų valdymo problemos ir būdai

Nagrinėjant biotechnologinių procesų kinetiką ir įvairių veiksnių įtaką jiems, buvo nustatyta, kad pagrindinę įtaką biotechnologiniams procesams turi nuotekų teršalų sudėtis, aktyviojo dumblo apkrova, ištirpusio deguonies ir mikroorganizmų koncentracijos, vandens pH, temperatūra ir kitų medžiagų koncentracijos[20].

Biotechnologinis nuotekų valymo procesas yra vienas iš sudėtingiausiai valdomų procesų, kuriems įtaką daro įvairūs veiksniai. Viena pagrindinių valdymo problemų kintantis įtekantis nuotekų srautas. Netolygus srautų pasiskirstymas gali smarkiai įtakoti biotechnologinius procesus. Tuo atveju, nuotekų valymo įrenginiuose naudojamos paskirstymo kameros, kad būtų galima kuo labiau sumažinti srautų svyravimus. Tuomet iškyla problema dėl siurblių darbo režimų parinkimo ir tinkamo siurblių valdymo. Recirkuliacinio ir perteklinio dumblo srautai įtakoja biotechnologinius procesus, todėl kuriant valdymo sistemas į juos būtina atsižvelgti[17].

Norint užtikrinti tinkamą nuotekų išvalymą naudojami papildomi chemikalai, kuriuos reikia tinkamai dozuoti. Esant blogai dozavimo valdymo sistemai, per mažas arba per didelis chemikalų kiekis gali užkirsti kelią efektyviam nuotekų išvalymui.

Mikroorganizmų augimui būtinas nuolatinis oro tiekimas, kurį jie naudoja kvėpavimui ir teršalams oksiduoti. Tokiu atveju, biotechnologiniuose procesuose oras turi būti tiekiamas taip, kad užtikrintų teršalų oksidacijos procesą. Biotechnologiniai procesai vyksta įrenginiuose esant ištirpusio deguonies koncentracijai ne mažesnei už 0,25 mg/l. Optimalia ištirpusio deguonies koncentracija laikoma, kai ji yra 2 mg/l., todėl tai yra pagrindinė valdymo problema nuotekų valymo įrenginiuose[20].

Kaip žinome biologinio nuotekų valymo procesų valdymas yra sudėtingas uždavinys. Tam reikalui buvo sukurta įvairiausių valdymo sistemų ir metodų. Viena plačiausiai taikomų yra neigiamojo grįžtamojo ryšio valdymo sistema, kuri leidžia tiksliai sekti nuostatą ir užtikrinti gerą valdymo kokybę. Tačiau, jei procesas yra smarkiai netiesiškas, šią valdymo sistemą taikyti tampa vis sunkiau. Esant dideliems ir greitai besikeičiantiems trikdžiams taikyti neigiamojo grįžtamojo ryšio valdymo sistemą nėra efektyvu. Tokiu atveju reikėtų naudoti sudėtingesnių struktūrų valdymo sistemas[15].

Pakopinės ARS taikomos objektams, kurie turi vieną įėjimą ir greta pagrindinio išėjimo dar turi tarpinį išėjimą. Pakopinio valdymo sistemose du reguliatoriai konfigūruojami taip, kad pirmojo reguliatoriaus išėjimas yra antrojo reguliatoriaus nuostatas [15].

Esant sudėtingiems ir ne tiesiniams procesams paprastas valdymo sistemas taikyti gan sudėtinga, nes jos neužtikrina tinkamos valdymo kokybės. Tokiu atveju galima naudoti sudėtingesnius sistemas.

## 2.7 ASM1 modelio diferencialinės lygtys

Matematinio modelio kūrimui rašomos ir netiesinių procesų aprašymui naudojamos diferencialinės lygtys. Jos aprašo medžiagų reakcijos greitį.

Heterotrofinės biomasės koncentracijos kitimą lemia skirtingi procesai. Heterotrofų aerobinis ir anoksinis augimas bei irimas aprašomas tokia diferencialine lygtimi:[4][28][27]

$$\frac{dX_{B,H}}{dt} = \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) X_{B,H} + \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_S} \right) \eta_g X_{B,H} - b_H X_{B,H} \quad (3)$$

Autotrofinės biomasės koncentracijos kitimas priklauso aerobinio augimo ir puvimo. Proceso dinamika yra paprastesnė, nes autotrofinės bakterijos neauga anoksinėje aplinkoje.

$$\frac{dX_{B,A}}{dt} = \mu_H \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_S} \right) X_{B,A} - b_A X_{B,A} \quad (4)$$

Esant aerobinėms ir anoksinėms sąlygoms dėl heterotrofinių bakterijų augimo, lėtai irstančio substrato koncentracija mažėja, bet hidrolizės metu koncentracija sparčiai didėja.

$$\begin{aligned} \frac{dS_S}{dt} = & -\frac{1}{Y_H} \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) X_{B,H} - \frac{1}{Y_H} \mu_H \cdot \\ & \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_S} \right) \eta_g X_{B,H} b_H + \\ & + k_h \frac{X_S / X_{B,H}}{K_X + X_S / X_{B,H}} \left[ \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + \eta_h \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_{B,H} \end{aligned} \quad (5)$$

Dėl heterotrofinių ir autotrofinių bakterijų irimo lėtai irstančio substrato koncentracija didėja, o dėl organinių medžiagų hidrolizės proceso mažėja.

$$\frac{dX_S}{dt} = (1-f_p) b_H X_{B,H} + (1-f_p) b_A X_{B,A} - k_h \frac{X_S / X_{B,H}}{K_X + X_S / X_{B,H}} \left[ \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + \eta_h \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_{B,H} \quad (6)$$

Pūvant heterotrofinėms ir autotrofinėms bakterijoms susidaro smulkūs inertiški produktai.

$$\frac{dX_p}{dt} = f_p b_H X_{B,H} + f_p b_A X_{B,A} \quad (7)$$

Vykstant biomasės puvimui organinio azoto koncentracija didėja, tačiau dėl hidrolizės proceso mažėja.

$$\begin{aligned} \frac{dX_{ND}}{dt} &= (i_{XP} - f_p i_{XP}) b_H X_{B,H} + (i_{XB} - f_p i_{XP}) b_A X_{B,A} - \\ &- k_h \frac{X_S / X_{B,H}}{K_X + X_S / X_{B,H}} \left[ \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + \eta_h \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_{B,H} \left( \frac{X_{ND}}{X_S} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

Nitrifikacijos proceso metu tirpaus organinio azoto koncentracija mažėja, o didėja dėl hidrolizės procesų.

$$\frac{dS_{ND}}{dt} = k_h \frac{X_S / X_{B,H}}{K_X + X_S / X_{B,H}} \left[ \left( \frac{S_O}{K_{O,H} + S_O} \right) + \eta_h \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_O} \right) \left( \frac{S_{NO}}{K_{NO} + S_{NO}} \right) \right] X_{B,H} \left( \frac{X_{ND}}{X_S} \right) - k_a S_{ND} X_{B,H} \quad (9)$$

Biomasės augimas daro įtaką amonio koncentracijai. Amonio jonas  $NH_4^+$  naudojamas kaip azoto šaltinis. Azotui virstant amoniu, koncentracija didėja, o vykstant nitrifikacijos procesui mažėja.

$$\begin{aligned} \frac{dS_{NH}}{dt} &= -i_{XB} \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) X_{B,H} - I_{XB} \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_S} \right) \eta_g X_{B,H} - \\ &- \left( i_{XB} + \frac{1}{Y_A} \right) \mu_A \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_S} \right) X_{B,A} + k_a S_{ND} X_{B,H} \end{aligned} \quad (10)$$

Nitrifikacijos proceso metu nitratų koncentracija didėja, o denitrifikacijos metu mažėja.

$$\frac{dS_{NO}}{dt} = -\frac{1 - Y_H}{2.86 Y_H} \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) \eta_g X_{B,H} + \frac{1}{Y_A} \mu_A \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_S} \right) X_{B,A} \quad (11)$$

Autotrofinių ir heterotrofinių mikroorganizmų augimo metu, deguonies koncentracija mažėja.

$$\frac{dS_O}{dt} = -\frac{1 - Y_H}{Y_H} \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) X_{B,H} - \frac{4.57 - Y_A}{Y_A} \mu_A \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_S} \right) X_{B,A} \quad (12)$$

Anoksinio heterotrofų augimo ir tirpių organinių junginių nitrifikacijos metu proceso šarmingumas didėja, o dėl aerobinio heterotrofų ir autotrofų augimo šarmingumas mažėja.

$$\begin{aligned} \frac{dS_{ALK}}{dt} &= -\frac{i_{XB}}{14} \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) X_{B,H} + \left( \frac{1 - Y_H}{14 \cdot 2.86 Y_H} - \frac{i_{XB}}{14} \right) \mu_H \left( \frac{S_S}{K_S + S_S} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) \times \\ &\times \left( \frac{K_{O,H}}{K_{O,H} + S_S} \right) \eta_g X_{B,H} - \left( \frac{i_{XB}}{14} + \frac{1}{7 Y_A} \right) \mu_A \left( \frac{S_{NH}}{K_{NH} + S_{NH}} \right) \left( \frac{S_S}{K_{O,H} + S_S} \right) X_{B,A} + \frac{1}{14} k_a S_{ND} X_{B,H} \end{aligned} \quad (13)$$

Aprašant vykstančias reakcijas naudojamos įvairios konstantos, kurios pateikiamos (2.3 lentelėje).

### 2.3 lentelė. Konstantų sąrašas[4]

Parametras	Žymėjimas	Skaitinė reišmė
Prisotinto deguonies koncentracija	$S_{O,sat}$	10 mg/l

Deguonies perdavimo funkcija	$K_{La}$	
Lėtai biologiškai skaidomo substrato hidrolizės prisotinimo koeficientas	$K_X$	$0,1\text{g IDK (g iDK)}^{-1}$
Maksimalus specifinis hidrolizės greitis	$k_h$	$0,125\text{g IDK (g valanda)}^{-1}$
Amonio susidarymo greitis	$k_a$	$0,0021\text{g IDK (g valanda)}^{-1}$
Hidrolizės korekcijos faktorius, esant anoksinėms sąlygoms	$\eta_h$	0,8
$\mu_H$ korekcijos faktorius, esant anoksinėms sąlygoms	$\eta_g$	0,8
Heterotrofinės biomasės irimo (puvimo) greičio koeficientas	$b_H$	$0,0125\text{ valanda}^{-1}$
Autotrofinės biomasės irimo (puvimo) greičio koeficientas	$b_A$	$0,0021\text{ valanda}^{-1}$
Deguonies prisotinimo autotrofinėje biomasėje koeficientas	$K_{O,A}$	$0,4\text{g O}_2\text{m}^{-3}$
Amonio prisotinimo autotrofinėje biomasėje koeficientas	$K_{NH}$	$1,0\text{g NH}_3\text{N m}^{-3}$
Nitratų prisotinimo denitrifikuotoje heterotrofinėje biomasėje koeficientas	$K_{NO}$	$0,5\text{g NO}_3\text{N m}^{-3}$
Deguonies prisotinimo heterotrofinėje biomasėje koeficientas	$K_{O,H}$	$0,2\text{g O}_2\text{ m}^{-3}$
Heterotrofinės biomasės prisotinimo koeficientas	$K_S$	$10\text{g IDK m}^{-3}$
Maksimalus specifinis heterotrofinės biomasės augimo greitis	$\mu_H$	$0,1667\text{ valanda}^{-1}$
Maksimalus specifinis autotrofinės biomasės augimo greitis	$\mu_A$	$0,0208\text{ valanda}^{-1}$
Biomasės virsmo netirp. produktu rodiklis	$f_p$	0,08
Azoto ir IDK masių santykis produkte	$i_{XP}$	$0,06\text{g N(g IDK)}^{-1}$
Azoto ir IDK(ištirpusio deguonies koncentracija) masių santykis biomasėje	$i_{XB}$	$0,08\text{g N(g IDK)}^{-1}$
Našumo rodiklis heterotrofinei biomasei	$Y_H$	0,67
Našumo rodiklis autotrofinei biomasei	$Y_A$	0,24

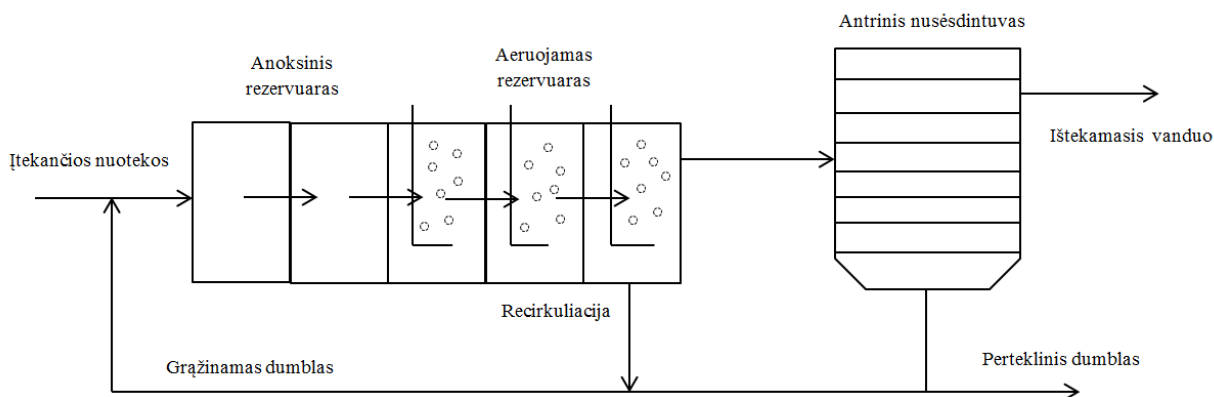
Parametrų reikšmės pateiktos prie 20°C temperatūros. Kai kurie parametrai gali nežymiai kisti, priklausomai nuo nutekamųjų vandenų ir gali būti nagrinėjami kaip konstantos. Bet yra tokių, kurie smarkiai svyruoja. Lentelėje pateiktos reikšmės, kurios yra būdingos neutraliam pH.[23]

### 3 PROCESO IMITACINIO MODELIO SUDARYMAS

Naudojantis ankščiau nurodytu matematiniu modeliu ir siekiant geriau išnaudoti atitekančias organines mėšdiagas sudaromas proceso imitacinis modelis.[4][26]

Proceso imitacinį modelį sudaro šios pagrindinės dalys:

1. Anoksinis rezervuaras
2. Aeruojamas (aerobinis) rezervuaras
3. Antrinis nusodintuvas



**3.1pav.** Objekto struktūrinė schema

Anoksinį rezervuarą sudaro dvi anoksinės kameros. Iš pirmo nusodintuvo atitekančios nuotekos patenka į pirmą anoksinę kamerą, po to – ir į antrą. Į pirmą anoksinę kamerą t.p. patenka ir grąžinamas dumblas iš antrinio nusodintuvo, kuris reikalingas biomasei palaikyti. Iš aeruojamo rezervuaro azotu prisotintas vanduo, recirkuliacijos būdu irgi patenka į anoksinę kamerą. Šioje kameroje vyksta denitrifikacijos procesas.[4][25][26]

Aeruojamą rezervuarą sudaro trys kameros, kuriose palaikoma skirtinga ištirpusio deguonies koncentracija. Trečioje kameroje dalis nuotekų grąžinama atgal į pirmą anoksinę kamerą. Norint, kad nesutriktų anoksiniam rezervuare vykstantys biotechnologiniai procesai, trečioje aeruojamoje kameroje ištirpusios deguonies koncentracija turi būti mažiausia. Aeruojamame rezervuare vyksta nitrifikacijos procesas.[4][25][26]

Antriniame nusodintuve apvalytos nuotekos patenka iš aeruojamo rezervuaro. Jame nusodinama mažai tirpios medžiagos ir lėtai irstantis smulkūs produktai. Susidariusio dumblo dalis grąžinama atgal į anoksinį rezervuarą, perteklinė dalis šalinama iš antrinio nusodintuvo. Skystos frakcijos gali būti toliau apdirbamos cheminiu būdu arba išleidžiamos į vandens telkinius.[4][25][26]

Kiekviena kamera ir nusodintuvas imituojamas skirtingu (*Differential Equation Editor*) bloku. Imitaciniame modelyje, diferencialinėmis lygtimis aprašomas kiekvienos medžiagos koncentracijos pokytis, remiantis masės balansu ir reakcija. Pradinės sąlygos, konstantos ir srautai paaimami iš literatūros[4][26].

Anoksinų ir aeruojamų kamerų reakcijų dedamąsias sudaro ankščiau išvardintų 11 diferencialinių lygčių. Įtekančių ir ištekančių koncentracijų pokytis aprašomas tokia išraiška:

$$\frac{Q_{in}}{V} x_{in} - \frac{Q_{is}}{V} x, \text{ kur } Q_{in} \text{ įtekančias į kamerą srautas, } x_{in} \text{ – atitinkama koncentracija, } Q_{is} \text{ – ištekančias}$$

srautas,  $x$ - būvio kintamasis,  $V$ - atitinkamos kameros tūris[25][26].

Sudarant nusodintuvo imitacinį modelį, diferencialinės lygtys rašomos atskirai skystoms ir netirpioms frakcijoms.

Skystoms:

$$\frac{dS_{\bullet}}{dt} = S_{in} \frac{Q_{prad} + Q_{grazin}}{V} - x \frac{Q_{nusaus} + Q_{isval} + Q_{grazin}}{V} \quad (12)$$

Šioje lygtyje  $S_{in}$  tam tikros skystos frakcijos koncentracija,  $Q_{prad}$  ir  $Q_{grazin}$  įvardijami atitekantis ir grąžinami srautai,  $x$  – tam tikros frakcijos būvio kintamasis,  $Q_{nusaus}$ ,  $Q_{isval}$ ,  $Q_{grazin}$  – perteklinio dumblo, išvalytų nuotekų ir grąžinamo dumblių srautai,  $V$ - nusodintuvo tūris.

Netirpioms ir inertiškoms frakcijoms dif. lygtys užrašomos[4][25]:

$$\frac{dX_{\bullet}}{dt} = X_{in} \frac{Q_{prad} + Q_{grazin}}{V} - x \frac{Q_{nusaus} + Q_{grazin}}{V} - x \frac{Q_{isval}}{V} koef \quad (13)$$

Čia  $X_{in}$ - tam tikros medžiagos koncentracija,  $x$  – tam tikros medžiagos būvio kintamasis,  $koef$ - koeficientas, nurodantis, kuri medžiagos dalis susikaupusi nusėdintuve pašalinama su ištekančiu vandeniu. Jis apskaičiuojamas pagal literatūroje nurodytą santikį.

Bendras įtekantis srautas  $Q_{in}$  į anksinį rezervuarą lygus  $Q_{in} = Q_{prad} + Q_{recirku} + Q_{grazin}$ . Visose kamerose šis srautas yra vienodas  $Q_{in} = Q_{isval}$ . Kiekvienos medžiagos pradinė įtekanti koncentracija yra lygi[4][25]:

$$X_{0,in} = \frac{X_0 Q_{prad} + X_{recirku} Q_{recirku} + X_D Q_{grazin}}{Q_{prad} + Q_{recirku} + Q_{grazin}} \quad (14)$$

Čia  $X_0$  – medžiagos koncentracija, kuri įteka į anksinį rezervuarą iš pirminio nusodintuvo,  $X_{recirku}$  – medžiagos koncentracija recirkuliaciniame sraute, kuri sutampa su penktoje kameroje esančia koncentracija,  $X_D$  – medžiagos koncentracija, kuri grąžinama iš nusodintuvo[4][25].

Žemiau pateikiama (3.1 lentelė) su pradinėmis frakcijų koncentracijomis, kamerų tūriais ir srautais.

**3.1 lentelė** Pradinės modeliavimo vertės[4]

Dydis	Matavimo vienetas	Vertė	Pavadinimas
$S_{NH,0}$	mg/l	31,56	Tirpus amonis, azotas
$S_{NO,0}$	mg/l	0	Tirpus nitratas, azotas
$S_{ND,0}$	mg/l	6,95	Tirpus, biologiškai irstantis organinis azotas
$S_{O,0}$	mg/l	0	Ištirpęs deguonis
$S_{S,0}$	mg/l	69,5	Lengvai skylantis substratas



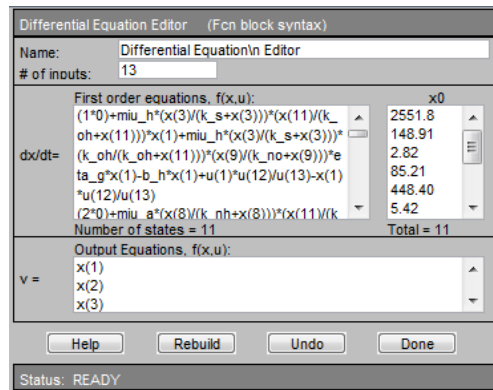
$X_{B,A,0}$	mg/l	0	Autotrofinė biomasaė
$X_{B,H,0}$	mg/l	28.17	Heterotrofinė biomasaė
$X_{ND,0}$	mg/l	10,59	Organinis azotas
$X_{S,0}$	mg/l	202,3	Lėtai irstantis substratas
$X_{P,0}$	mg/l	0	Inertiški smulkūs produktai
$S_{ALK,0}$	mg/l	7	Šarmingumas
$Q_{prad}$	m <sup>3</sup> /h	768	Atitekantis nuotekų srautas
$Q_{recirku}$	m <sup>3</sup> /h	1500	Recirkuliacinis srautas
$Q_{grąžin}$	m <sup>3</sup> /h	768	Grąžinamas srautas iš nusodintuvo
$Q_{nusaus}$	m <sup>3</sup> /h	16,0	Perteklinis dumblo srautas iš nusodintuvo
$Q_{išval}$	m <sup>3</sup> /h	752	Iš nusėsdintuvo tolimesniam apdorojimui nuvedamas srautas
$V_1=V_2$	m <sup>3</sup>	1000	Anoksnių kamerų tūriai
$V_3=V_4=V_5$	m <sup>3</sup>	1333	Aerobinių kamerų tūriai
$V_6$	m <sup>3</sup>	6000	Nusodintuvo tūris

Pradinės anoksinių, aeruojamų kamerų ir nusodintuvo koncentracijos pateikiamos priede (Priedas Nr. 1).

### 3.1 ASM1 modelio imitatoriaus sudarymas Matlab/Simulink aplikoje

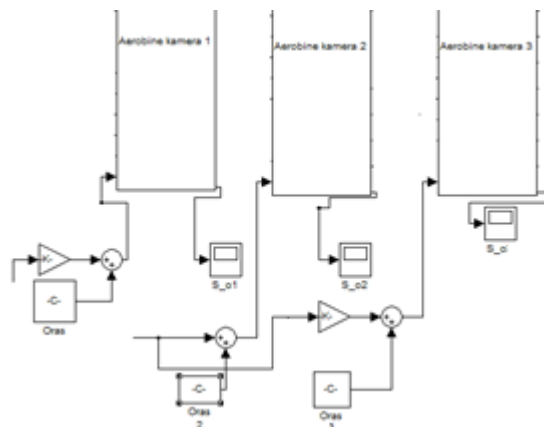
Panaudojus Matlab/Simulink programinį paketą, buvo sudarytas aktyviojo dumblo imitacinis modelis. Jį sudaro dvi anoksinės kameros, trys aeruojamos kameros ir antrinis nusodintuvas.

Anosknių kamerų rezervuarą sudaro du DEE (*Differential Equation Editor*) blokai, kuriuose surašytos diferencialinės lygtis aprašančios kiekvienos medžiagos koncentracijos kitimą, remiantis masės balansu ir reakcija. Žemiau (3.2 pav.) pateikiamas DEE blokas.



**3.2pav.** Anoksinės kameros DEE blokas

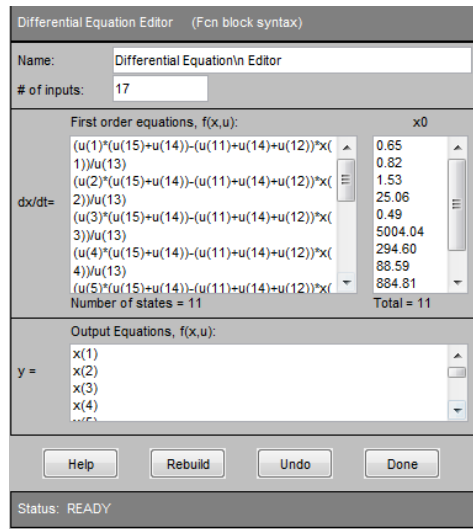
Aerobinių kamerų rezervuarą sudaro trys DEE blokai su masės balanso ir reakcijos lygtimis. Kadangi šios kameros yra aeruojamos kaip papildomas kintamasis įvedamas oras, o deguonies pernešimas vyksta, kai prie (12) lygties, kaip papildomas narys pridedama  $K_L a(u)(S_{O,sat} - S_O)$ ,  $K_L a$ - deguonies pernešimo funkcija,  $S_{O,sat}$  – prisotinimo ištirpusiu deguonimi koncentracija[24].



**3.3pav.** Papildomas kintamasis - oras

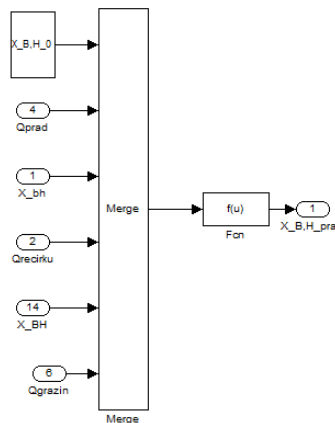
Oras į kameras paduodamas skirtingu srautu. Į pirmąją kamerą jis tiekiamas tam tikru santykiu, kuris apskaičiuojamas:  $k_1 = Oras / Oras_2$ . Antroje kameroje oro srautas tiekiamas toks, koks nurodytas 3.4 skyriuje. Trečioje kameroje tiekiamas oro srautas apskaičiuojamas pagal santykį  $k_2 = Oras_3 / Oras_2$ .

Sudarant antrinio nusėdintuvo matematinį modelį reikia įvertinti, kad jame rašomos diferencialinės lygtys yra skystoms ir netirpioms bei inertiškoms frakcijoms, todėl skystų frakcijų lygtys DEE bloke rašomos pradžioje, o netirpių bei inertiškų frakcijų žemiau. Toliau pateikiamas nusodintuvo DEE blokas.



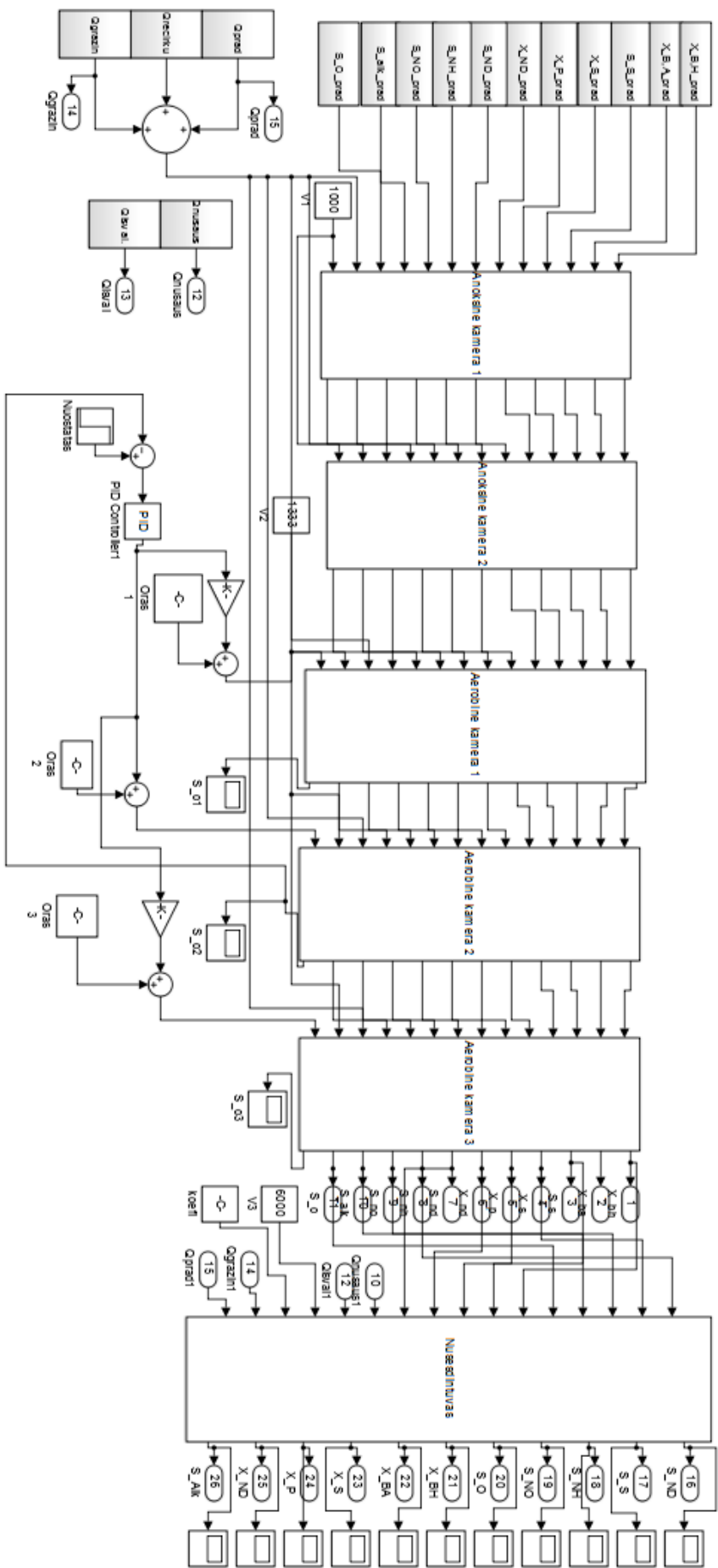
**3.3pav.** Nusėdintuvo DEE blokas

Kadangi priimta, kad kiekvienos medžiagos pradinė koncentracija apskaičiuojama pagal 14-tą formulę, imitaciniame modelyje sukuriamos papildomos sistemos, kurios leidžia apskaičiuoti pradines įtekančias koncentracijas. Sistemos pavyzdys pateiktas 3.4pav.



**3.4pav.** Pradinių koncentracijų apskaičiavimas

Žemiau 3.5 pav. pateikiamas aktyviojo dumblo imitacinis modelis (ASM1) Matlab/Simulink aplinkoje.

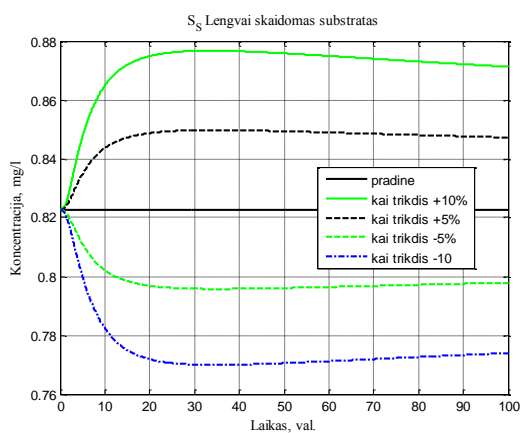


3.5 pav. ASMI imitacinis modelis Matlab/Simulink aplinkoje

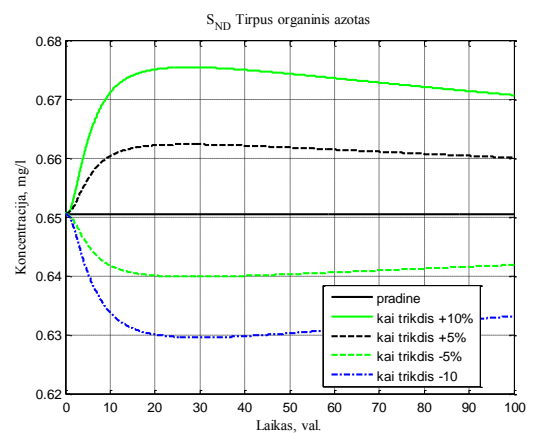
### 3.2 Pereinamųjų procesų tyrimas

Imitacinio modelio pagalba buvo atlikti aktyviojo dumblo pereinamųjų procesų tyrimai, kai veikia būdingiausi (maksimalūs ir vidutiniai) trikdžiai. Parametrams  $Q_{prad}$  (atitekančių nuotekų srautas),  $S_S$  (lengvai skaidantis substratas),  $S_{SH}$  (tirpus amonis) buvo paduoti atitinkamai + 5%, +10%, - 5%, -10%, trikdžiai. Trikdis skaičiuojamas nuo pradinės parametro vertės nurodytos lentelėje (3.1 lentelė). Imitaciniame modelyje skaičiavimo laikas naudojamas 100 val.

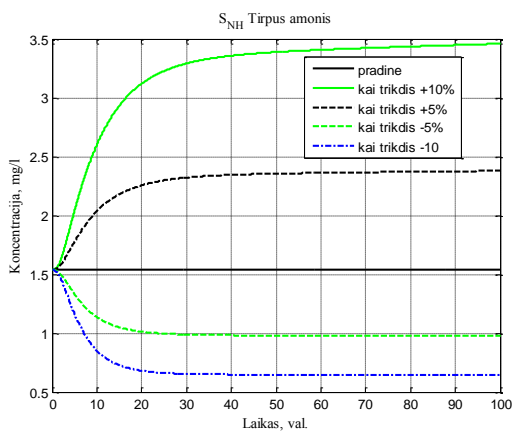
Žemiau pateikiami nusodintuve vykstančių pereinamųjų procesų grafikai, kai trikdis įtakoja atitekančių nuotekų srautą ( $Q_{prad}$ ).



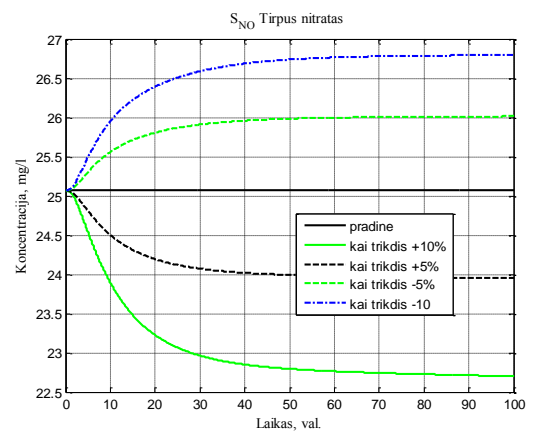
3.6 pav.  $S_S$  lengvai skaidomas substratas



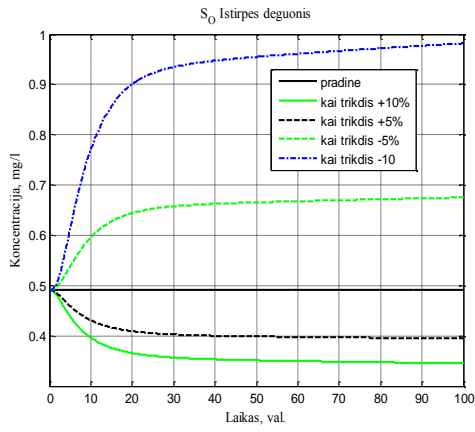
3.7 pav.  $S_{ND}$  tirpus organinis azotas



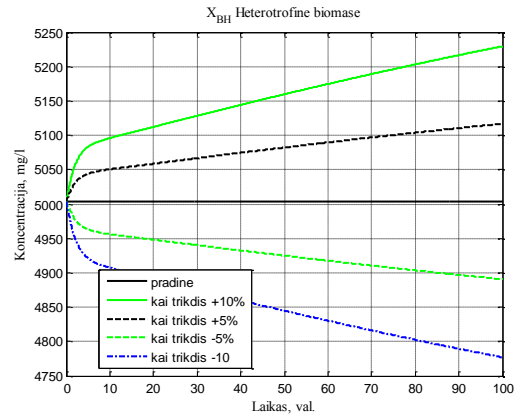
3.8 pav.  $S_{NH}$  tirpus amonis



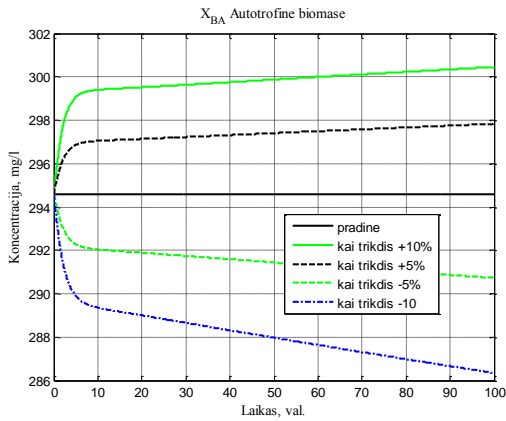
3.9 pav.  $S_{NO}$  tirpus nitratas



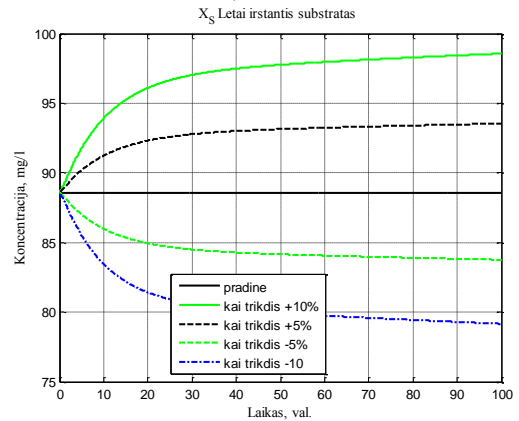
3.10pav.  $S_O$  īstirpēs deguonis



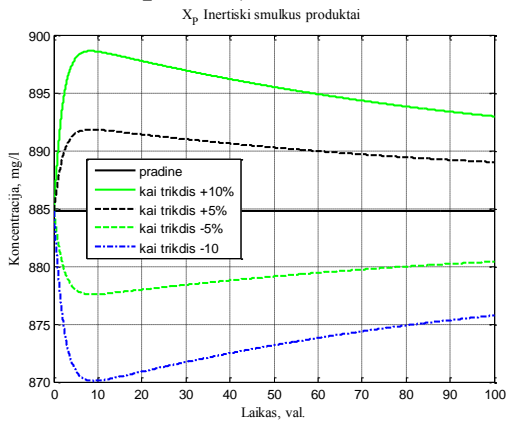
3.11pav.  $X_{B,H}$  heterotrofīnē biomasē



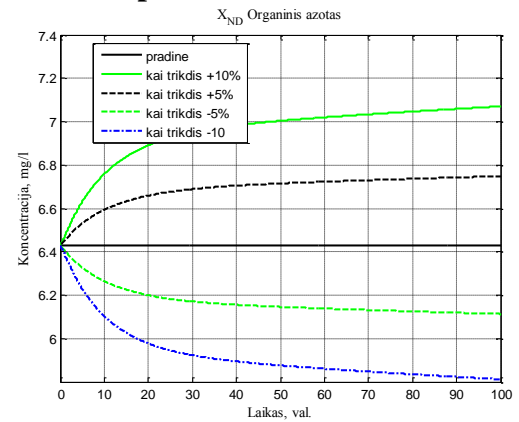
3.12pav.  $X_{B,A}$  autotrofīnē biomasē



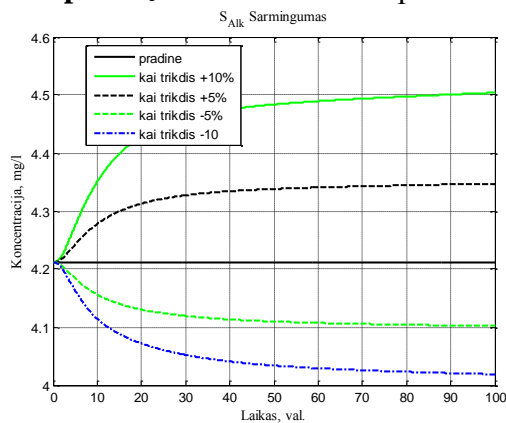
3.13pav.  $X_S$  lētai īrstantis substrāts



3.14pav.  $X_P$  inertišķi smulkūs produktai

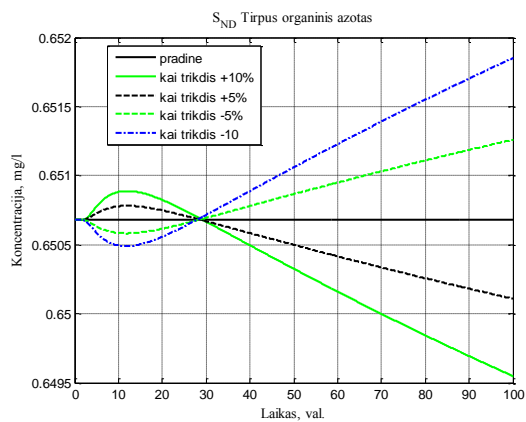


3.15pav.  $X_{ND}$  organiskais azots

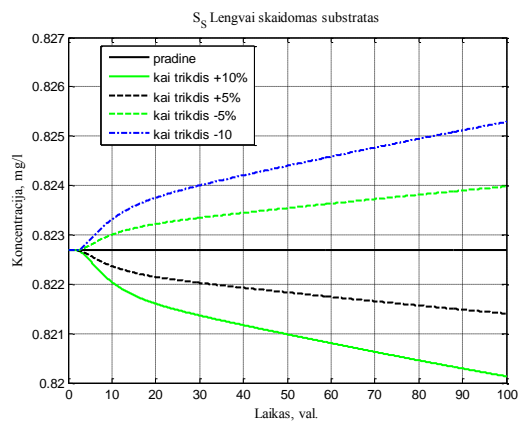


3.16pav.  $S_{Alk}$  šarmingumas

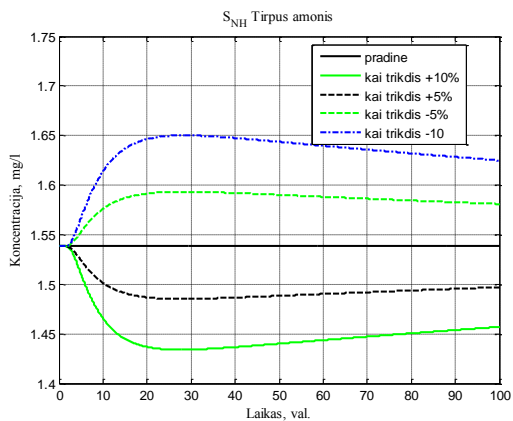
Toliau pateikiami pereinamųjų procesų grafikai, kai trikdys įtakoja lengvai skaidomą substratą ( $S_S$ ).



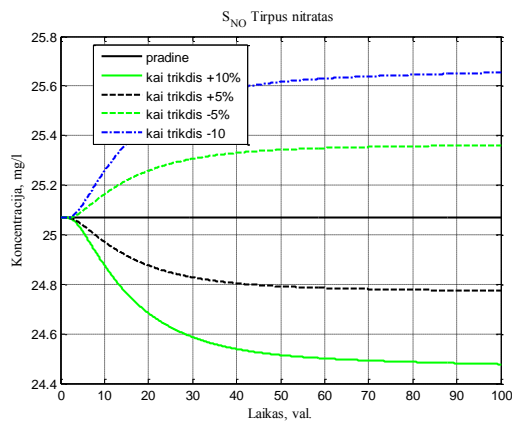
3.17 pav.  $S_{ND}$  tirpus organinis azotas



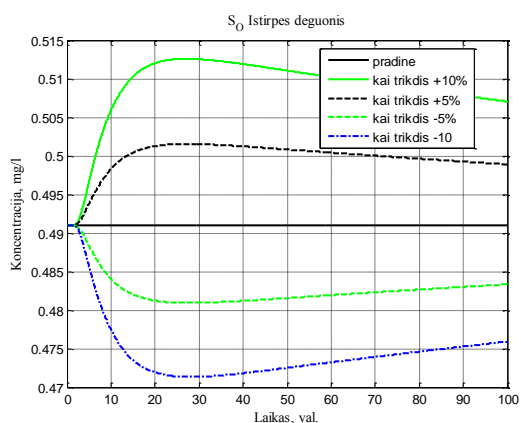
3.18 pav.  $S_S$  lengvai skaidomas substratas



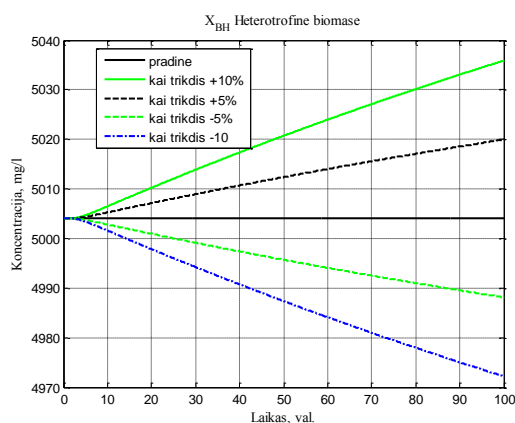
3.19 pav.  $S_{NH}$  tirpus amonis



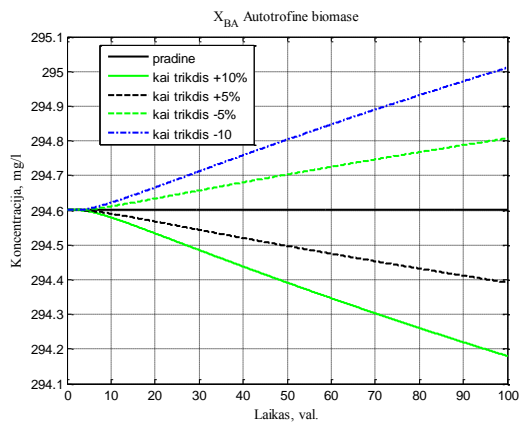
3.20 pav.  $S_{NO}$  tirpus nitratas



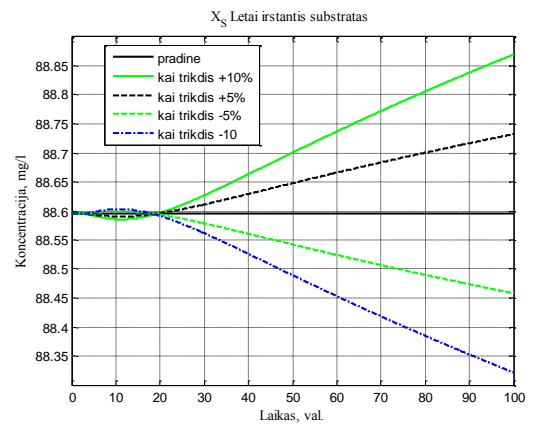
3.21 pav.  $S_O$  ištiręs deguonis



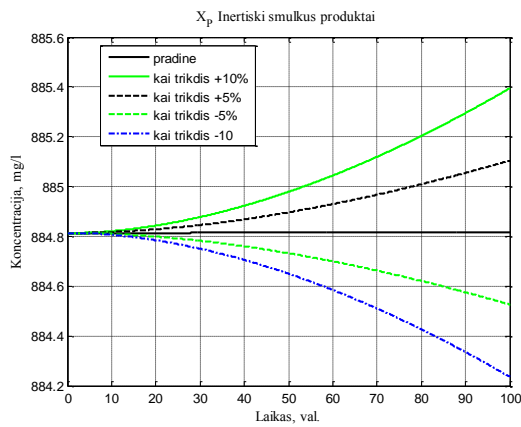
3.22 pav.  $X_{B,H}$  heterotrofinė biomasa



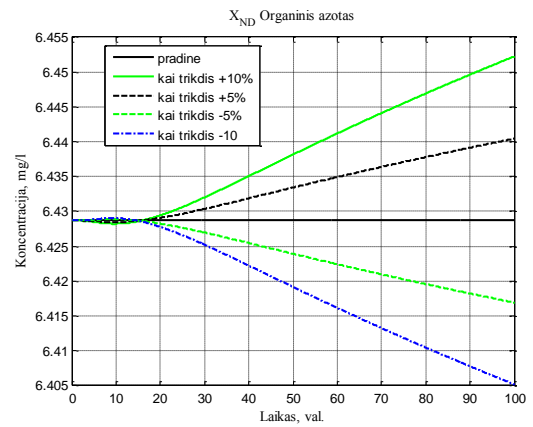
3.23pav.  $X_{B,A}$  autotrofinė biomase



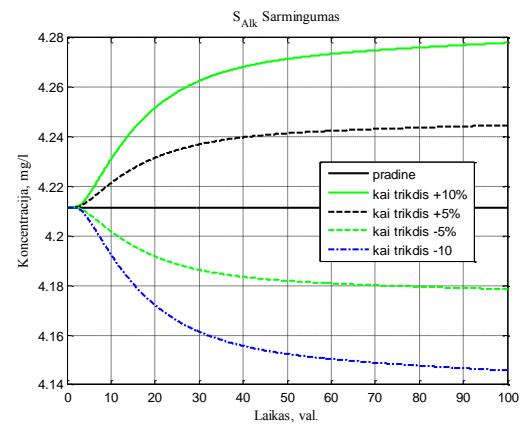
3.24pav.  $X_S$  letai irstantis substratas



3.25pav.  $X_P$  inertiški smulkūs produktai



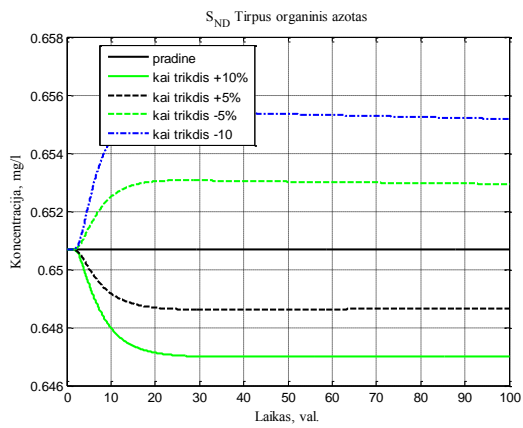
3.26pav.  $X_{ND}$  organinis azotas



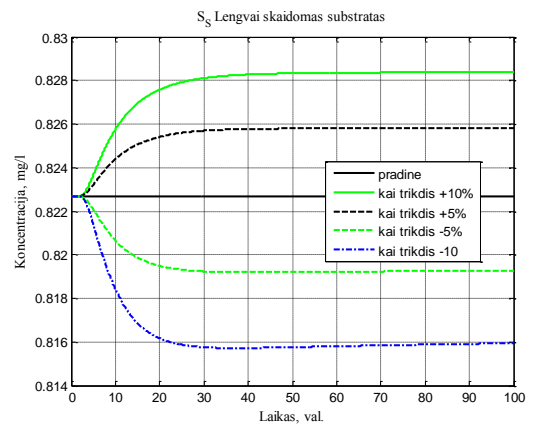
3.27pav.  $S_{Alk}$  šarmingumas

Toliau pateikiami pereinamųjų procesų grafikai, kai trikdys įtakoja tirpujį amonį ( $S_{NH}$ ).

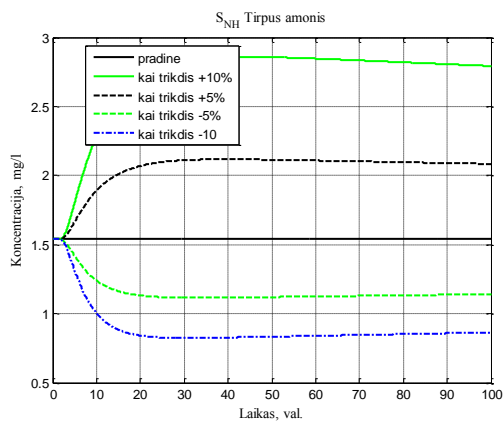




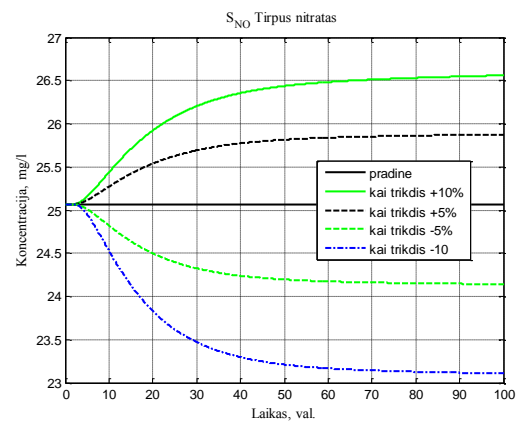
3.28pav.  $S_{ND}$  tirpus organinis azotas



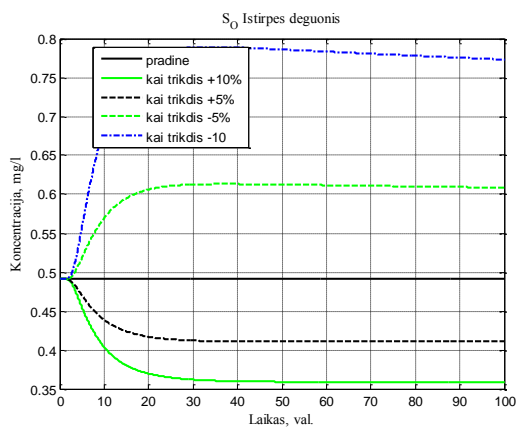
3.29pav.  $S_S$  lengvai skaidomas substratas



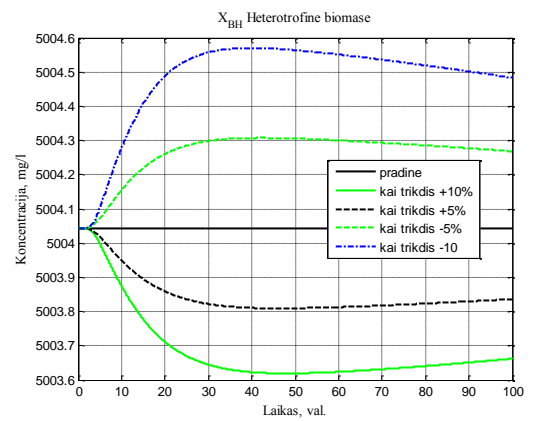
3.30pav.  $S_{NH}$  tirpus amonis



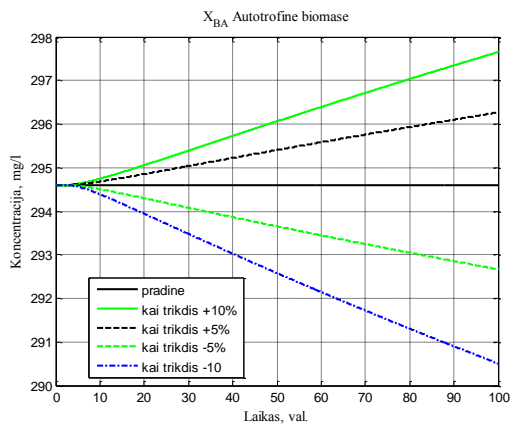
3.31pav.  $S_{NO}$  tirpus nitratas



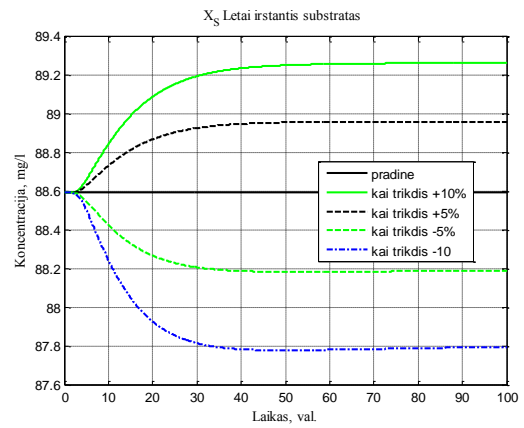
3.32pav.  $S_O$  ištirpęs deguonis



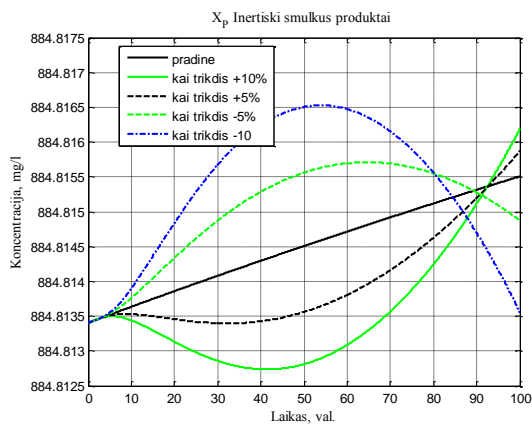
3.33pav.  $X_{B,H}$  heterotrofinė biomasa



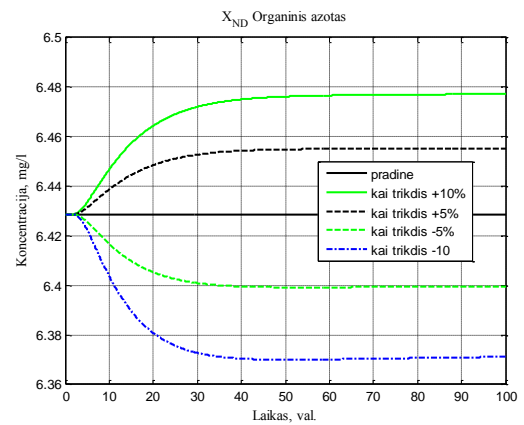
3.34pav.  $X_{B,A}$  autotrofinė biomasa



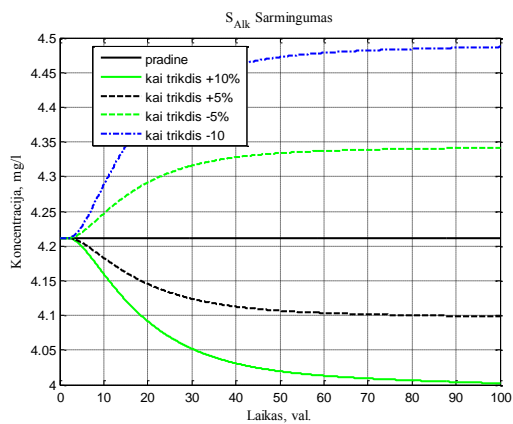
3.35pav.  $X_S$  lėtai irstantis substratas



3.36pav.  $X_P$  inertiški smulkūs produktai



3.37pav.  $X_{ND}$  organinis azotas



3.38pav.  $S_{Aik}$  šarmingumas

Atlikus pereinamųjų procesų tyrimą, galima stebėti kiekvienos medžiagos reakcijos pokytį nuo pradinių sąlygų. Tokie tyrimai aktualūs, norint optimizuoti nuotekų valymo įrenginius ir taip sumažinti teršalų kiekį nutekamiesiems vandenims. Kadangi biologinio nuotekų valymo įrenginiuose vykstantys procesai yra lėti, tyrimui naudojamas 100 val. intervalas, tuomet daugelis biotechnologinių procesų pasiekia nusistovėjusią būseną. Didžiausią įtaką vykstantiems biotechnologiniams procesams turi įtenkantis srautas ( $Q_{prad}$ ). Veikiant maksimaliems ir vidutiniams trikdžiams medžiagų koncentracijų pokytis didžiausias.

### 3.3 Leistinos teršalų normos

Atsižvelgiant į aplinkosauginius reikalavimus ištekantioms nuotekoms, medžiagų koncentracijos turi neviršyti leistinių normų. Tirpaus amonio  $S_{NH}$  koncentracija neturi viršyti normos  $S_{NH} < 4 \text{ mg/l}$ . Cheminio deguonies suvartojimo ( $COD$ ) leistina norma yra  $COD < 100 \text{ mg/l}$ . Bendras azoto ( $N$ ) kiekis neturi viršyti  $N < 18 \text{ mg/l}$ . Biocheminio deguonies sunaudojimo ( $BOD$ ) leistina norma yra  $BOD < 10 \text{ mg/l}$ . [4]

Leistinas ištekamųjų nuotekų koncentracijas skaičiuosime pagal šias formules:

Bendras azoto kiekis:  $N = S_{NO} + S_{NK}$ , kur  $S_{NK}$  lygus:

$$S_{NK} = S_{NH} + S_{ND} + X_{ND} + i_{XB}(X_{B,H} + X_{B,A}) + i_{XP}X_P \quad (15)$$

Biocheminis deguonies sunaudojimas apskaičiuojamas:

$$BOD = 0,25 * (S_S + X_S + (1 - f_p) * (X_{B,H} + X_{B,A})) \quad (16)$$

Cheminis deguonies sunaudojimas apskaičiuojamas:

$$COD = S_S + X_S + X_{B,H} + X_{B,A} + X_P \quad (17)$$

Skaičiavimai atliekami panaudojus koncentracijų reikšmes iš nusodintuvo pereinamųjų procesų reikšmių ir pradinių koncentracijų, kurios yra pateiktos priede (Priedas Nr. 1). Įvertinus, kad dalis dumblo grąžinama į anoksines kameras, ištekamų nuotekų suskaičiuotos teršalų koncentracijos yra:

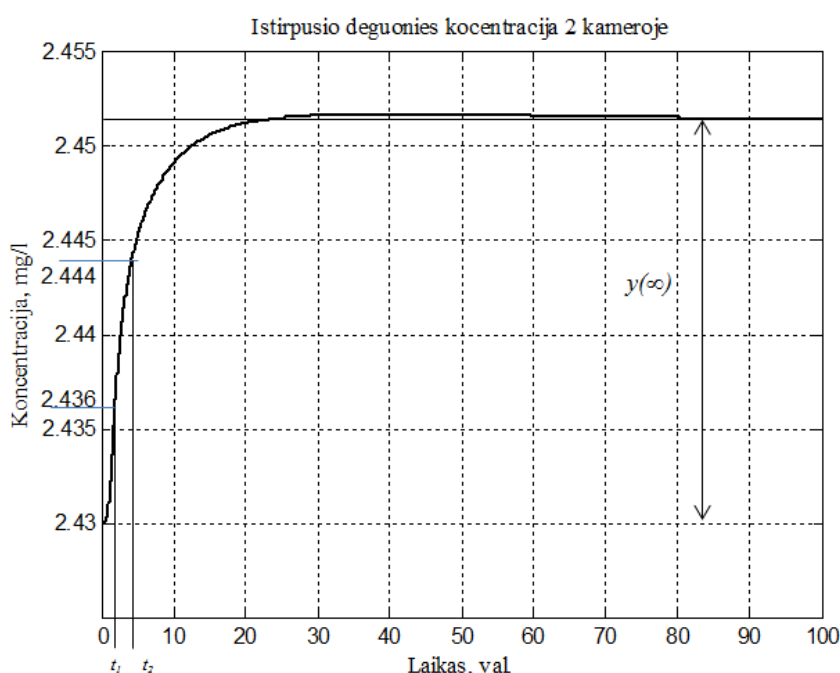
$$N = 12,52 \text{ mg/l}; \quad BOD = 2,78 \text{ mg/l}; \quad COD = 13,09 \text{ mg/l}; \quad S_{NH} = 1,54 \text{ mg/l}.$$

Iš rezultatų matyti, kad teršalų kiekiai neviršija leistinių normų.

### 3.4 Ištirpusio deguonies koncentracijos ARS

Aerobinį rezervuarą sudaro trys kameros, joms paduodamas skirtingas oro srautas. Oras į pirmąją ir trečiąją kameras paduodamas tam tikru santykiu, kuris yra nurodytas 3.1 skyriuje. Antrosios aerobinės kameros oro srautas ir ištirpusio deguonies koncentracija naudojama tokia, kokia yra nurodyta literatūroje[4]. Pirmoje kameroje oro srautas yra  $8150 \text{ m}^3/\text{val.}$ , o palaikoma ištirpusio deguonies koncentracija priklauso nuo antrosios kameros. Antros kameros oro srautas  $7850 \text{ m}^3/\text{val.}$ , IDK koncentracija  $2,43 \text{ mg/l}$ . Trečioje kameroje oro srautas turi būti mažiausias, atitinkamai  $3150 \text{ m}^3/\text{val.}$ , IDK priklauso nuo santykio. Šioje kameroje ištirpusio deguonies koncentracija mažiausia. IDK plaikymui antroje kameroje naudosisime vienkontūrę ARS su neigiamu grįžtamoju ryšiu.

Padidinus oro srautą antroje kameroje 5% procentais nuo jo pradinės vertės, gavome reakcijos kreivę, iš kurios skaičiuosime pereinamojo proceso parametrus. Imitaciniame modelyje naudojamas vienas PI reguliatorius, kuris palaikys užduotą ištirpusio deguonies koncentraciją antroje kameroje. Gauta reakcijos kreivė pateikiama 3.39pav..



3.39pav. Reakcijos kreivė

Pereinamojo proceso parametrus skaičiuosime taikant C.L. Smith metodą, kuris remiasi modelio ir proceso reakcijos kreivės sutapimu dviuose taškuose greito kitimo srityje[15].

Reakcijos kreivės taškai randami:  $y(t_1)=0,283 y(\infty)$  ir  $y(t_2)=0,632 y(\infty)$ .

Tada, parametrai  $t_1$  ir  $t_2$  lygus:  $t_1=1,61 \text{ val.}$ ;  $t_2=4,19 \text{ val.}$

Laiko pastovioji –  $T_{pr} = \frac{3}{2}(t_2 - t_1) = 3,87 \text{ val.}$ ; Vėlinimas –  $\tau_{pr} = t_2 - T_{pr} = 0,32 \text{ val.}$ ;

Stiprinimo koeficientas –  $k_{pr} = \frac{0,0216}{5} = 0,0043 \text{ mg/\%}$

Regulatoriaus derinimo parametrus skaičiuosime naudojant *Ziegler* ir *Nichols* metodą.

Derinant buvo naudotos modifikuotos derinimo taisyklės kai:  $0,1 < \frac{\tau_{pr}}{T_{pr}} < 1,0$ . Parametrus

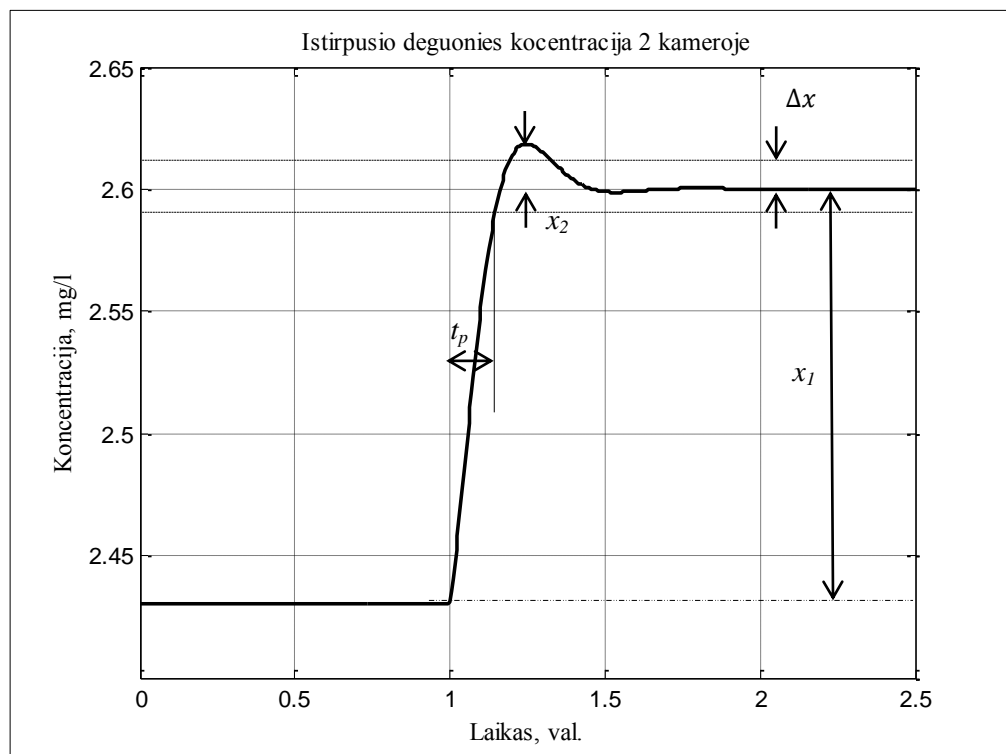
skaičiuosime PI reguliatoriui, kai:

$$K_r = \frac{T_{pr}}{K_{pr}\tau_{pr}} \left( 1 + \frac{\tau_{pr}}{3T_{pr}} \right), \quad ; \quad (18)$$

$$T_i = \frac{30 + 3\tau_{pr}/T_{pr}}{9 + 20\tau_{pr}/T_{pr}} \tau_{pr}, \quad ; \quad (19)$$

Atliekami skaičiavimai:  $K_r = \frac{T_{pr}}{K_{pr}\tau_{pr}} \left( 1 + \frac{\tau_{pr}}{3T_{pr}} \right) = 2881,75$ ;  $T_i = \frac{30 + 3\tau_{pr}/T_{pr}}{9 + 20\tau_{pr}/T_{pr}} \tau_{pr} = 2,823$

Pateikiamas ARS sistemos pereinamasis procesas ( 3.40 pav.)



**3.40pav.** ARS sistemos pereinamasis procesas

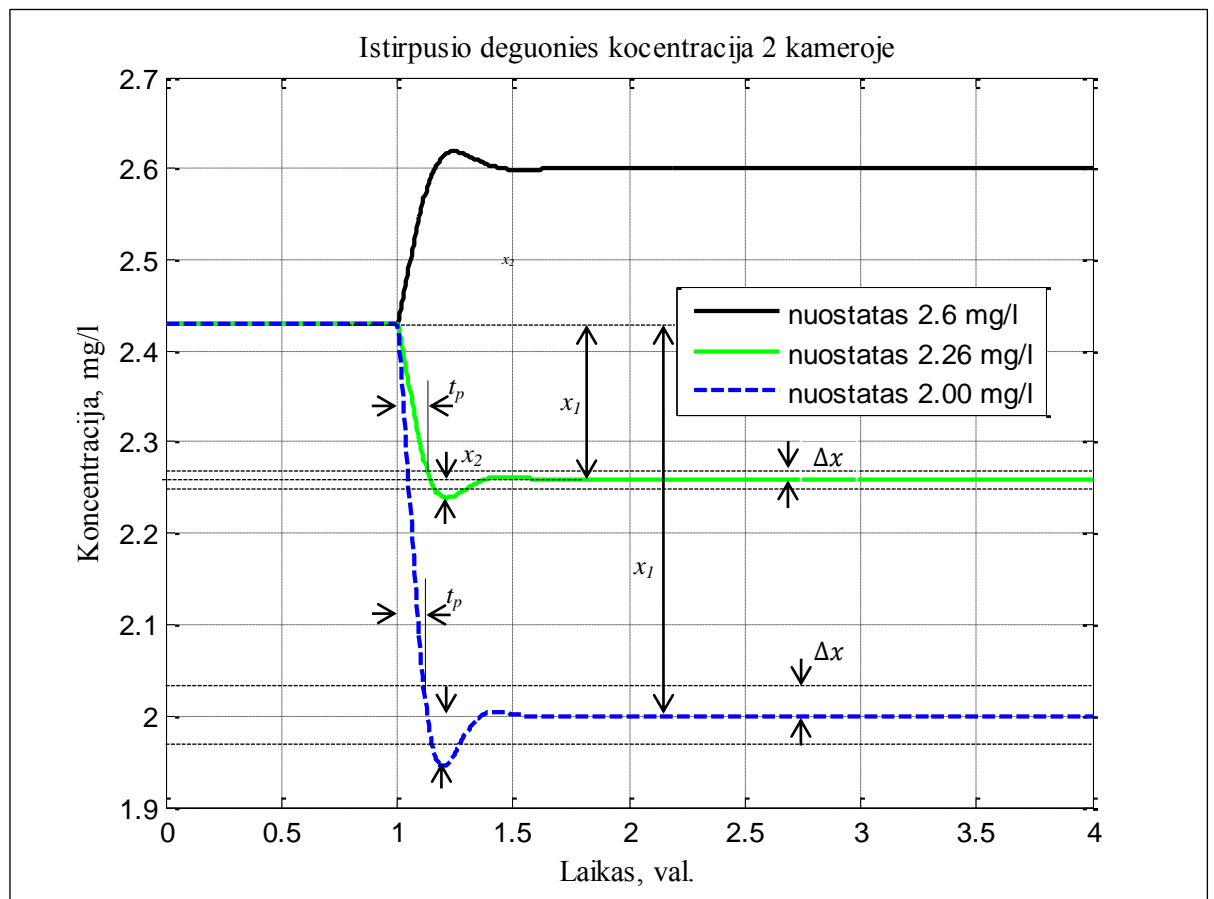
Regulatoriaus derinimo parametrai buvo skaičiuoti ir kitais derinimo metodais, tačiau geriausias rezultatas gautas *Ziegler* ir *Nichols* metodu. Skaičiuojant *Kappa-Tau* metodu, gautas ilgas reguliavimo laikas, o skaičiuojant *ITAE* derinimo metodu gautas didesnis perreguliavimas lyginant su *Ziegler* ir *Nichols* metodu.

Iš gautų ARS pereinamųjų procesų grafikų, skaičiuosime pereinamojo proceso kokybinius parametrus. Rasime santykinę dinaminę nuokrypį, reguliavimo trukmę ir leistiną statinę paklaidą.

$$\sigma = \frac{x_2}{x_1} 100\% = \frac{0,0195}{0,17} 100\% = 11,5\%; \quad x_2=0,0195 \text{ (mg/l)}; \quad x_1=0,17 \text{ (mg/l)}; \quad t_p=0,15 \text{ (val)};$$

$$\Delta x = 0,0085 \text{ (mg/l)}.$$

Norint įsitikint, kad sistema veikia stabiliai, buvo atlikti bandymai keičiant nuostatą ir paduodant į sistemą trikdį. Pasirenkamos tris skirtingos ištirpusio deguonies koncentracijos vertės t.y. 2.6 mg/l, 2.26 mg/l ir 2 mg/l. Bandymų rezultatai pateikti 3.41 pav. ir 3.42pav..



**3.41pav.** ARS sistemos pereinamieji procesai, kai keičiamas nuostatas

Iš gautų rezultatų paskaičiuosime regulatoriaus pereinamojo proceso kokybinius parametrus, kai nuostatas lygus 2,26 mg/l.

$$\sigma = \frac{x_2}{x_1} 100\% = \frac{0,0205}{0,17} 100\% = 12,07\%; \quad x_2=0,0205 \text{ (mg/l)}; \quad x_1=0,17 \text{ (mg/l)}; \quad t_p=0,16 \text{ (val)};$$

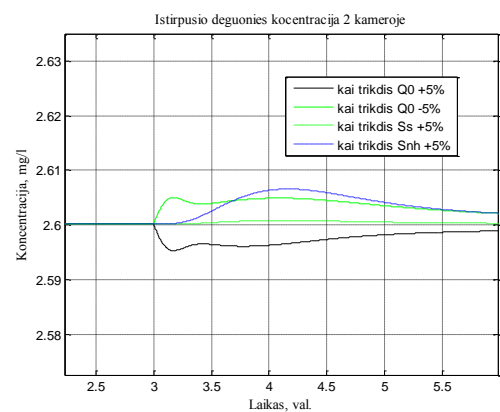
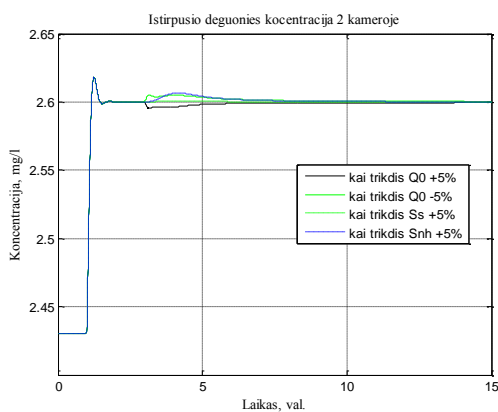
$$\Delta x = 0,0085 \text{ (mg/l)}.$$

Regulatoriaus pereinamojo proceso kokybiniai parametrai, kai nuostatas lygus 2,00 mg/l.

$$\sigma = \frac{x_2}{x_1} 100\% = \frac{0,0545}{0,43} 100\% = 12,67\%; \quad x_2=0,0545 \text{ (mg/l)}; \quad x_1=0,43 \text{ (mg/l)}; \quad t_p=0,13 \text{ (val)};$$

$$\Delta x = 0,0215 \text{ (mg/l)}.$$

Ties 3 val. buvo padidintas +5% ir sumažintas -5% įtekantis nuotekų srautas ( $Q_{prad}$ ), bei padinta tirpaus amonio ( $S_{NH}$ ) ir lengvai skaidomo substrato ( $S_S$ ) koncentracijos +5%. Pereinamieji procesai pateikti 3.42pav..



**3.42pav.** ARS sistemos pereinamasis procesas, kai veikia trikdžiai

Iš grafikų matyti, kad reguliatorius palaiko reikiama ištirpusio deguonies koncentraciją, kai yra pakeičiamas nuostatas ir veikiant trikdžiui. Ištyrus skirtingo dydžio trikdžius ir nuostatus, nustatyta, kad sistema yra netiesinė (gaunasi skirtingi perreguliavimai). Todėl tokių sistemų valdymui, tikslinga būtų naudoti adaptyvųjų reguliatorių.

## Išvados ir rezultatai

1. Išanalizavus literatūroje pateiktas aktyviojo dumblo modelio (ASM1) diferencialines lygtis buvo sudarytas imitacinis modelis Matlab/Simulink aplinkoje.
2. Atlikus literatūros analizę, nustatytos pagrindinės biologinio nuotekų valymo valdymo problemos bei įvardinti pagrindiniai procesą įtakojantis trikdžiai.
3. Aktyviojo dumblo imitacinio modelio Matlab/Simulink aplinkoje pagalba iširta reakcija į skirtingus trikdžius. Buvo nustatyta, kad įtekančio nuotekų srauto pokytis ( $Q_{prad}$ ) daro didžiausią įtaką medžiagų koncentracijoms.
4. Sukurta ištirpusio deguonies koncentracijos palaikymo automatinio reguliavimo sistema (ARS), apskaičiuoti regulatoriaus pereinamųjų procesų kokybiniai parametrai. Iš apskaičiuoto perreguliavimo, matyti, kad sistema yra netiesinė.
5. Apskaičiuotas teršalų kiekis, kuris neviršija leistinų normų.



## Litertūros šaltiniai

1. Aquathrust high speed surface aerator.[interaktyvus]. [žiūrėta 2014 – 05-10]. Prieiga per internetą: [http://www.esi.info/detail.cfm/Corgin/Aquathrust-highspeed-surface-aerator/\\_/R-39941\\_ST163DD](http://www.esi.info/detail.cfm/Corgin/Aquathrust-highspeed-surface-aerator/_/R-39941_ST163DD)
2. Aeration methods.[interaktyvus]. [žiūrėta 2014 – 04-25]. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/Activated\\_sludge#Aeration\\_methods](http://en.wikipedia.org/wiki/Activated_sludge#Aeration_methods)
3. Michela Mulas. *Modelling and Control of Activated Sludge Processes*. 2006.
4. Optimal Management of Wastewater Systems.[interaktyvus]. [žiūrėta 2014 – 05-10]. Prieiga per internetą: <http://apps.ensic.inpl-nancy.fr/COSTWWTP/>
5. Jakštaitė A., Šimaitis R. *Biologinis nuotekų valymas aktyviuoju dumbliu: Aplinkos inžinerija*, Nr. 3, 1999.
6. David L. Russell, P., E. *Practical wastewater treatment*. Lilburn. Georgia, 2006.
7. M. Henze, C. P. Leslie Grandy, W. Gujer, G. V. R. Maris. *Activated Sludge Process Model No. 2d. Water Science and Technology*, 1999.
8. M. Henze, C. P. Leslie Grandy, W. Gujer, G. V. R. Maris. *Activated Sludge Process Model No. 1. Scientific and Technical Report*, 1987. London, UK.
9. C. F. Lindberg. *Control and estimation strategies applied to the activated sludge process*, System and Control Group, Uppsala University, Sweden, 1997.
10. V. Račys, D. Jankūnaitė, I. Urniežaitė *Pramoninių nuotekų valymas: Metodinė priemonė*. 2012.
11. Kaunelienė, L., Mačiulytė, L. *Sunkiųjų metalų kaupimasis karklų žilvičių (*Salix viminalis*), laistomų sąvartyno filtrate, audiniuose. Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba*, 2003, Nr. 3
12. Dapkienė M. *Mažų gyvenviečių nuotekų anaerobinių valymo proceso įvertinimas: Daktaro disertacija*, LŽŪU, Akademija, 2004.
13. R. Daunys *Nuotekų valymas*. Vilnius „Technika“. 2006.
14. R. Sedlak. *Phosphorus and nitrogen removal municipal wastewater treatment :principles and practise. 2nd edition*. Chelsea, Mich: Lewis Publishers, 1991.
15. Levišauskas. D. *Automatinio reguliavimo sistemų derinimas*. Mokomoji knyga. Vilnius: 2008
16. Activated sludge model. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-02-25]. Prieiga per internetą: [http://en.wikipedia.org/wiki/Activated\\_sludge\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/Activated_sludge_model)
17. Henze, M., Gujer, W., *Effluent Treatment Process Modeling*. 2006.

18. Skaisgirienė. A. *Biologiniai nuotekų valymo tyrimai naudojant fermentinius preparatus*. Daktaro disertacija. Vilnius. 2006.
19. Kusta A., Kustienė R., Matulaitis J. *Žemės ūkio vandentiekia*. Vilnius 1977.
20. Matuzevičius A. *Nuotekų valymas aktyviuoju dumbliu*. Vilnius: Technika, 1998.
21. Aerobinės nuotekų valymo sistemos. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-01-16]. Prieiga per internetą: <http://www.asu.lt/nm/l-projektas/mikroorganizmubio/48.htm>
22. Valymo įrenginių su aktyviuoju dumbliu valymo principai ir privalumai. [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-01-16]. Prieiga per internetą: <http://www.august.lt/lt/eksperto-nuomone/valymo-irenginiu-su-aktyvuuju-dumbliu-valymo-principas-ir-privalumai-i-ii>
23. Simulation Benchmark To Evaluate The Performance Of Advanced Control Techniques In Biological Wastewater Treatment Plants. [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-12-04]. Prieiga per internetą: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-66322001000100008&script=sci\\_arttext#fig2](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-66322001000100008&script=sci_arttext#fig2)
24. Ūsas, M. *Veikliojo dumblo apkrovų analizė bioplėveliniame buitinių nuotekų valymo įrenginyje*. Akademija 2009.
25. Elektros ir valdymo technologijos. Mokslinė konferencija. Kaunas 2007.
26. Description and Simulator Manual (COST Action 624 & COST)
27. Szabolcs S., Botond R., Abraham B. *Mathematical models for domestic biological wastewater treatment process*. Romania 2010.
28. Clifford W. R., Novak J., Gallagher D. *Mathematical modeling and evaluations of IFAS wastewater treatment processes for biological nitrogen and phosphorus removal*. Virginia 2002.

## Priedai

### Priedas Nr. 1

#### Pradinės koncentracijos kamerose

Medžiaga	Kameros					Matavimo vienetas
	1	2	3	4	5	
$X_{B,H}$	2551,81	2554,78	2558,97	2560,68	2559,98	mg/l
$X_{B,A}$	148,91	148,81	149,63	150,39	150,71	mg/l
$S_S$	2,82	1,41	1,10	0,93	0,822	mg/l
$X_S$	85,21	76,23	62,38	52,08	45,32	mg/l
$X_P$	448,40	449,25	450,38	451,52	452,65	mg/l
$X_{ND}$	5,42	4,99	4,23	3,65	3,28	mg/l
$S_{ND}$	1,29	0,91	0,82	0,73	0,65	mg/l
$S_{NH}$	9,43	9,95	6,34	3,03	1,53	mg/l
$S_{NO}$	16,93	15,89	19,77	23,39	25,06	mg/l
$S_{Alk}$	5,22	5,42	4,9	4,41	4,21	mg/l
$S_O$	0,00031	0,00036	1,71	2,43	0,49	mg/l

#### Pradinės koncentracijos nusėdintuve

Medžiaga		Matavimo vienetas
$S_{ND}$	0,65	mg/l
$S_S$	0,82	mg/l
$S_{NH}$	1,53	mg/l
$S_{NO}$	25,06	mg/l
$S_O$	0,49	mg/l
$X_{B,H}$	5004,04	mg/l
$X_{B,A}$	294,6	mg/l
$X_S$	88,59	mg/l
$X_P$	884,81	mg/l
$X_{ND}$	6,42	mg/l
$S_{Alk}$	4,21	mg/l