



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Biriosios azoto trąšos su mikroelementais

Baigiamasis magistro projektas

Justas Grinkevičius

Projekto autorius

Doc. dr. Rasa Šlinkšienė

Vadovė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Biriosios azoto trąšos su mikroelementais

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Konsultantai:

lekt. dr. Odeta Viliūnienė
Statybiniai sprendimai

prof. dr. Irena Pekarskienė
Ekonominiai skaičiavimai

prof. dr. Gintaras Denafas
Aplinkosauginis vertinimas

doc. dr. Dalia Nizevičienė
Darbuotojų sauga ir sveikata

Justas Grinkevičius

Projekto autorius / autorė

doc. dr. Rasa Šlinkšienė

Vadovė

asist. dr. Andrius Jaskūnas

Recenzentas

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Justas Grinkevičius

Baigiamojo projekto pavadinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autorius ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Justas Grinkevičius

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:
Cheminės technologijos fakulteto dekanas
Doc. dr. V. Kitrytė-Syrpa

Suderinta:
Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra
Prof. dr. I. Ancutienė
2024 m. kovo mėn. 18 d.

Dekano potvarkis Nr. V25-02-23, 2024 gegužės 15 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema	Biriosios azoto trąšos su mikroelementais
Darbo tikslas ir uždaviniai	Darbo tikslas – sukurti biriųjų azoto trąšų su mikroelementais gamybos technologiją. Darbo uždaviniai Išanalizuoti karbamido sintezės technologijas, dengimo būdus, naudojamą įrangą ir poreikį bei suvartojimą. Parinkti ir suderinti medžiagas, tinkamas karbamido dangai paruošti. Laboratorinėmis sąlygomis parinkti optimalią dangos sudėtį ir dengimo būdą bei įrangą. Suprojektuoti karbamido granuliuojamą gamybos ir dengimo technologiją bei išsamiai ją aprašyti. Atlikti inžinerinės dalies (įrangos, medžiagų ir šilumos srautų) balanso skaičiavimus. Atlikti statybinės ir ekonominės dalies skaičiavimus. Aprašyti galimus aplinkos ir darbo profesinės rizikos veiksnius. Grafinėje dalyje pateikti reikalingus (žemės sklypo plano, statinių, technologinės schemos ir pagrindinio aparato) A1 formato brėžinius. sukurti technologinę schemą skystosioms sudėtinėms specialiosioms trąšoms gaminti ir pateikti technologines rekomendacijas.
Reikalavimai ir sąlygos	Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanu 2024 m. kovo 6 d. potvarkiu Nr. V25-02-10 patvirtintuose „Pirmosios pakopos studijų programos Cheminė technologija ir inžinerija ir antrosios pakopos studijų programos Chemijos inžinerija baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodiniuose reikalavimuose“.

Vadovė doc. dr. Rasa Šlinkšienė 2024-03-04
(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas) (data)

Užduotį gavau: Justas Grinkevičius 2024-03-04
(studento vardas, pavardė) (parašas, data)

Grinkevičius, Justas. Biriosios azoto trąšos su mikroelementais. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Rasa Šlinkšienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Inžinerijos mokslai, Chemijos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: karbamidas, trąšos, mikroelementai, danga, technologija, chemija.

Kaunas, 2024. 95 p.

Santrauka

Karbamidas yra populiariausios biriosios azoto trąšos. Pagrindinė problema, su kuria susiduriama naudojant karbamido trąšas – azoto išsiplovimas į gruntinius vandenis. Pastaruosius 30 karbamido naudojimo metų yra siekiama sukurti įvairias naujas technologijas, kurios padėtų sukontroliuoti karbamido tirpumą dirvožemyje, taip sumažinant neigiamą šio cheminio junginio poveikį aplinkai.

Šio projekto tikslas yra remiantis literatūros duomenimis apie karbamido granuliuotą dengimo technologijas bei dangų gamybai naudojamas medžiagas parinkti tinkamas medžiagas kontroliuojamo veikimo dangos gamybai ir suprojektuoti kontroliuojamo veikimo granuliuoto karbamido gamybos technologiją.

Tiriamojame projekte dalyje karbamido granulės buvo dengiamos melasos pagrindo danga su įterptais mikroelementais, tokiu būdu ne tik sulėtinant karbamido elementų išsiplovimą, tačiau ir granuliuoto karbamido sudėtį praturtinant mikroelementais, kurie yra labai svarbūs augalų vegetacijai bei derlingumui. Šioje dalyje buvo ištirtos pagrindinės padengtų karbamido granuliuotų savybės: higroskopiškumas, granuliuotų stipris, piltinis bei sutankintas granuliuotų tankis, drėgmės kiekis granulėje bei kitos. Taip pat buvo atlikta SEM-EDS analizė, nurodanti karbamido granuliuotų padengimo kokybę.

Inžinerinėje projekte dalyje buvo atlikti technologiniai skaičiavimai pagrindiniam padengimo proceso įrenginiui – pseudo-verdančio sluoksnio dengėjui, sudaryti medžiagų balansai ir apskaičiuotas pirminio granuliuotų šilumokaičio-pašildytuvo šilumokaitos plotas. Remiantis skaičiavimų rezultatais buvo suprojektuotas pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginys, dangos tirpalo paruošimo, bei padengtų granuliuotų galutinio apdorojimo proceso technologijos. Taip pat buvo suprojektuotas karbamido gamybos pastatas su įrenginiais, bei sklypo planas, atlikti ekonominiai bei aplinkosauginiai skaičiavimai.

Darbuotojų saugos ir sveikatos projekto dalyje buvo atliktas profesinis rizikos vertinimas, įvertinta saugi gamyba, darbo higiena bei gaisrinė sauga. Remiantis galiojančiais gaisrinės saugos įstatymais buvo sudarytas evakuacijos planas su pagrindiniu bei atsarginiu evakuacijos keliu, sužymėtomis pavojingomis pastato zonomis bei gesinimo priemonėmis.

Grinkevičius, Justas. Bulk Nitrogen Fertilizers with Trace Elements. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Rasa Šlinkšienė; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering Sciences, Chemical Engineering

Keywords: Urea, Fertilizers, Microelements, Coating, Technology, Engineering.

Kaunas, 2024. 95 p.

Summary

Urea is the most popular bulk nitrogen fertilizers. The main problem encountered when using urea fertilizers is the leaching of elements into groundwater. The last 30 years of use of urea are aimed at developing various new technologies that would help control the solubility of urea in the soil, thereby reducing the negative impact of this chemical compound on the environment.

The aim of this project is to select suitable materials for the production of controlled-release coatings on the basis of literature data on urea pellet coating technologies and materials used in the production of coatings and to design a controlled-release technology for the production of granular urea.

In the research part of the project, urea granules were coated with a molasses-based coating with embedded microelectets, thus not only slowing down the leaching of urea elements, but also adding trace elements to the composition which are very important for the vegetation of plants and amount of yield. In this part, the main properties of coated urea granules were studied: hygroscopicity, strength of the granules, bulk and compacted density of granules, moisture content in the pellet and others. An analysis of SEM-EDS was also carried out, indicating the quality of coating urea granules.

In the engineering part of the project, technological calculations were carried out for the main installation of the coating process - the pseudo-boiling layer device, material balances were drawn up and the heat exchange area of the primary pellet heat exchanger-preheater was calculated. Based on the results of the calculations, a pseudo-boiling layer coating device, technologies for the preparation of the coating solution, as well as the final processing process of the coated granules were designed. An urea production building with facilities, as well as a plan of the surrounding plot design, also an economic and environmental calculations were also done.

In the occupational safety and health part of the project, an occupational risk assessment was carried out, safe production, occupational hygiene and fire safety were assessed. In accordance with the current fire safety legislation, an evacuation plan was drawn up with the main and backup evacuation road, marked with hazardous areas of the building and fire-fighting equipment locations.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	11
Santrumpų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Literatūros apžvalga	14
1.1. Trašos	14
1.2. Karbamidas.....	14
1.2.1 Karbamido sintezė	14
1.3. Karbamido sintezės technologijos.....	15
1.3.1. „Snamprogetti“ sintezės technologija.....	15
1.3.2. „Mitsui-Toastu“ pilno reciklo technologija.....	17
1.3.3. Karbamido sintezės be reciklo technologija.....	18
1.3.4. „Stamicarbon“ sintezės technologija.....	19
1.4. Karbamido panaudojimas	20
1.4.1. Žemės ūkis.....	20
1.4.2. Cheminių junginių gamyba	20
1.4.3. Automobilių pramonė.....	20
1.4.4. Medicina.....	21
1.4.5. Karbamido sunaudojimo ir pagaminimo statistiniai duomenys	21
1.5. Karbamido efektyvumo dirvožemyje didinimo būdai.....	22
1.5.1. Inhibitorių naudojimas.....	23
1.5.2. Kontroliuojamo veikimo dangos	23
1.6. Karbamido dengimo technologijos.....	23
1.6.1. Siera dengtos karbamido granulės.....	23
1.6.2. Fosforo akmens pagrindo danga.....	24
2. Tiriamoji dalis.....	26
2.1. Naudotos medžiagos.....	26
2.2. Naudota įranga.....	27
2.3. Metodika.....	28
2.3.1. Karbamido granulių frakcionavimas	28
2.3.2. Dangos pagrindo parinkimas	28
2.3.3. Kontroliuojamo veikimo dangos sintezė	29
2.3.4. Karbamido granulių padengimas.....	32
2.3.5. Karbamido granulių dangos analizė SEM-EDS metodu.....	34
2.3.6. Padengtų karbamido granulių savybių analizė	36
3. Inžinerinė dalis.....	40
3.1. Anglies dioksido dujų bei skysto amoniako paruošimas ir transportavimas.....	41
3.2. Karbamido sintezė	41
3.3. Dviejų laipsnių karbamido tirpalo distiliacija	42
3.4. Karbamido tirpalo forišgarinimo ir išgarinimo procesai	43
3.5. Granuliavimas.....	43
3.6. Granulių dengimas kontroliuojamo veikimo danga	44
3.6.1. Kontroliuojamo veikimo dangos paruošimas.....	44
3.6.2. Karbamido granulių pašildymas ir transportavimas.....	44

3.6.3.	Karbamido granulių padengimas pseudo-verdančio sluoksnio padengėjo įrenginyje	44
3.6.4.	Padengtų granulių džiovinimas ir sijojimas	45
3.6.5.	Granulių sandėliavimas ir transportavimas	46
3.6.6.	Technologinių įrenginių specifikacijos	46
3.7.	Statybiniai sprendimai	49
3.7.1.	Bendrieji duomenys	49
3.7.2.	Sklypo planas.....	50
3.7.3.	Projektuojamo karbamido sintezės pastato sprendimai.....	50
3.7.4.	Pastato konstrukcinė sandara.....	50
3.7.5.	Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų bei technologinių įrengimų sprendimai	51
3.8.	Technologiniai skaičiavimai.....	51
3.8.1.	Pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginio skaičiavimai	51
3.8.2.	Karbamido granulių padengimo etapo medžiagų balansas	55
3.8.3.	Karbamido granulių šilumokaičio-pašildytuvo šilumokaitos ploto skaičiavimai	57
3.9.	Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai.....	58
3.9.1.	Investicijos projekto įgyvendinimui	58
3.9.2.	Gamybos kaštai	60
3.9.3.	Netiesioginės išlaidos	62
3.9.4.	Veiklos sąnaudos	65
3.9.5.	Galutinio produkto kainos apskaičiavimas.....	66
3.9.6.	Pinigų srautai	66
3.9.7.	Pagrindiniai rodikliai	68
3.10.	Aplinkosauginis vertinimas	70
3.10.1.	Bendrieji duomenys.....	70
3.10.2.	Atliekos.....	72
3.10.3.	Oro tarša	73
3.10.4.	Vandens sunaudojimas ir nuotekų valymas	73
3.10.5.	Aplinkosauginio vertinimo apibendrinimas	74
4.	Darbuotojų sauga ir sveikata	75
4.1.	Projektuojamo objekto charakteristika	75
4.2.	Profesinės rizikos vertinimas.....	75
4.3.	Saugi gamyba	78
4.4.	Darbo higiena	79
4.5.	Gaisrinė sauga	80
	Išvados	82
	Literatūros sąrašas	83
	Priedai.....	86
1	priedas. Atsakingo dėstytojo patvirtinimas dėl „Statybiniai sprendimai“ dalies;	86
2	priedas. Atsakingo dėstytojo patvirtinimas dėl „Ekonominiai skaičiavimai“ dalies;	86
3	priedas. Atsakingo dėstytojo patvirtinimas dėl „Aplinkosauginis vertinimas“ dalies;	86
4	priedas. Atsakingo dėstytojo patvirtinimas dėl „Darbuotojų sauga ir sveikata“ dalies;	86
5	priedas. Padengtų karbamido granulių gamybos technologinė schema;	86
6	priedas. Pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginio brėžinys;.....	86
7	priedas. Pastato brėžinys su pjūviu, 1:200;	86
8	priedas. Karbamido gamybos teritorijos planas, 1:400;	86
9	priedas. Pastato evakuacijos planas, 1:200.....	86

Lentelių sąrašas

2.1 lentelė. Naudotos įrangos specifikacijos	27
2.2 lentelė. Karbamido granulių granulimetrinė sudėtis	28
2.3 lentelė. Mikroelementinių trąšų elementų kiekių žemutinės ribos.....	29
2.4 lentelė. „APC Mikro Forte 12“ mikroelementų mišinio sudėtis	30
2.5 lentelė. „APC Mikro Forte 13“ mikroelementų mišinio sudėtis	30
2.6 lentelė. Skirtingų mikroelementų mišinių tirpumo melasos tirpale analizė.....	31
2.7 lentelė. Melasos tirpalų bandinių sudėtis	31
2.8 lentelė. EDS analizės metodu nustatytos bandinių elementinės sudėtys	35
2.9 lentelė. Karbamido granulių drėgmės kiekio matavimo rezultatai	37
2.10 lentelė. Karbamido granulių stiprio matavimo rezultatai.....	37
2.11 lentelė. Karbamido granulių higroskopiškumo tyrimo rezultatai	38
2.12 lentelė. Karbamido granulių bandinių fizikinės savybės	39
3.1 lentelė. Padengtų karbamido granulių gamybos technologijos įrenginių specifikacijos	46
3.2 lentelė. Bendrieji sklypo ir statinio techniniai rodikliai	49
3.3 lentelė. Pradiniai pseudo-verdančio sluoksnio granulatoriaus bei srautų parametrai	52
3.4 lentelė. Kontroliuojamo veikimo dangos tirpalo sudėtis išreikšta procentine masės dalimi	56
3.5 lentelė. Atskirų dangos komponentų kiekiai reikalingi gauti 1 toną padengtų granulių.....	56
3.6 lentelė. Granulių padengimo etapo medžiagų balansas	57
3.7 lentelė. Pradiniai duomenys	57
3.8 lentelė. Projektui numatomų išlaidų bei investicijų dydžiai	59
3.9 lentelė. Technologinių įrenginių kiekiai bei pirkimo kainos	59
3.10 lentelė. Padengtų karbamido granulių gamybos apimties planas.....	60
3.11 lentelė. Išlaidos procese naudojamoms medžiagoms	60
3.12 lentelė. Tiesioginės darbo užmokesčio išlaidos	61
3.13 lentelė. Išlaidos transportavimo įrenginių variklių sunaudotai elektros energijai.....	62
3.14 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui.....	62
3.15 lentelė. Netiesioginės išlaidos šaltam ir šiltam vandeniui.....	63
3.16 lentelė. Netiesioginės išlaidos patalpų ir teritorijos apšvietimui.....	63
3.17 lentelė. Netiesioginės išlaidos technologinių įrenginių nusidėvėjimui	63
3.18 lentelė. Netiesioginių išlaidų sąmatas	64
3.19 lentelė. Bendras gamybos kaštų ir netiesioginių išlaidų sąmatas.....	64
3.20 lentelė. Veiklos sąnaudų sąmatas	65
3.21 lentelė. Paskolos palūkanų apmokėjimo planas	65
3.22 lentelė. Galutinės produkcijos 5-iems metams kainos	66
3.23 lentelė. Įmonės pelno ataskaita	66
3.24 lentelė. Finansinės būklės pakitimų ataskaita	67
3.25 lentelė. Paprastų ir diskontuotų pinigų srautai (GPS)	67
3.26 lentelė. Ekonominio vertinimo rodikliai	68
3.27 lentelė. Finansiniai ekonominiai rodikliai.....	68
3.28 lentelė. Projekto finansinis balansas, tūkst. Eur.....	69
3.29 lentelė. Lūžio taško skaičiavimo rezultatai	69
3.30 lentelė. Duomenys apie naudojamas žaliavas bei produktą	71
3.31 lentelė. Sunaudojamos bei pagaminamos elektros energijos kiekis per metus.....	72
3.32 lentelė. Gamybos metu susidarantių atliekų šaltiniai, kodai, kiekis ir apdorojimo metodas....	72

3.33 lentelė. Teršalų susidarymo šaltinis, kiekis bei apdorojimo metodas	73
3.34 lentelė. Sunaudojamo ir pašalinamo įmonės vandens kiekiai per 2024 metų balandžio mėn. .	74
4.1 lentelė. Profesinės rizikos veiksniai ir prevencinės priemonės	76
4.2 lentelė. Karbamido gamybos procese naudojamų pavojingų žaliavų gaisrinio pavojingumo rodikliai.....	77
4.3 lentelė. Karbamido granulių gamybos pavojingos zonos ir kategorijos	78
4.4 lentelė. Komfortinės darbo aplinkos sąlygos	80

Paveikslų sąrašas

1.1 pav. „Snamprogetti“ karbamido sintezės technologinė schema	16
1.2 pav. „Mitsui Toastu“ karbamido sintezės technologinė schema	17
1.3 pav. Karbamido sintezės be reciklo technologinė schema.....	18
1.4 pav. „Stamicarbon“ karbamido sintezės etapo technologinė schema	19
1.5 pav. Pasaulinis pagaminto karbamido kiekis per metus milijonais metrinių tonų nuo 2009 iki 2022 metų	21
1.6 pav. Karbamido gamybos kiekis pagal regionus 2022 metais	22
1.7 pav. Trašų sudėtyje turinčių azoto pasaulinis sunaudojimas 2021 metais, pagal produktą	22
1.8 pav. Karbamido granulių dengimo sieros ir vaško dangomis technologija	24
1.9 pav. Karbamido dengimo fosforo akmens pagrindo danga laboratorijoje technologinė schema	25
2.1 pav. Laboratorinis pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginys „O-Hara“	32
2.2 pav. Karbamido granulių bandiniai: a) nedengtos karbamido granulės; b) 20%/20% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; c) 5%/25% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; d) 20%/20% danga būgniniame rotaciniame granuliatoriuje padengtos granulės.....	33
2.3 pav. SEM metodo metu padarytos 30 kartų priartintos karbamido granulių bandinių nuotraukos: a) nedengtos karbamido granulės; b) 20%/20% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; c) 5%/25% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; d) 20%/20% danga būgniniame rotaciniame granuliatoriuje padengtos granulės	34
2.4 pav. EDS elementų žemėlapis: a) nedengtos karbamido granulės; b) 20%/20% danga pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; c) 5%/25% danga pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; d) 20%	36
3.1 pav. Kontroliuojamo veikimo danga su mikroelementais padengtų karbamido granulių gamybos technologinė schema.....	40
3.2 pav. Karbamido sintezės kolonos brėžinys su pjūviais	42
3.3 pav. Pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginio brėžinys su pjūviais	45
3.4 pav. H-X diagrama	53
3.5 pav. Diskontuotų bendrų ir metinių pinigų srautai	68
3.6 pav. Padengtų karbamido granulių lūžio taškas.....	70
4.1 pav. Projektuojamų karbamido granulių gamybos patalpų evakuacijos planas.....	81

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

Doc. – docentas;

Dr. – daktaras

Lekt. - lektorius

Asist. – asistentas;

KT – karbamido tirpalas;

A.A.D. – anglies amonio druskos;

KG – karbamido granulės;

VG – vandens garai;

VGK – vandens garų kondensatas;

AV – aušinamasis cirkuliacinis vanduo.

Įvadas

Šiame baigiamajame magistro projekte yra projektuojama karbamido granulių padengimo technologija naudojant melasos ir mikroelementų tirpalą kaip kontroliuojamo veikimo dangą. Šios dangos esmė yra sukontroliuoti itin greitą karbamido granulių tirpimą dirvožemyje, kuris turi didelę neigiamą įtaką visai ekosistemai (dirvožemiui, vandenims, orui). Nuolat augantis karbamido trąšų poreikis bei besikeičiančios aplinkos apsaugo įstatyminės tvarkos, priverčia karbamido gamybos įmones ieškoti įvairių inovatyvių būdų kaip būtų galima prisidėti prie tvaraus karbamido granulių gamybos bei naudojimo procesų.

Šiame projekte daugiausiai dėmesio yra skiriama kontroliuojamo veikimo dangos gamybai bei padengimo technologijai. Pagrindinę karbamido trąšų vartojimo problemą buvo pasirinkta spręsti inovatyviais būdais – į kontroliuojamo veikimo dangos tirpalą įterpiami įvairūs mikroelementai, atliekantys svarbų vaidmenį įvairiose augalų vystymosi stadijose.

Šio projekto esmė yra parodyti, kad pagrindinę karbamido trąšų naudojimo problemą galima išspręsti moderniais metodais. Inovatyvia kontroliuojamo veikimo danga padengtos granulės sumažintų neigiamą poveikį aplinkos taršai, o tuo pačiu metu augalams papildomai suteiktų itin svarbių maistinių medžiagų įvairovę, kurią esant poreikiui būtų galima paprastai modifikuoti. Tokio tipo trąšos būtų naudingos žemės ūkio produktyvumo padidinimui bei rizikos aplinkos užterštumui sumažinimui.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Trąšos

Trąšos - tai cheminiai junginiai, savo sudėtyje turintys įvairių elementų, kurie yra reikalingi augalo augimo ir vystymosi stadijose. Iš augalijos žmonės gauna didelę dalį maisto, įvairios sudėties pluoštus, augalai taip pat yra naudojami būsto statyboms bei suteikia galybę kitų privalumų. Žmonių tikslas – užauginti kuo kokybiškesnį ir didesnį kiekį derliaus su mažiausiomis pastangomis. Šiam tikslui pasiekti yra naudojamos įvairios sudėties trąšos [1].

Pagrindiniai trąšose esantys elementai yra azotas, fosforas ir kalis. Azotas yra laikomas svarbiausia maistine medžiaga augalui, jo yra pasisavinama daugiau nei bet kurio kito elemento. Azotas (N) yra būtinas norint užtikrinti, kad augalai būtų sveiki vystymosi stadijoje ir maistingi derliaus nuėmimo metu. Azotas yra būtinas baltymų susidarymui, o šie sudaro didelę dalį gyvų organizmų audinių [1,2].

Antras iš trijų pagrindinių trąšų elementų yra fosforas (P_2O_5). Šis elementas yra susijęs su augalo gebėjimu naudoti ir kaupti energiją, taip pat yra būtinas fotosintezės procesui. Fosforas yra itin svarbus augalo vystymosi stadijos pradžioje, nes tuo metu augalui yra reikalingas didžiausias energijos kiekis [1,2].

Kalis (K_2O) yra trečiasis pagrindinis komercinių trąšų maistinių medžiagų elementas. Kalis augalams būtinas siekiant sustiprinti augalo gebėjimą atsispirti ligoms ir atliekų svarbų vaidmenį didinant pasėlių derlių ir bendrą jo kokybę. Šio elemento svarba yra labiausiai pastebima esant šaltam arba sausam orui. Kalis taip pat stiprina augalo šaknų sistemą ir apsaugo nuo vėtimų [1,2].

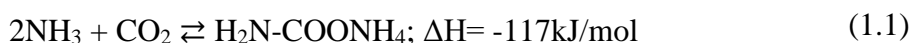
Be pagrindinių trąšų maistinių medžiagų elementų augalui taip pat yra būtini ir antriniai maistinių medžiagų elementai, tokie kaip: kalcis, magnis ir siera; bei mikroelementai, tokie kaip: boras, cinkas, manganas, geležis, varis, molibdenas, chloras ir kiti [1,3].

1.2. Karbamidai

Karbamidai yra organiniai cheminiai junginiai, dar vadinami šlapalo pavadinimu, natūraliai sintetiniams gyvūnų organizmuose, iš kurių yra pašalinami su šlapimu. Karbamido sudėtyje yra apie 46% azoto, jis yra tokioje formoje, kurioje dirvožemyje yra lengvai paverčiamas į amoniaką. Karbamidai yra viena iš labiausiai koncentruotų azoto trąšų, dėl to pasaulyje kaip azoto trąšos yra sunaudojamos labiausiai [4].

1.2.1 Karbamido sintezė

Karbamido sintezė susideda iš dviejų pusiausvirųjų reakcijų, kurių metu vyksta nepilna reagentų konversija. Pirmoje reakcijoje skystas amoniakas reaguoja su suslėgtomis anglies dioksido dujomis, taip susidaro amonio karbamatas. Ši karbamido sintezės dalis vyksta greitai, o reakcija yra egzotermine. Amonio karbamatas yra gaunamas esant 160 °C temperatūrai ir 111 bar slėgiui [5].



Antroje reakcijoje amonio karbamatas yra konvertuojamas iki karbamido, o kaip šalutinis reakcijos produktas išsiskiria vanduo. Ši karbamido sintezės dalis vyksta lėčiau nei pirmoji, o reakcija yra endotermine - reakcijos varomoji jėga yra šiluma, kurią gauname amonio karbamato sintezės metu. Tam kad ši konversija vyktų optimaliai, reikalinga 160-180 °C temperatūra [5].



Bendra skysto amoniako ir suslėgtų anglies dioksido dujų reakciją į karbamidą yra egzoterminė. Kadangi šios dvi karbamido sintezės dalys yra pusiausvyros reakcijos, jos veikia pagal Le Šatelje principą, pagal kurį intensyviausiai susidaro amonio karbamatas, kuris neigiamai veikia karbamido susidarymo reakcijos pusiausvyrai. Norint, kad lėčiau vykstanti karbamido sintezė greičiau pasiektų pusiausvyrą, reikia padidinti tūrį ir slėgį, dėl to karbamido gamybos cechuose sintezės reaktoriai yra didelio tūrio slėginis indas. Galutinis sintezės produktas yra karbamido ir amonio karbamato mišinys, kuriuos tolimesniame procese reikia atskirti, dėl to yra naudojama technologija su papildomu medžiagų gryninimu ir reciklu [5,6].

1.3. Karbamido sintezės technologijos

Karbamido gamybos procese yra skirtingų problemų, su kuriomis buvo susiduriama nuo pirmojo karbamido pagaminimo. Dėl to iki pat šių dienų karbamido gamybos technologijos yra tobulinamos ir keičiamos, tam didelę įtaką turėjo sudėtingas karbamido granuliu sandėliavimas ir transportavimas, karbamido išsiplovimas dirvoje, taip pat ir vis labiau griežtėjantys aplinkosauginiai reikalavimai. Karbamido sintezės proceso tobulinamas buvo siejamas su šiomis bendromis užduotimis [6].

- Panaudoti kuo įmanoma daugiau susidariusios šilumos įrenginių, bei pagalbinių pastatų šildymui;
- Kiek įmanoma labiau sumažinti produkte esančių priemaišų koncentracijas;
- Reguluojant proceso parametrus minimalizuoti energijos, vandens ir šilumos sunaudojimą;
- Optimizuoti sintezės procesą, taip sumažinant eksploataavimo bei remonto išlaidas;
- Kiek įmanoma labiau sumažinti gamybos metu išsiskiriančius kenksmingus junginius;
- Optimizuoti išmetamųjų dujų valymo procesus, sunaudojant minimalius išteklius maksimaliam dujų išvalymui.

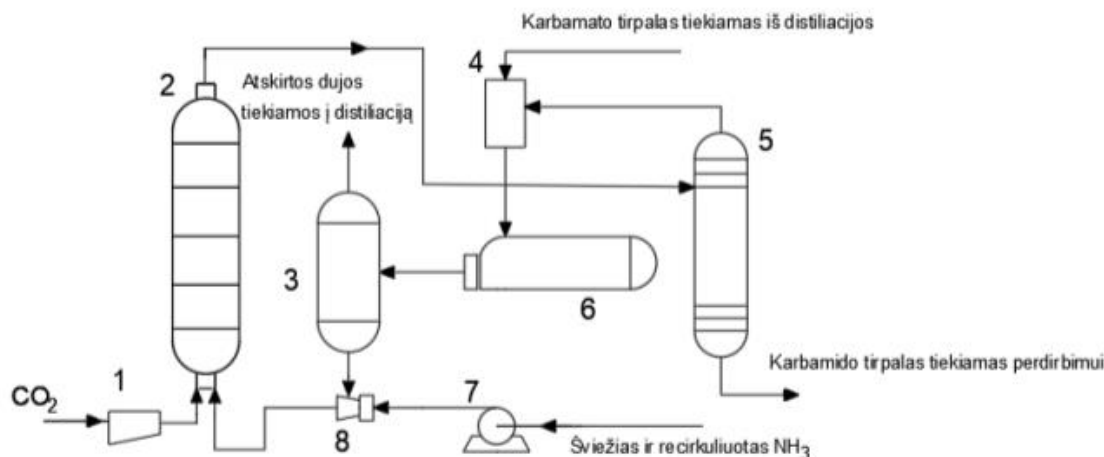
Šioje darbo dalyje bus lyginamos skirtingos karbamido sintezės technologijos, atsižvelgiant į proceso dalis, kurios yra savitos būtent tai technologijai. Išanalizuotos karbamido sintezės technologijos:

- „Snamprogetti“ sintezės technologija;
- „Mitsui Toastu“ sintezės technologija;
- Karbamido sintezės be reciklo technologija;
- „Stamicarbon“ sintezės technologija.

1.3.1. „Snamprogetti“ sintezės technologija

„Snamprogetti“ karbamido sintezės būdo projektuotojai puikiai panaudojo amoniako reciklo technologiją, kurioje amoniakas yra naudojamas amonio karbamato, atskirto nuo karbamido tirpalo, skaidymui ir grąžinimui į ciklą, kad būtų konvertuotas į karbamidą. Karbamido, kaip ir bet kurio kito produkto gamyboje neįmanoma pasiekti 100 % konversijos, dėl to visada svarbu atkreipti dėmesį į

vykstančių reakcijų pusiausvyras, šiuo atveju karbamido konversijos metu mišinyje liks dalis nekonvertuoto amonio karbamato. Sintetinant karbamidą taip pat lieka didelis kiekis nesureagavusio skysto amoniako. „Snamprogetti“ karbamido sintezės technologijoje (1.1 pav.) likęs amoniako perteklius yra naudojamas kaip karbamido tirpalo stripingo (eng. *stripping*) proceso reagentas, šio proceso metu amonio karbamatas skyla į amoniaką ir anglies dioksidą, kurie yra įterpiami į skysto amoniako srautą per vakuuminį ežektorių ir yra tiekiami į karbamido sintezės koloną [7].



1.1 pav. „Snamprogetti“ karbamido sintezės technologinė schema

1 – anglies dioksido stūmoklinis kompresorius; 2 – karbamido sintezės kolona; 3 – amonio karbamato dujinės fazės separatorius; 4 – amonio karbamato tirpalo maišytuvas; 5 – karbamido tirpalo striperis; 6 – apvalkalinis vertikalus amonio karbamato kondensatorius; 7 – skysto amoniako išcentrinis siurblys; 8 – vakuuminis ežektorius.

Karbamido sintezės kolonoje reakcija yra vykdoma esant 180-190 °C temperatūrai ir 132 bar slėgiui. Iš sintezės kolonos skysto amoniako perteklius yra tiekiamas į aukšto slėgio striperį (eng. *striper*), kuriame laikoma 190 °C temperatūra ir slėgis artimas sintezės kolonoje, apie 130 bar. Stripingo procese susidariusios amoniako bei anglies dioksido dujos yra nukreipiamos į apvalkalinį vertikalių kondensatorių, kuriame laikoma 148–160 °C temperatūra. Susidaręs amoniako, anglies dioksido ir vandens garų mišinys nukreipiamas atgal į sintezės koloną. Susidaręs karbamido tirpalas yra tiekiamas į striperį, kuriame yra laikomas žemas slėgis, apie 5 bar, šiame etape karbamido tirpalas yra apdorojamas ir atskiriamas nesureagavęs amonio karbamatas. Tokiu principu yra vykdomas reciklas, kurio metu pagrindinė užduotis yra padidinti amonio karbamato konversijos laipsnį, taip gaunant aukštesnio grynumo galutinis karbamido produktas [7].

„Snamprogetti“ sintezės technologijos privalumai:

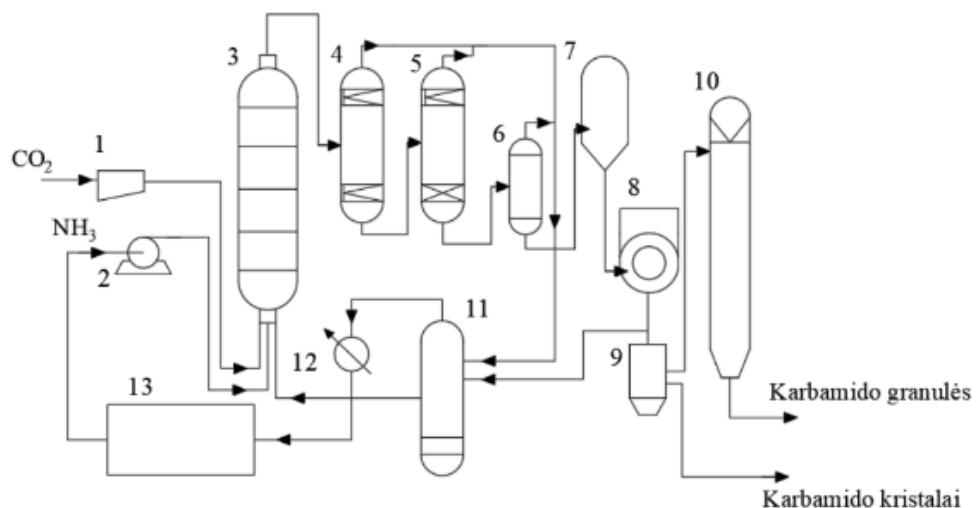
- Pasiekiamas didesnė karbamido tirpalo išeiga;
- Technologija yra aukštesnės klasės funkcionalumo;
- Yra sunaudojama mažesnis kiekis žaliavų.

„Snamprogetti“ sintezės technologijos trūkumai:

- Yra sunaudojamas didelis kiekis elektros energijos ir šilumos;
- Gamybos metu susidarę tirpalai stipriai paveikia įrenginių konstrukcijos medžiagas, gali prasidėti korozija.

1.3.2. „Mitsui-Toastu“ pilno reciklo technologija

Mitsui-Toastu“ karbamido sintezės technologija buvo sukurta XX-o amžiaus viduryje, kada susikoooperavo dvi įmonės: „Mitsui Chemical Industry“ bei „Toyo Koatsu“ (šiuo metu žinoma „Toyo Engineering“ pavadinimu). Šio karbamido gamybos proceso metu yra konvertuojamas beveik visas amonio karbamatas į karbamidą. „Mitsui-Toastu“ sintezės technologijos (1.2 pav.) karbamido gamyba yra suskirstyta į penkis etapus: sintezė, skaidymas, kristalų atskyrimas iš tirpalo, granuliavimas ir regeneracija. Pirmame etape, cilindro formos vertikaliame reaktoriuje, reaguoja skystas amoniakas su suslėgtomis anglies dioksido dujomis. Tuo pačiu metu į sintezės reaktorių tiekiamas recirkuliacinis tirpalas, kuriame yra amonio karbamatas, atskirtas nuo karbamido, bei dujų, kurios nebuvo panaudotos sintezei, mišinys. Iš sintezės reaktoriaus ištekėjusiame tirpale yra apie 72 % karbamido, likusi tirpalo dalis yra nekonvertuotas amonio karbamatas ir amoniako perteklius. Šis tirpalas toliau yra tiekiamas į skaidymo etapą. Šiame etape yra aukšto bei žemo slėgių dekompozeriai (eng. *decomposer*) ir dujų separatorius. Šio proceso etapo įrenginiuose yra suskaidomas nekonvertuotas amonio karbamatas, o dujų separatoriuje iš dujų mišinio yra pašalinamas išsiskyres vanduo, tokiu principu yra sumažinamas vandens garų kiekis mišinyje, kuris yra gražinamas į sintezės reaktorių. Dėl šio technologijos etapo didesnis amonio karbamato kiekis yra konvertuojamas į karbamidą po vieno ciklo, lyginant su kitomis karbamido gamybos technologijomis. Po to tirpalas tiekiamas į kristalų atskyrimo etapą, kuriame karbamido tirpalas yra kristalizuojamas. Kristalizatoriuje yra sukuriamas vakuuminis slėgis, dėl kurio likę vandens garai yra pašalinami, tuo pačiu metu susidaro karbamido kristalų suspensija tirpale. Ji toliau yra tiekiami į centrifugą, kurioje iš tirpalo yra atskiriami karbamido kristalai, kurie toliau yra nukreipiami į džiovyklą. Po džiovinimo etapo kristalai yra išlydomi ir tiekiami į išpurškimo tipo granuliavimo bokštą, kuriame susidaro aukštos grynumo klasės karbamido granulės. Regeneracijos etape iš skaidymo įrenginių gautas dujų mišinys yra skaidomas atskiruose absorberiuose bei kondensatoriuose į atskiras amoniako ir anglies dioksido dujas, kurios yra gražinamos į karbamido sintezės ciklą [8].



1.2 pav. „Mitsui Toastu“ karbamido sintezės technologinė schema

1 – anglies dioksido stūmoklinis kompresorius; 2 – skysto amoniako išcentrinis siurblys; 3 – karbamido sintezės kolona; 4 – aukšto slėgio dujų mišinio dekompozėris; 5 – žemo slėgio amonio karbamato dekompozėris; 6 – dujinės fazės separatorius; 7 – tirpalo kristalizatorius; 8 – centrifuga; 9 – džiovykla; 10 – išpurškimo tipo granuliavimo bokštas; 11 – dujų absorberis; 12 – kondensatorius; 13 – amoniako buferinė talpa.

„Mitsui Toastu“ sintezės technologijos privalumai:

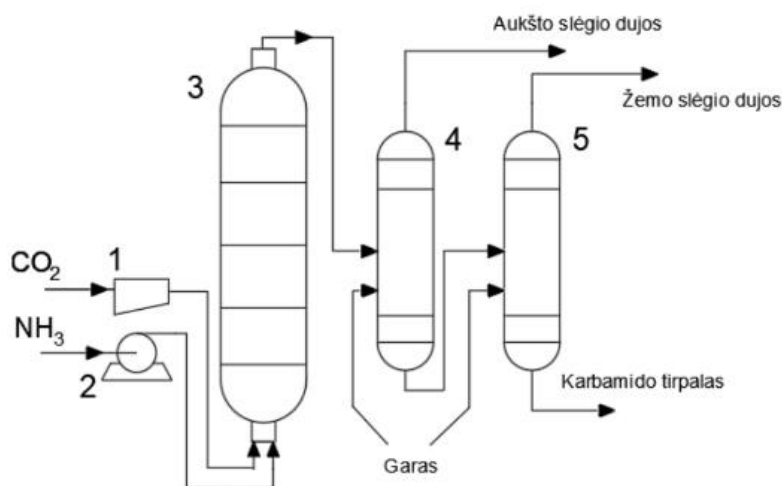
- Konvertuojama ~98 % amonio karbamato į karbamidą;
- Maži gamybos kaštai.

„Mitsui Toastu“ sintezės technologijos trūkumai:

- Gamybos proceso metu susidaro šalutinis, nepageidaujamas produktas - biuretas;
- Sunaudojamas didelis kiekis elektros energijos bei šilumos.

1.3.3. Karbamido sintezės be reciklo technologija

Šiame karbamido sintezės procese (1.3 pav.) skystas amoniakas, suslėgtas iki 200 bar slėgio, siurbliu yra tiekiamas į sintezės reaktorių, kuriame yra apie 185 °C temperatūra. Į reaktorių kompresoriumi yra tiekiamos suspaustos anglies dioksido dujos. Anglies dioksido ir amoniako molinis santykis sintezės reaktoriuje turi būti palaikomas nuo 1:2 iki 1:3. Iš reaktoriaus ištekančiame tirpale lieka nekonvertuoto amonio karbamato. Pastarasis iš tirpalo yra pašalinamas naudojant aukšto slėgio dekompozerį (eng. *decomposer*), kuriame nepageidaujamas amonio karbamatas suskaidomas į anglies dioksido dujas bei amoniaką. Gautame galutiniame tirpale yra 80% karbamido. Skaidymo procese susidarę anglies dioksidas bei amoniakas yra nukreipiami į žemo slėgio dekompozerį. Šiame įrengime, siekiant gauti kuo įmanoma grynesnį karbamidą, pakartotinai yra atskiriamas nekonvertuotas amonio karbamatas. Šiame gamybos etape susidaro didelis aukštos temperatūros išmetamų dujų kiekis, kuris toliau yra panaudojamas kaip šilumos šaltinis gamybos įrenginiams bei patalpoms apšildyti [9].



1.3 pav. Karbamido sintezės be reciklo technologinė schema

1 – anglies dioksido stūmoklinis kompresorius; 2 – amoniako išcentrinis siurblys; 3 – karbamido sintezės kolona; 4 – aukšto slėgio amonio karbamato dekompozeris; 5 – žemo slėgio amonio karbamato dekompozeris.

Karbamido sintezės be reciklo technologijos privalumai:

- Tai yra prasčiausia karbamido sintezės technologija;
- Puikiai tinkantis metodas gaminant mažus karbamido kiekius;

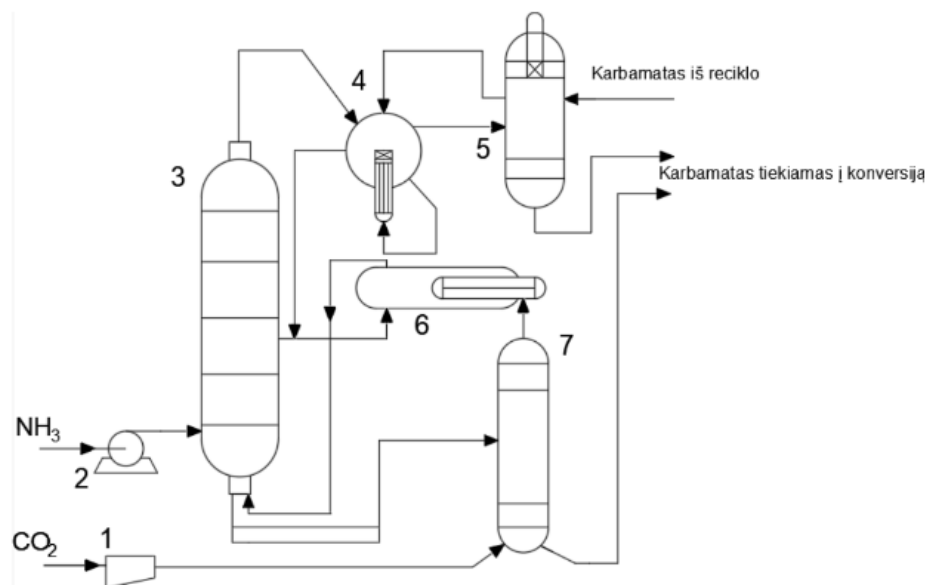
- Maži gamybos kaštai.

Karbamido gamybos be reciklo technologijos trūkumai:

- Susidaro dideli kiekiai amonio druskų;
- Proceso metu išskiriama daug aplinkai pavojingų junginių;
- Mažas anglies dioksido dujų konversijos į amonio karbamatą laipsnis;
- Procesas neturi grįžtamųjų srautų, dėl to nėra gaunamas labai grynas karbamidas.

1.3.4. „Stamicarbon“ sintezės technologija

Šiame sintezės procese (1.4 pav.) yra naudojama anglies dioksido dujų stripingo (eng. *stripping*) technologija, kurioje iš sintezės reaktoriaus šalinamų nesureagavusių medžiagų slėgis nėra sumažinamas prieš patenkant į striperį (eng. *stripper*), dujų atskyrimas stripingo procese vyksta sintezės slėgyje, o anglies dioksido dujos yra tiekiamos į vertikalų šilumokaitį. Skysčių ir dujų mišinys iš aukšto slėgio kondensatoriaus yra tiekiamas į sintezės reaktorių, kuriame reaguoja anglies dioksidas ir amoniakas, susidaro tarpinis produktas amonio karbamatas, kuris vėliau konvertuojamas į karbamidą. Inertinės dujos iš reaktoriaus yra pašalinamos vandeniui aušinamame kondensatoriuje. 180 °C temperatūros bei 140 bar slėgio reaktoriaus nesureagavusios medžiagos patenka į aukšto slėgio striperį. Šiame įrenginyje yra naudojamos nesureagavusios anglies dioksido dujos, kurios veikia kaip stripingo procesą skatinantis agentas. Šios dujos striperyje skaido nekonvertuotą amonio karbamatą. Gautų dujų mišinys yra gražinamas į sintezės koloną kaip karbamido sintezės reakcijos žaliava [10,11].



1.4 pav. „Stamicarbon“ karbamido sintezės etapo technologinė schema

1 – amoniako išcentrinis siurblys; 2 – anglies dioksido stūmoklinis kompresorius; 3 – karbamido sintezės kolona; 4 – skruberis; 5 – dujų absorberis; 6 – horizontalus kondensatorius; 7 – striperis.

„Stamicarbon“ karbamido sintezės technologijos privalumai:

- Greitai vykstantis gamybos procesas;
- Nereikia papildomai tiekti vandens į gamybą;
- Sunaudojamas mažas kiekis žaliavų;
- Sunaudojamas mažas kiekis elektros energijos ir šilumos.

„Stamicarbon“ karbamido sintezės technologijos trūkumai:

- Mažas amonio karbamato konversijos į karbamidą laipsnis;
- Sudėtingas gamybos procesas, reikalaujantis daug priežiūros ir aptarnavimo.

1.4. Karbamido panaudojimas

Nuo gamybos pradžios karbamidas pagrindė buvo naudotas žemės ūkyje kaip trąšos. Tačiau laikui bėgant buvo iširta, kad šį junginį taip pat galima panaudoti ir kitose pramonėse bei srityse.

1.4.1. Žemės ūkis

Lyginant su kitomis azoto trąšomis, karbamidas savo sudėtyje turi didžiausią kiekį azoto, siekiantį apie 46 %. Karbamido granulių pranašumas pasireiškia tuo, jog yra paprastai sandėliuojamas ir transportuojamas. Dėl to jo naudojimas žemės ūkio pramonėje yra itin paprastas ir apie 90 % viso pagaminto karbamido granulių yra panaudojama kaip trąšos. Patręšus žemę karbamidu, jis hidrolizuoja į amoniaką bei anglies dioksidą. Dirvoje esančios bakterijos oksiduoja amoniaką iki nitratų - tokios formos azotą augalai įsisavina lengviausiai [12-13].

Karbamido kaip trąšų naudojimas turi neigiamų pusių. Dėl dirvožemyje vykstančių tirpimo, hidrolizės, denitrifikacijos ir kitų nuostolingų procesų, didelė dalis azoto nepasiekia augalo šaknų. Įvairių formų azotas išsiplauna su gruntiniais vandenimis, taip ne tik palikdamas neigiamą poveikį aplinkai, tačiau ir žemės ūkio ekonomikai, kadangi pasišalinusį azotą būtina kompensuoti naudojant didesnę kiekį trąšų [12,13].

1.4.2. Cheminių junginių gamyba

Dalis pagaminto karbamido yra panaudojama chemijos pramonėje gaminant įvairius cheminius junginius, tokius kaip: klijai, sprogmenys, plastikai bei kiti. Karbamidas struktūros erdvėje gali absorbuoti kai kuriuos organinius junginius. Tai yra itin naudinga organinių junginių ekstrakcijai iš mišinių ar suspensijų. Karbamidas ilgą laiką buvo naudojamas gaminant aviacinius degalus bei tepalus, taip pat parafino gamybos gryninimo etape [12-13].

1.4.3. Automobilių pramonė

Karbamido bei papildomų medžiagų mišinys yra naudojamas įvairių transporto priemonių išmetamųjų dujų sistemose, šis mišinys kataliziškai redukuoja išmetamąsias dujas, atskirdamas žmonių sveikatai bei aplinkai pavojingas azoto oksidų dujas. Ši karbamido savybė buvo naudojama „BlueTec“ išmetamųjų dujų sistemoje, kuri veikia į išmetimo sistemą įpurškiant karbamido vandeninį tirpalą. Karbamidas esant aukštai išmetamųjų dujų temperatūrai skyla į amoniaką bei anglies dioksidą. Tokio tipo katalizatoriuje amoniakas reaguoja su išmetamosiose dujose esančiais

azoto oksidais bei konvertuoja juos į vandens garus bei azoto dujas, tokiu principu yra sumažinamas transporto priemonių išmetamosiose dujose esantis kenksmingų dujų kiekis [12].

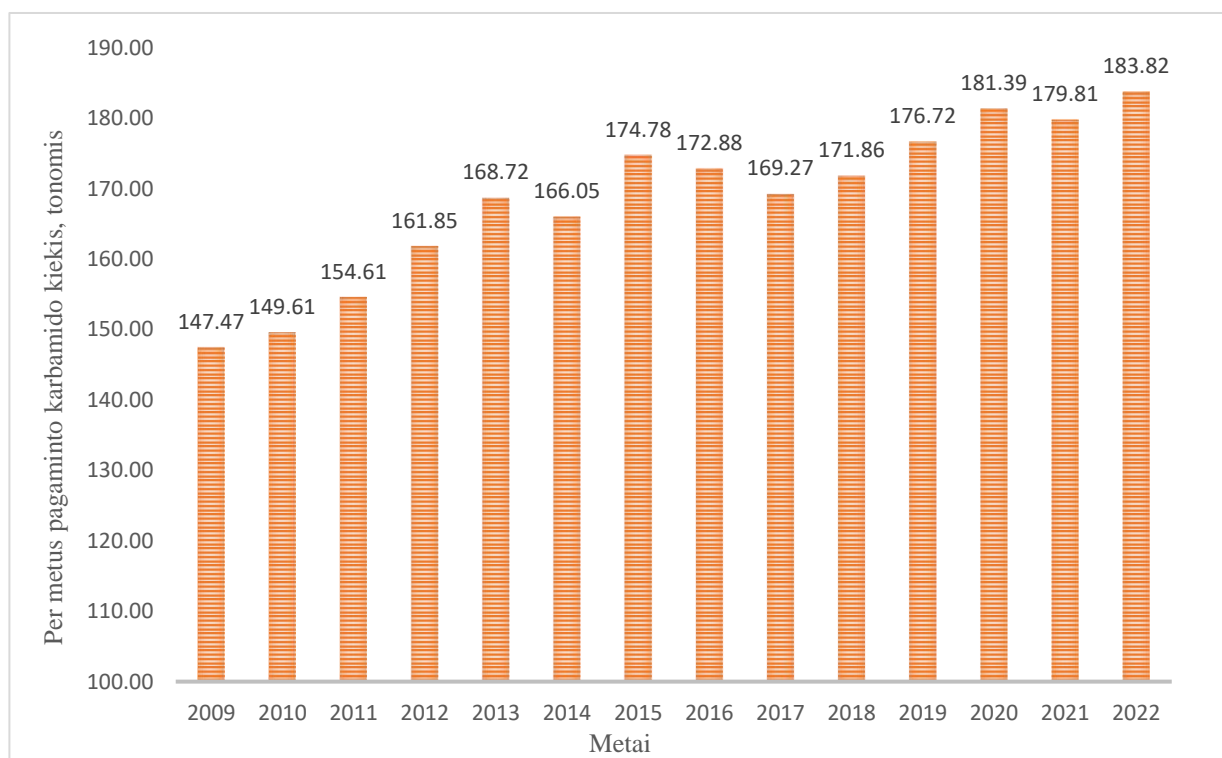
1.4.4. Medicina

Karbamidas yra naudojamas medicinos pramonėje dermatologinių produktų, pagrinde įvairių drėkinamųjų kremų, gamyboje, nes karbamidas skatina odos bei nagų rehidrataciją. Taip pat šis produktas yra naudojamas kaip ausų vaško pertekliaus pašalinimo priemonė. Kai kuriose valstybėse, karbamido injekcija naudojama atliekant abortą. Taip pat karbamidas yra naudojamas atliekant įvairius kraujo tyrimus, kurių metu gauti duomenys padeda nustatyti inkstų disfunkciją [12].

1.4.5. Karbamido sunaudojimo ir pagaminimo statistiniai duomenys

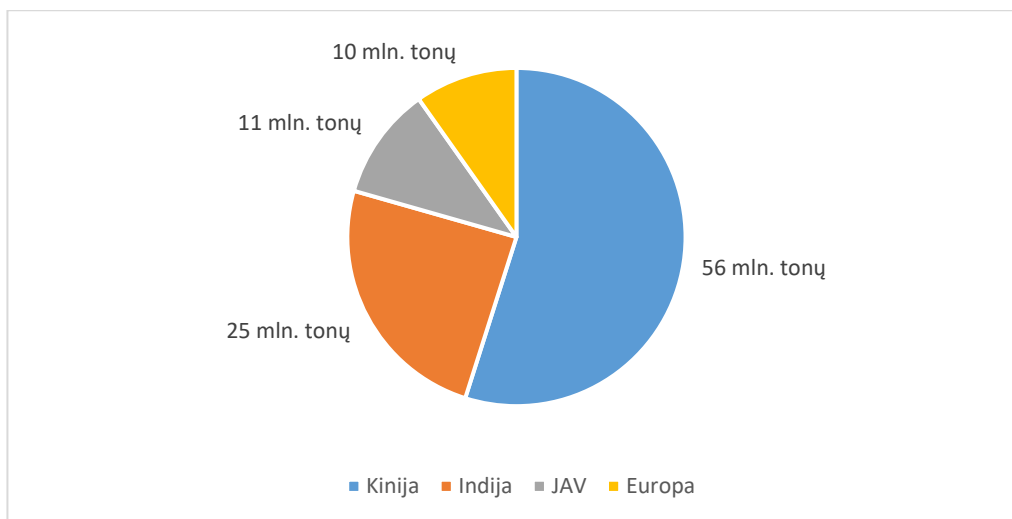
Karbamido sunaudojimas yra susijęs su žmonių skaičiumi, nes augant žmonių skaičiui, didėja poreikis maisto produktams. Siekiant užauginti didesnius augalų derlius tuose pačiuose dirbamų žemių plotuose reikia taikyti inovatyvius sprendimus.

Žemiau pateikti „Statista“ internetinės duomenų bazės statistiniai duomenys apie pasaulinį metinį karbamido pagaminimą nuo 2009 iki 2022 metų [14].



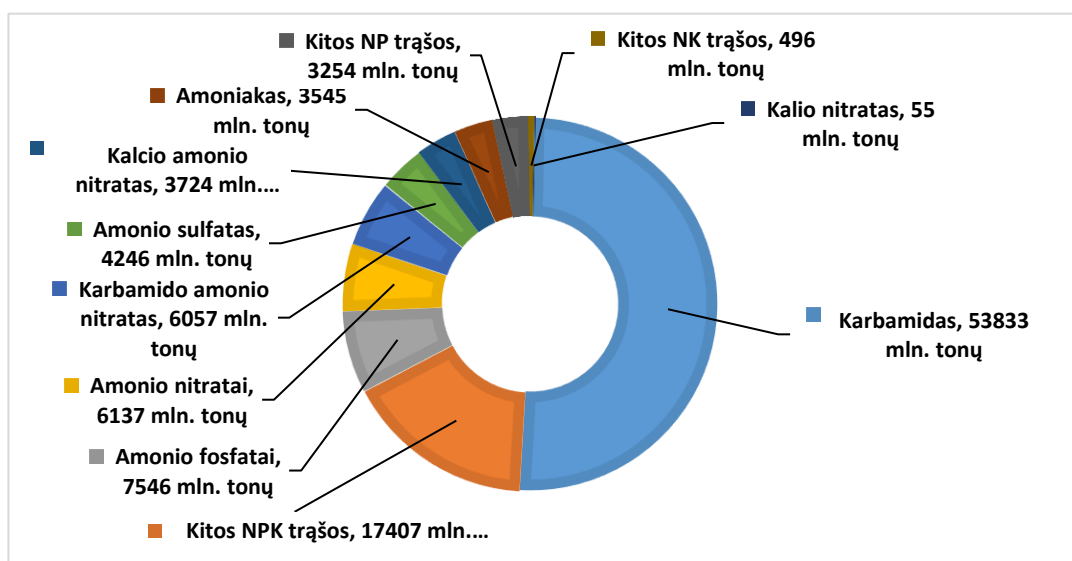
1.5 pav. Pasaulinis pagaminto karbamido kiekis per metus milijonais metrinių tonų nuo 2009 iki 2022 metų

Vadovaujantis diagramoje (1.5 pav.) pateiktais duomenimis matome, kad per metus pagaminamo karbamido kiekis kiekvienais metais paauga. Taip pat matomas minimalus sumažėjimas tarp 2016 ir 2017 metų, šį pagaminto karbamido kiekio sumažėjimą galima sieti su Kiniją nusiaubusiu taifūnu, kuris sukėlė potvynius milžiniškuose Kinijos plotuose, kuri pagal „IEA“ internetinėje statistikos svetainėje pateiktus duomenis (1.6 pav.) yra pirmoje vietoje pasaulyje pagal pagaminamo karbamido kiekį. Dėl šios stichinės nelaimės Kinijoje, buvo padaryta milžiniška įtaka pasaulinio masto karbamido gamybos nuosmukiui, kuris nuo 2018 metų pradėjo vėl kilti į viršų [15,16].



1.6 pav. Karbamido gamybos kiekis pagal regionus 2022 metais

Remiantis „Statista“ internetinės duomenų bazės statistiniais duomenimis (1.7 pav.) apie 2021 metais sunaudotų trąšų, sudėtyje turinčių azoto, kiekius, matome, kad karbamidas yra pirmoje vietoje ir nuo antros vietos yra atitrūkęs beveik trimis kartais didesniu kiekiu. Dėl to galima teigti, kad karbamidas yra labiausiai naudojamos azoto trąšos, todėl galima daryti prielaidas, jog karbamido trąšų paklausa dar labiau augs ateityje, dėl to itin svarbu atrasti naujas, bei tobulinti esančias karbamido sintezės, bei pagaminto karbamido modifikavimo technologijas, siekiant, kad gamybos procesas, sandėliavimas ir transportavimas būtų tvarūs, o poveikis žmogaus sveikatai ir aplinkai – minimaliai žalingas [17].



1.7 pav. Trąšų sudėtyje turinčių azoto pasaulinis sunaudojimas 2021 metais, pagal produktą

1.5. Karbamido efektyvumo dirvožemyje didinimo būdai

Viena iš pagrindinių karbamido problemų yra ta, kad jis yra labai higroskopiškas, sugerdamas aplinkos vandenį karbamidas greitai tirpsta. Taip pat karbamidas esant šiltomis dienomis skyla, greitai išskirdamas amoniaką bei anglies dioksidą. Naudojant karbamidą žemės ūkio srityje kaip trąšas, didelė dalis karbamido išsiplauna su gruntiniais vandenimis, dalis karbamido skyla dėl aplinkos sąlygų, todėl nėra pasiekiamas aukščiausias šių trąšų naudojimo efektyvumas. Norint

sukontroliuoti karbamido tirpimo procesą, reikia imtis papildomų priemonių, tokių kaip: inhibitorius ar kontroliuojamo karbamido atpalaidavimo dangas [18].

1.5.1. Inhibitorių naudojimas

Vienas iš būdų sukontroliuoti karbamido veikliųjų medžiagų nuostolius yra inhibitorių įterpimas į karbamido sudėtį. Šie inhibitoriai sulėtina ureazės fermento katalizuojamą reakciją, tokia karbamido skaidymo reakcija vyksta žymiai greičiau nei aplinkoje be ureazės fermentų. Įterpti inhibitoriai sulėtina karbamido skilimo reakciją, dėl to granulės ilgesnį laiką lieka dirvožemyje, o augalai gauna tolygų kiekį veikliųjų medžiagų, dėl to gaunamas didesnis ir sveikesnis derlius. Taip pat galima naudoti inhibitorius, kurie sulėtina denitrifikacijos procesą vykdomą bakterijų. Tokiu būdu išlaikomas didesnis kiekis amonio jonų, kurie yra geriausia azoto forma augalams pasisavinti, tai turi teigiamos įtakos augalijos augimui bei vystymuisi [19].

1.5.2. Kontroliuojamo veikimo dangos

Pagrindinis šiais laikais naudojamas karbamido granuliuojamųjų dirvožemyje didinimo būdas yra kontroliuojamo veikimo dangų padengimas ant granuliuotų trąšų. Tokiu principu karbamido granulės yra izoliuotos nuo aplinkoje esančių vandens molekulių, bakterijų ir kitų veiksnių, kurie skatina greitą karbamido granulės suyrimą bei skilimo reakcijas [20].

Vienos pirmųjų dangų buvo naudotos elementinės sieros dangos su specialiais vaškais. Tačiau dengti tokiomis dangomis buvo reikalinga sudėtinga technologija bei dideli kiekiai elektros bei šilumos energijų. Dėl šios priežasties imtasi analizuoti kitus dangos pagrindus, kuriais būtų galima dengti karbamido granules. Nuo tada karbamidas buvo dengiamas įvairiomis cheminėmis medžiagomis, tokiomis kaip: termoplastikai, krakmolas, celiuliozė ir kitokios bioskaidžios medžiagos [20].

Šios dangos ne tik apsaugo trąšų granules nuo aplinkoje esančių vandens bei įvairių bakterijų, tačiau taip pat padidina granuliuojamųjų stiprumą bei atsparumą susigulėjimui, tai yra gerai sandėliavimo bei transportavimo etapui, kadangi yra sumažinamas išsiskiriančių dulkių kiekis, dėl kurių susidarydavo sprogi bei žmonių sveikatai pavojinga aplinka, reikalaujanti sudėtingų ventiliacijos sistemų sprendimų [20].

1.6. Karbamido dengimo technologijos

Karbamido dangos yra vienas iš plačiausiai naudojamų karbamido efektyvumo didinimo sprendimų. Skirtingų sudėčių ir parametrų dangos gali būti naudojamos skirtingomis sąlygomis atsižvelgus į dirvožemį, augalus, jų poreikį įvairiems elementams. Lėčiau yrančios dangos gali sulėtinti karbamido maistinių medžiagų atpalaidavimo greitį, dėl to augalas yra aprūpinamas tolygiais kiekiais maistinėmis medžiagomis ilgesnį laiką. Tai yra itin svarbus faktorius siekiant užauginti didesnį kiekį sveikų augalų [20].

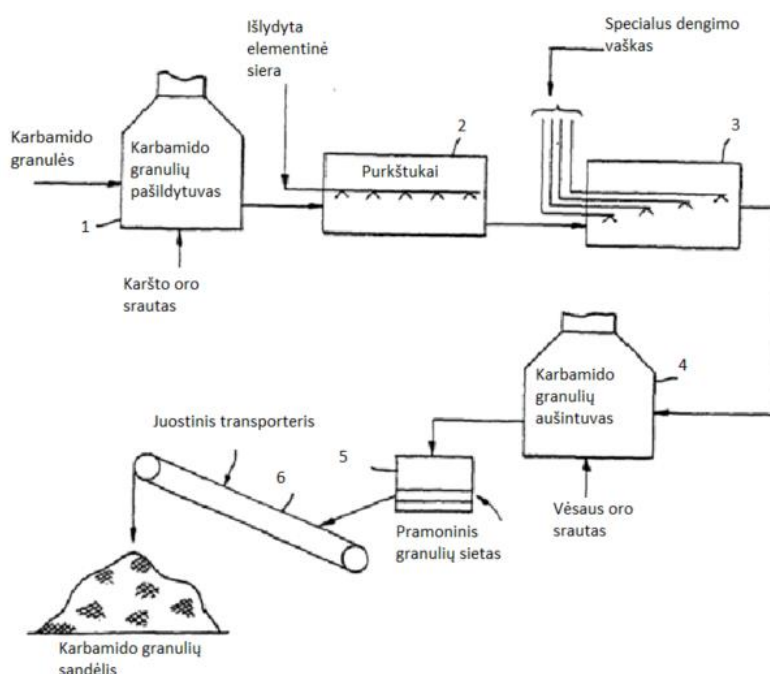
1.6.1. Siera dengtos karbamido granulės

Elementinės sieros dangos buvo pirmosios naudotos kontroliuojamosios dangos, kuriomis buvo dengiamas karbamidas. Šioje technologijoje (1.8 pav.) karbamido granulės, maždaug 1,7 – 2,9 mm dydžio, tiekiamos į pirminį verdančio sluoksnio šildytuvą, kuriame karbamido granulės yra kaitinamos karšto oro srautu. Iki 42-48 °C temperatūros pašildytos granulės yra tiekiamos į rotacinį būgninio tipo dengimo įrenginį. Šiame įrenginyje per viršuje esančius purkštukus yra išpurškiama

išlydyta elementinė siera ant granuliu besisukančių būgne. Sieros temperatūra yra palaikoma aukštesnė nei kietėjimo temperatūra, maždaug apie 113 laipsnių. Rotaciniame būgne elementinė siera pasidengia ant karbamido granuliu, o dėl granuliu judėjimo modelio, sluoksnis pasidengia beveik idealiai – viena su kita kontaktuodama granulė išlygina viršutinį granulės sluoksnį, dėl to gaunama beveik ideali sferos forma [21]

Po to gautos granulės tiekiamos į antrą rotacinį būgną, kuriame granulės yra padengiamos specialiu vašku (dietilenglikoliotrietanolamino polioliu), kuris dar labiau palėtina maistinių medžiagų tirpumą ir atpalaidavimą dirvožemyje [21].

Gautos sieros ir vaško sluoksniais padengto granulės toliau yra tiekiamos į pseudo-verdančio sluoksnio aušintuvą, kuris veikia tokiu pačiu principu, kaip pirminis karbamido granuliu pašildytuvas, skirtumas toks, kad į įrenginio apačią yra tiekiamas vėsus oro srautas. Toliau atvėsintos granulės tiekiamos į pramoninius sietus, čia yra atskiriamos tinkamo dydžio granulės nuo per mažų ir per didelių granuliu. Norimo dydžio granulės, 2-3 mm skersmens granuliu frakcija, toliau juostiniais konvejeriais tiekiamos į pakavimo ir sandėliavimo patalpas [21].



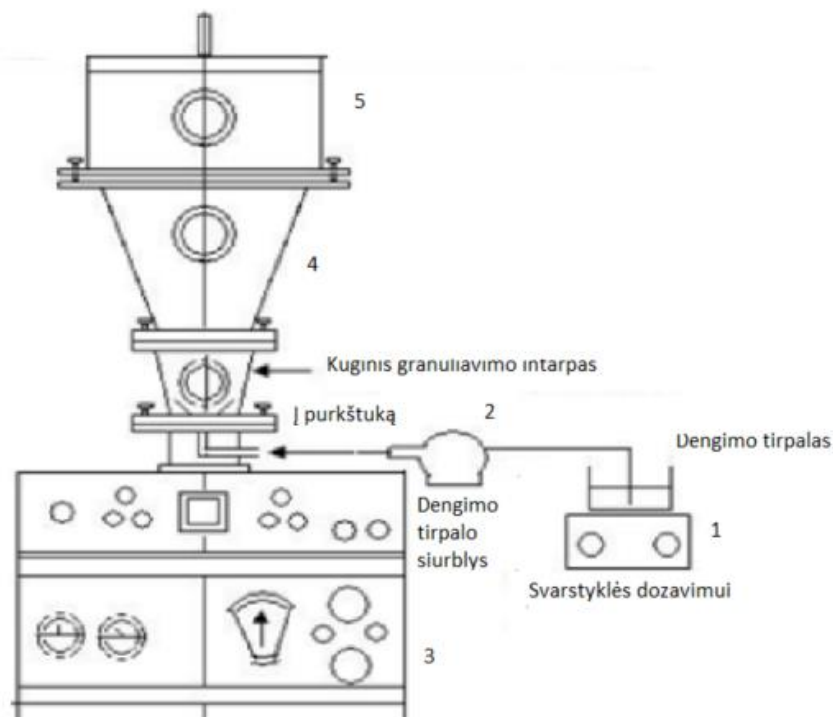
1.8 pav. Karbamido granuliu dengimo sieros ir vaško dangomis technologija

1- pseudo-verdančio sluoksnio pašildytuvas; 2, 3- rotaciniai būgninio tipo granuliu dengimo įrenginiai su integruotomis apipurškimo sistemomis; 4- pseudo-verdančio sluoksnio aušintuvas; 5- pramoninis granuliu sietas; 6- juostinis transporteris.

1.6.2. Fosforo akmens pagrindo danga

Analizės tikslams galima naudoti dengimo įrenginį kuris tuo pačiu metu atlieka ir granuliavimo ir džiovavimo stadijas. Taip galima pigiai gauti dengtą karbamidą naudojantis itin paprasta technologija, tačiau tai reikalauja daugiau laiko, kadangi šioje technologijoje karbamidas yra dengiamas ir džiovinamas atskiriomis partijomis. Žemiau pateikiama padengimo įrenginio schema (1.9 pav.) [22,23].

Karbamido lydalas sumaišomas su karbamido formaldehidu ir granuliuojamas pseudo-verdančio sluoksnio granuliuotoryje prieš pradėdant dengimo procesą. Pseudo-verdančio sluoksnio granuliuotorys pagamintas iš nerūdijančio plieno ir yra skirtas granuliuvimui, džiovinimui ir granulių dengimui viename įrenginyje. Dengimo stadijoje skysčiai į kamerą yra tiekiamas per dvigubą įpurškimo antgalį - dvi skirtingos medžiagos tiekiamos per skirtingas zonas antgalyje [22,23]



1.9 pav. Karbamido dengimo fosforo akmens pagrindo danga laboratorijoje technologinė schema

1-svarstyklės tirpalo dozavimui; 2- dengimo tirpalo išcentrinis siurblys; 3- pseudo-verdančio sluoksnio granuliuavimo, dengimo ir džiovinimo įrenginio valdymo skydas; 4- pseudo-verdančio sluoksnio dengimo kamera; 5- šalinamo oro srauto ventiliatorius.

Skysčiai išpurškiami į atskirą zoną, kuri yra skirta skysčio dalelių paskirstymui, kad karbamido granulės negautų per didelio drėgmės kiekio, ši zona veikia kaip buferinė ertmė. Šioje zonoje yra palaikomas žemas slėgis, tai reikalinga tam, kad granulės nebūtų pažeistos dideliu slėgiu paduodamo dangos tirpalo srautu. Padengtas karbamidas džiovinamas karštu oro srautu, taip susidaro granulių pseudo-verdančio sluoksnio efektas [22,23].

Literatūros apžvalgoje aprašytos karbamido granulių padengimo technologijos bei naudojamos medžiagos, kurios yra ar buvo naudojamos karbamido veikliųjų medžiagų išsiplovimo dirvožemyje problemos sprendimui. Remiantis literatūros apžvalga vis dar egzistuojanti karbamido trąšų problema pasirinkta spręsti inovatyviu metodu – karbamido granules padengiant kontroliuojamo veikimo danga į kurią yra įterpti įvairūs mikroelementai, itin reikšmingi įvairiose augalo vystymosi stadijose. Dangos pagrindui naudojama melasa, kuri yra šalutinis cukraus gamybos produktas. Taigi šiuo metodu ne tik sprendžiama karbamido medžiagų išsiplovimo problema, tačiau taip pat prisidedama prie tvarių gamybos procesų.

2. Tiriamoji dalis

Šio darbo tiriamoji dalis yra sutekta į vieną iš pagrindinių karbamido granulių naudojimo problemą – karbamido veikliųjų medžiagų nekontroliuojamą tirpimą ir išsiplovimą iš dirvožemio su gruntiniais vandenimis. Į šios problemos sprendimą buvo pažvelgta šiuolaikiškai, dėl to tiriamojame dalyje buvo siekiama pagaminti dangą, kuri ne tik padėtų kontroliuoti karbamido tirpimą dirvožemyje, tačiau taip pat savo sudėtyje turėtų mikroelementų, siekiant, kad augalas galėtų pasisavinti didesnę įvairovę augimui ir vystymuisi naudingų medžiagų iš vieno trąšų, tam kad būtų sumažintas laukų tręšimo kiekis, tręšimui naudojamų technologijų degalų sunaudojimas bei žmogaus darbo laiko sutrumpinimas.

Tiriamosios dalies pradžioje buvo kuriama ir gaminama kontroliuojamo veikimo dangą, į kurios sudėtį yra įterptas mikroelementų mišinys. Mišinį sudaro tokie mikroelementai kaip: boras, varis, geležis, manganas, molibdenas bei cinkas. Kiekvienas iš šių mikroelementų atlieka svarbų vaidmenį augalo vystymosi stadijose [24,26].

Boras – suaktyvina tam tikrus dehidrogenazės fermentus, dalyvaujančius angliavandenilių apykaitoje, ląstelės sienelės komponentų sintezėje, taip pat yra būtinas ląstelių dalijimuisi bei vystymuisi [24].

Varis – yra daugelio svarbių oksidazės fermentų, įskaitant citochromo oksidazę, askorbo rūgšties oksidazę ir laktazę, sudedamoji dalis, taip pat svarbus fotosintezės, baltymų ir angliavandenių metabolizmo procesuose [24].

Geležis – yra svarbus komponentas, esantis daugelio hemo ir nehemo geležies fermentų ir nešėjų, įskaitant citochromus (kvėpavimo elektronų nešiklius) ir feredoksinus. Pastarieji dalyvauja pagrindinėse medžiagų apykaitos funkcijose, tokiose kaip azoto fiksacija, fotosintezė bei elektronų pernaša [24].

Manganas – dalyvauja deguonį išskiriančioje fotosintezės sistemoje ir yra fermentų arginazės bei fosfotransferazės komponentas [24].

Molibdenas – yra būtinas komponentas, esantis nitratų reduktazės ir azotą fiksuojančių fermentų sudėtyje, taip pat yra reikalingas normaliam azoto pasisavinimui [24].

Cinkas - vienas iš pagrindinių komponentų esančių į kelių dehidrogenazių, proteinazių ir peptidazių, įskaitant karboanhidrazę, alkoholio dehidrogenazę, glutamino dehidrogenazę ir obuolių dehidrogenazę, sudėtis [24].

Tiriamosios dalies tikslas – pagaminti kontroliuojamo veikimo dangą su įterptais mikroelementais, ją padengti karbamido granules, taip pat ištirti gautų padengtų granulių pagrindines savybes bei palyginti jas su nedengtomis granulėmis.

2.1. Naudotos medžiagos

Tiriamosios dalies metu kontroliuojamo veikimo granulių dangos sintezei buvo naudojamas melasos tirpalas (UAB „Lietuvos cukraus fabrikas“, Marijampolė), vanduo, distiliuotas vanduo, chelatinių mikroelementų mišinys „APC Mikro Forte 12“ bei sulfatinių mikroelementų mišinys „APC Mikro Forte 13“ (Lenkija) ir nedengtos karbamido granulės (AB „Achema“. Jonava).

2.2. Naudota įranga

Tiriamąjį darbą atliekant kontroliuojamo veikimo granulių dangos gamybą buvo naudojama: pinti „RETSCH“ sietai, „KERN“ laboratorinės svarstyklės, gyvsidabrio termometrai, pipetės, įvairios stiklinės talpos, įskaitant kūgines kolbas, apvaliadugnes kolbas, mėgintuvėlius bei karščiui atsparias laboratorines stiklines, maišikliai, elektrinė kaitinimo plytelė, viskozimetrai bei skysčio tankio matavimo komplektas.

Granulių padengimo etape buvo naudojamas „O-Hara“ pseudo-verdančio sluoksnio granulatorius-dengėjas, būgninis granulatorius, elektrinė džiovykla.

Gautų padengtų granulių savybių analizei buvo naudojamas „KERN“ automatinis drėgmės analizatorius, granulių stiprio matavimo prietaisas „IPG-1M“, skaitmeninis pH terpės matuoklis „HANNA instrument pH2 11“.

Naudotos įrangos specifikacijos yra pateiktos 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Naudotos įrangos specifikacijos

Drėgmės matavimo įrenginys	
Pavadinimas, modelis	KERN, MLS 50-3HA160N
Šildymo tipas, galia	Halogeninis, 400 W
Temperatūros amplitudė	40 °C – 160 °C
Maksimali mėginio masė	50 g
Minimali mėginio masė	0,02 g
Tikslumas (angl. <i>readability</i>) iš pradžių sveriant < 1,5 g	0,001 g / 0,01 %
Tikslumas (angl. <i>readability</i>) iš pradžių sveriant > 1,5 g	0,001 g / 0,001 %
Granulių stiprio matavimo įrenginys	
Pavadinimas, modelis	IPG 1M
Matavimo intervalas	2 – 50 N; 5 – 200 N
Leistina bazinė matavimo paklaida	± 1 %
Leistinos papildomos matavimo paklaidos	± 0,5 %
Pseudo-verdančio sluoksnio granulatorius-dengėjas	
Pavadinimas, modelis	O-Hara, FBDG 1 BT
Įtekančio oro srauto debitas, matavimo paklaida	136 - 170 m ³ /h, ± 42 m ³ /h
Įtekančio oro srauto temperatūra, matavimo paklaida	45 - 85 °C, ± 2 °C
Atomizuojančio oro išpurškimo slėgis, matavimo paklaida	0,69 - 3,5 bar, ± 0,25 bar
Tirpalo dozavimo srautas, matavimo paklaida	6 - 25 g/min, ± 3 g/min
Bendras granulatoriaus tūris	8 L
Darbinis pajėgumas	0,5 – 1 kg

Išsiplėtimo ertmės parametrai:	Aukštis: 30 cm Skersmuo: 25 cm
Tiekiamo oro temperatūros maksimali reikšmė	60 °C
Šalinamo oro temperatūros maksimali reikšmė	40 °C
Tiekiamo oro srauto debitas	199 m ³ /h
Dangos tirpalo padavimo greitis	2 g/min
Pseudo-verdančio sluoksnio temperatūros maksimumas	55 °C
Atomizuojančio oro slėgis	3 bar

2.3. Metodika

2.3.1. Karbamido granulių frakcionavimas

Tiriamosios dalies pradžioje buvo vykdomas iš gamybos paimtų įvairaus dydžio karbamido granulių frakcionavimas, siekiant atsirinkti panašaus dydžio, 2-3 mm skersmens, granules, kurios toliau buvo naudojamos dengimo proceso testavimui. Be to, granulių frakcionavimas leido geriau įvertinti šiuo metu pramonėje naudojamas karbamido granuliavimo bei transportavimo įrangos efektyvumą.

Eksperimento metu 100 g karbamido granulių bandinys yra frakcionuojamas naudojant sietus, kurių skylių diametras buvo nuo 1 mm iki 5 mm skersmens.

Po frakcionavimo gautos penkios skirtingos karbamido granulių frakcijos (2.2 lentelė), viena nuo kitos besiskiriančios granulių dydžiu.

2.2 lentelė. Karbamido granulių granuliometrinė sudėtis

Karbamido granulės skersmuo	Masė, %
Didesnės nei 5 mm	0
3 – 5 mm	5,47
2 – 3 mm	94,31
1 – 2 mm	0,21
Mažesnės nei 1 mm	0,01
Iš viso:	100

Kadangi kaip prekinė yra įvardijama 2-3 mm granulių frakcija, akivaizdu, kad ji sudaro daugiau nei 94 % visos produkcijos. Ši frakcija buvo naudojama tolimesniuose granulių dengimo tyrimo etapuose.

2.3.2. Dangos pagrindo parinkimas

Siekiant pasirinkti geriausią galimą dangos pagrindo medžiagą, buvo analizuojamos polivinilacetato polimero bei vaško fizikinės savybės. Granulių dangos gamybos bei padengimo procesuose svarbiausios medžiagų savybės yra lydymosi temperatūra, kietėjimo temperatūra bei tirpalo ar lydalo

klampa. Atlikus savybių tyrimą nustatyta, kad tiek polivinylacetato, tiek vaško kietėjimo temperatūra yra per aukšta karbamido granulių dengimo procesui: polivinylacetato yra 60 °C, o vaško siekia 70 °C. Karbamido dengimo procesui būtina naudoti žemesnę temperatūrą, siekiant išvengti karbamido skilimo reakcijos.

Toliau buvo įvertinama galimybė kontroliuojamo veikimo karbamido dangos sintezei kaip pagrindą naudoti melasą. Ši medžiaga yra skystos formos, gerai tirpsta vandenyje, savo sudėtyje turi medžiagų, kurios teigiamai veikia augalus augimo bei vystymosi stadijose. Melasa yra šalutinis cukraus gamybos produktas, jos panaudojimas cheminėje pramonėje būtų itin naudingas gamybos procesu tvariam vykdymui. Taip pat galima tikėtis gauti melasą iš cukraus gamybos įmonių žema kaina, taip sumažinant padengtų karbamido granulių savikainą.

2.3.3. Kontroliuojamo veikimo dangos sintezė

Siekiant, kad gautos dengtos karbamido granulės būtų klasifikuojamos kaip mikroelementinės, granulių sudėtyje turi būti pasiektos atitinkamos mikroelementų kiekių ribos, kurios pateiktos 2.3 lentelėje [25].

2.3 lentelė. Mikroelementinių trąšų elementų kiekių žemutinės ribos

Eil. Nr.	Cheminis elementas	Procentinė trąšų masės dalis pasėliams ar pievoms, %
1.	Boras (B)	0,01
2.	Kobaltas	0,002
3.	Varis	0,01
4.	Geležis	0,5
5.	Manganas	0,1
6.	Molibdenas	0,001
7.	Cinkas	0,01

Įvertinama, kad granulės yra dengiamos danga, kuri sudaro apie 15% viso padengtos granulės svorio. Toliau tai bus įvertinama tirpinamo mikroelementų mišinio kiekio skaičiavimo metu. Nebūtina pasiekti visų mikroelementų ribų, gautos granulės gali būti vadinamos mikroelementinėmis pagal kelis konkrečius elementus. Tai priklausys nuo mikroelementų mišinyje esančių elementų tirpumo distiliuoto vandens ir melasos tirpale.

Dangos sintezei galima naudoti du skirtingus mikroelementų mišinius - „APC Mikro Forte 12“ (2.4 lentelė) bei „APC Mikro Forte 13“ (2.5 lentelė). Šie mišiniai skiriasi elementine sudėtimi, taip pat sudėtyje esantys elementai yra skirtingose formose.

2.4 lentelė. „APC Mikro Forte 12" mikroelementų mišinio sudėtis

Eil. Nr.	Cheminis elementas	Koncentracija, %
1.	Boras (B)	2,4
2.	Varis (Cu)	2,1
3.	Geležis (Fe)	1,6
4.	Manganas (Mn)	5,2
5.	Molibdenas (Mo)	0,044
6.	Cinkas (Zn)	3,7
80% mišinyje esančių mikroelementų yra chelatinės formos, 20 % mikroelementų yra sulfatų pavidalo (išskyrus borą (B) ir molibdeną (Mo)).		

2.5 lentelė. „APC Mikro Forte 13" mikroelementų mišinio sudėtis

Eil. Nr.	Cheminis elementas	Koncentracija, %
1.	Boras (B)	4,0
2.	Varis (Cu)	2,0
3.	Geležis (Fe)	1,5
4.	Manganas (Mn)	10,0
5.	Molibdenas (Mo)	0,04
6.	Cinkas (Zn)	6,0
100% sulfatinės formos mikroelementai.		

Buvo gaminami du vienodos koncentracijos melasos tirpalai, kuriuose buvo ištirpinami vienodi kiekiai skirtingų mikroelementų mišinių: pirmame bandinyje tirpinamas „APC Mikro Forte 12“ mišinys, antrame - „APC Mikro Forte 13“ mišinys. Taip pat buvo siekiama nustatyti kokią įtaką tirpumui turi skirtingose formose esantys mikroelementai. Gauti rezultatai aprašyti 2.6 lentelėje.

2.6 lentelė. Skirtingų mikroelementų mišinių tirpumo melasos tirpale analizė

Eil. Nr.	Distiliuoto vandens kiekis, g	Melasos kiekis, g	„APC Mikro Forte 12“ mikroelementų mišinio kiekis, g	„APC Mikro Forte 13“ mikroelementų mišinio kiekis, g	Pastebimi pakitimai
1.	85	15	25	-	60 °C temperatūroje mikroelementai nėra ištirpę iki galo; aušinant tirpalą, mikroelementai kristalizuojasi, matomas akivaizdus nuosėdų pagausėjimas esant 40 °C temperatūrai, tirpalas nėra stabilus.
2.	85	15	-	25	60 °C temperatūroje mikroelementai yra visiškai ištirpę, aušinant tirpalą, esant 40 °C mikroelementai nesikristalizuoja, ataušinus tirpalą iki kambario (20 °C) temperatūros susidaro minimalus kiekis nuosėdų, tirpalas yra sąlyginai stabilus.

Atlikus skirtingų mikroelementų mišinių tirpumą galima teigti, kad sulfatinėje formoje esantys elementai geriau tirpsta 15% koncentracijos melasos tirpale, o gautas tirpalas yra stabilesnis, lyginant su chelatinio pavidalo mikroelementų kompleksu, esant 40 °C temperatūrai ištirpusios medžiagos nesikristalizuoja. Įvertinus šiuos duomenis, tolimesnei tyrimo eigai buvo naudojamas „APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys.

Norint produkte pasiekti anksčiau nurodytas skirtingų mikroelementų ribas, dengimo procesui buvo naudojami keturi skirtingų koncentracijų tirpalai, kurių žymėjimas nurodo melasos ir mikroelementų koncentracijas tirpale. Pvz.: „10%/25%“ tirpalo žymėjimas nurodo, kad pradinio melasos ir distiliuoto vandens tirpalo koncentracija yra 10%, o jame yra ištirpinta 25% mikroelementų. Visų tyrimui naudotų tirpalų sudėtis pateikta 2.7 lentelėje.

2.7 lentelė. Melasos tirpalų bandinių sudėtis

Eil. nr.	Dangos tirpalo žymėjimas	Distiliuoto vandens masė, g	Melasos masė, g	Sulfatinės formos mikroelementų masė, g
1.	10%/25%	85,50	9,50	25,00
2.	5%/25%	90,25	4,75	25,00
3.	10%/20%	90,00	10,00	20,00
4.	5%/20%	95,00	5,00	20,00

Dangos tirpalui paruošti pirmiausia buvo sveriamas reikiamas kiekis melasos, supilamas į stiklinę. Į šią stiklinę toliau pilamas reikiamas kiekis distiliuoto vandens. Stiklinė laikoma ant elektrinės kaitinimo plytelės, šildoma apie 5 minutes 40 °C temperatūroje. Šildymo metu tirpalas buvo maišomas stikline lazdele, siekiant gauti homogenišką melasos tirpalą.

Pasibaigus melasos tirpinimą, tirpalo temperatūra pakeliama iki 60 °C. Pasiekus šią temperatūrą į tirpalą mažais kiekiais beriamas reikiamas kiekis mikroelementų mišinio. Miltelius svarbu dozuoti mažomis porcijomis, intensyviai maišant, kad nesusoktų. Mikroelementai tirpinami 5 minutes arba ilgiau – tirpimo procesas baigiamas tada, kada tirpale plika akimi nėra matoma neištirpusių mikroelementų druskų.

2.3.4. Karbamido granulių padengimas

Karbamido granulių padengimui naudojamas laboratorinis pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginys „O-Hara“ (2.1 pav.).



2.1 pav. Laboratorinis pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginys „O-Hara“

Pirmiausiai valdymo sistemoje suvedami eksperimentiniu būdu nustatyti optimaliausi pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginio parametrai, įskaitant ir maksimalias bei minimalias tam tikrų parametrų reikšmes, kurios veikia kaip dengimo proceso apsauga.

Į pseudo-verdančio sluoksnio apatinę dalį buvo supilamas nedengtų karbamido granulių 100 g bandinys. Dangos tirpalas pašildomas iki 40 °C temperatūros, naudojantis elektrine kaitinimo plytele, bei gerai išmaišomas. Į pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginio apatinę dalį buvo tiekiamas suspaustas oras, kuris karbamido granules palaiko pseudo-verdančiame sluoksnyje. Dengimui naudojamas tirpalas peristaltiniu siurbliuku buvo tiekiamas į įrenginio viršuje esantį purkštuko atvamzdį, į kurį taip pat tiekiamas iki 3 bar slėgio suspaustas atomizuojantis oras. Šis oro srautas susimaišo su dangos tirpalu ir dėl aukšto slėgio yra išpurškiamas per purkštuko angą. Granulės pasidengia kontroliuojamo veikimo danga. Padengtos granulės iš pseudo-verdančio sluoksnio

padengimo įrenginio išberiamos ir patalpinamos į elektrinę džiovyklą, kurioje palaikoma apie 40 °C temperatūra ir išdžiovinamos iki pastovios masės.

Tirpalo purškimas yra sustabdomas, o granulės kurį laiką džiovinamos įrenginyje. Džiūvimą skatina iš įrenginio apačios tiekiamas šilto, apie 30 °C temperatūros, oro srautas. Viso proceso metu panaudotas oras yra nukreipiamas per hepa filtrą ir po to pašalinamas.

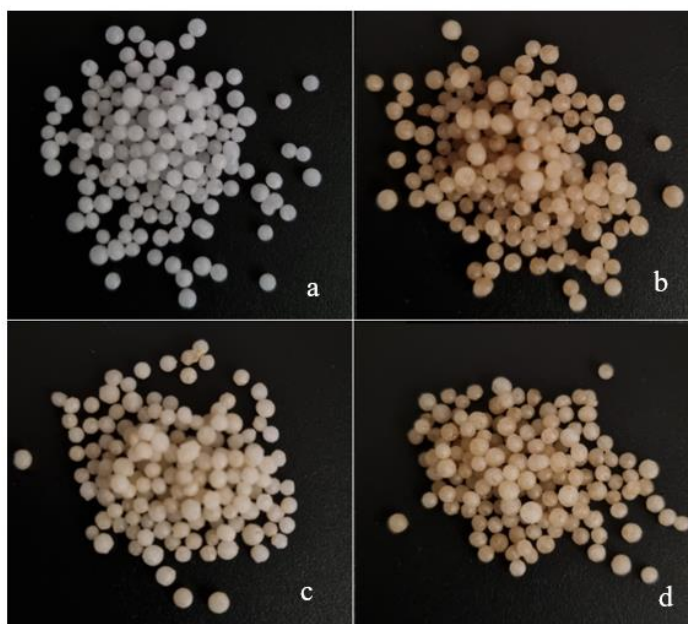
Šiuo principu, keičiant įvairius parametrus, buvo dengiama eilė karbamido granulių bandinių, naudojant skirtingų koncentracijų dangos tirpalus, kol buvo gautas patenkinamas rezultatas.

Kiti padengtų karbamido granulių bandiniai buvo dengiami naudojant laboratorinį rotacinį būgninį granuliatorių, kuriame granulės buvo apipurškiamos rankiniu būdu.

Šis dengimo būdas buvo vykdomas granulių padengimo įrenginių efektyvumo palyginimui. Būgninio tipo granuliatoriuje tolygiai padengti granules buvo sudėtingiau, nes laboratorinėmis sąlygomis nebuvo užtikrinamas tolygus tirpalo išpurškimas.

Granuliuoto produkto savybių tyrimui naudojami keturi skirtingi bandiniai (2.2 pav.):

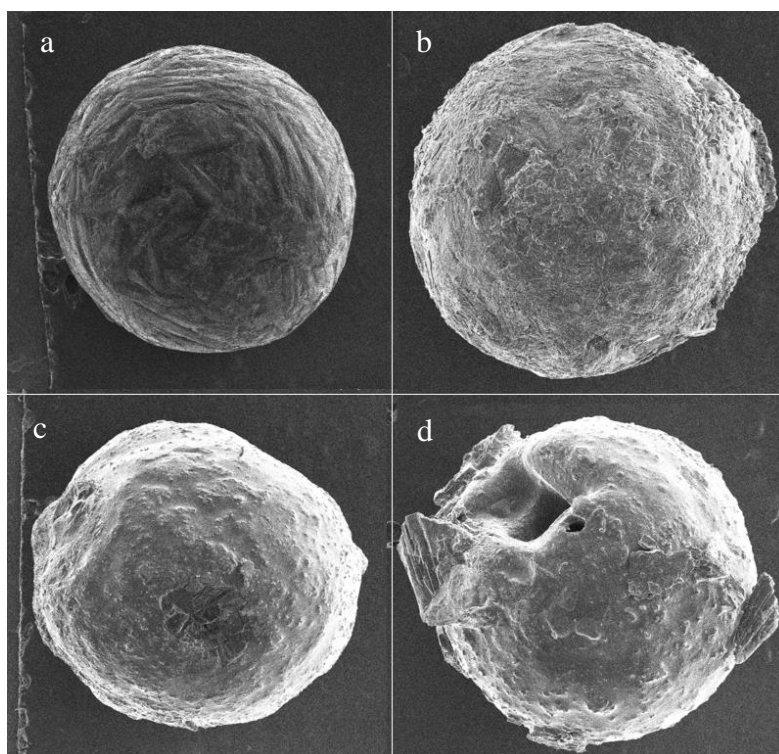
- Nedengtos karbamido granulės;
- 20%/20% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės;
- 5%/25% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės;
- 20%/20% danga būgninio tipo rotaciniame padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės.



2.2 pav. Karbamido granulių bandiniai: a) nedengtos karbamido granulės; b) 20%/20% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; c) 5%/25% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; d) 20%/20% danga būgniniame rotaciniame granuliatoriuje padengtos granulės

2.3.5. Karbamido granulių dangos analizė SEM-EDS metodu

Išdžiovintos padengtos karbamido granulės buvo sijojamos, siekiant atskirti pardavimui naudojamą 2-3 mm skersmens frakciją, nuo brokuotų granulių, įskaitant dengimo metu sulipusias ir sutrupėjusias granules. Iš kiekvieno bandinio buvo atrenkama po 5-10 granulių savybių nustatymui. Kaip atskaitos taškas, lygiagrečiai buvo analizuojamos ir nedengtos karbamido granulės. Visos šios granulės yra tiriamos skanuojamosios elektronų mikroskopijos analizės metodu. Šios analizės metu buvo fiksuojamos kelių skirtingų priartinių nuotraukos, kuriose matosi granulių paviršius. 2.3 paveiksle pateiktos 30 kartų priartintos visų keturių bandinių granulių nuotraukos.



2.3 pav. SEM metodo metu padarytos 30 kartų priartintos karbamido granulių bandinių nuotraukos: a) nedengtos karbamido granulės; b) 20%/20% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; c) 5%/25% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; d) 20%/20% danga būgniniame rotaciniame granuliatoriuje padengtos granulės

Iš šių nuotraukų galima matyti, jog pseudo-verdančio sluoksnio sraute padengtų granulių (2.3 pav. b ir c) paviršius yra kitokios struktūros nei nedengtos karbamido granulės (2.3 pav. a). Taip pat padengtos granulės paviršiuje esančioje dangoje matomi įsiskverbę skirtingų dydžių bei formų fragmentai, tikėtina, kad tai yra skirtingi mikroelementai. Nuotraukos patvirtina, kad karbamido granulių padengimo procesas buvo įvykdytas sėkmingai.

Nuotraukoje (2.3 pav. d) matoma, kad rotacinio tipo būgniniame dengimo įrenginyje gautos karbamido granulės yra pasidengusios netolygiu sluoksniu. Granulės paviršiuje matomos duobės, o gautos granulės nėra tvarkingos sferinės formos, dėl to priimama, kad šiuo metodu vykdytas padengimo procesas buvo nesėkmingas.

EDS analizės metodo metu taip pat buvo ištirta granuliu paviršiaus elementinė sudėtis, kuri rezultatuose yra išreikšta procentine masės dalimi (2.8 lentelė), o elementų pasiskirstymo tolygumas įvertintas elementų žemėlapiuose (2.4 pav.).

2.8 lentelė. EDS analizės metodu nustatytos bandinių elementinės sudėtys

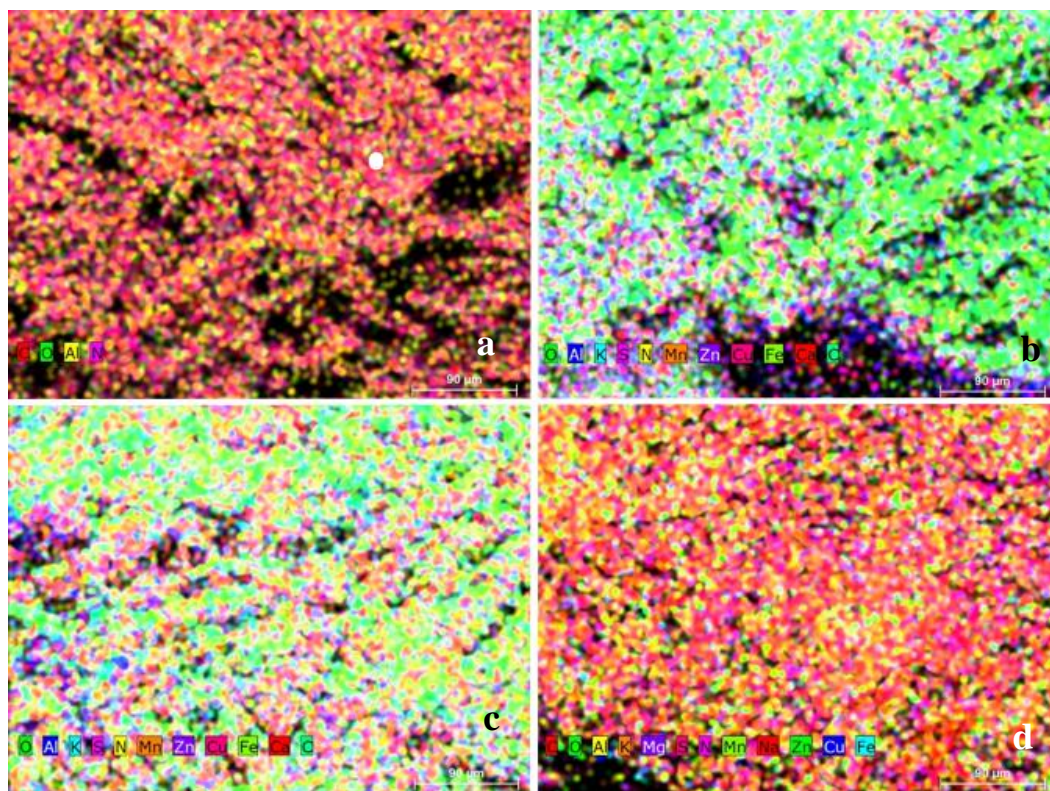
Eil. Nr.	Cheminis elementas, simbolis	1-as bandinys, nedengtos karbamido granulės	2-as bandinys, 20%/20% dangą, pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginys	3-ias bandinys, 5%/25% dangą, pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginys	4-as bandinys, 20%/20% dangą, būgninio tipo dengimo įrenginys
1.	Anglis, (C)	11,16 %	6,38 %	5,94 %	9,17 %
2.	Azotas, (N)	51,30 %	34,53 %	30,49 %	37,40 %
3.	Deguonis, (O)	37,26 %	43,70 %	42,40 %	40,69 %
4.	Manganas, (Mn)	-	3,58 %	5,02 %	2,78 %
5.	Cinkas, (Zn)	-	4,04 %	5,37 %	3,26 %
6.	Geležis, (Fe)	-	1,20 %	1,72 %	0,92 %
7.	Kalis, (K)	-	0,72 %	0,65 %	0,84 %
8.	Siera, (S)	-	3,11 %	4,82 %	2,48 %
9.	Varis, (Cu)	-	1,87 %	2,63 %	3,26 %
10.	Kalcis, (Ca)	-	0,30 %	0,39 %	-

Iš lentelėje pateiktų duomenų matoma, jog nedengtos karbamido granulės susideda iš anglies, azoto ir deguonies elementų.

Padengtų karbamido granuliu sudėtyje randami mangano, cinko, geležies ir vario mikroelementai, kurie buvo įterpti į dangą naudojant „APC Mikro Forte 13“ mikroelementų mišinį. Sudėtyje taip pat randami kalio, sieros ir kalcio elementai, kurie į granulės sudėtį įterpiami dėl dangos pagrindui naudojamos melasos.

Bandinių elementinė sudėtis viena nuo kitos gali skirtis dėl skirtingų padengimui naudojamų tirpalų koncentracijų, taip pat dėl skirtingų dengimo metodų.

EDS analizės metu buvo sudaryti skirtingomis sąlygomis padengtų bei nedengtų karbamido granuliu elementų žemėlapiai (2.4 pav.), kurie nurodo elementų pasiskirstymą granulės paviršiuje



2.4 pav. EDS elementų žemėlapis: a) nedengtos karbamido granulės; b) 20%/20% danga pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; c) 5%/25% danga pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje padengtos karbamido granulės; d) 20%

Pateiktuose bandinių elementų žemėlapiuose matoma, kad pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje gautų karbamido granuliu (2.4 pav b ir c) paviršiuose mikroelementai yra pasiskirstę tolygiai, elementų žemėlapiuose figūruoja žalia bei violetinė spalvos, nurodančios geležies ir cinko mikroelementus. Tuo tarpu nedengtų ir būgninio tipo granuliatoriuje padengtų karbamido granuliu elementų žemėlapiai tarpusavyje yra panašūs – figūruoja rožinė ir raudona spalvos, kurios nurodo anglies ir azoto elementus. Remiantis šiais duomenimis, galima teigti, kad būgninio tipo granuliatoriuje vykdytas dengimo procesas nebuvo sėkmingas, o gautos karbamido granulės nėra padengtos tolygiai. Lyginant pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje gautus granuliu elementų žemėlapius, matomas spalvų kontrastų skirtumas, nurodantis mikroelementų koncentracijas bei jų pasiskirstymą ant granulės paviršiaus.

Remiantis EDS analizės metu padarytomis skirtingų bandinių granuliu paviršiaus nuotraukomis, elementine sudėtimi bei elementų žemėlapiu, galima teigti, kad naudojant 20%/20% dangą ir pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginį buvo gauti geriausi rezultatai. Be to pagal ED rezultatuose pateiktus elementų kiekius, galima patvirtinti, kad pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje, naudojant 20%/20% kontroliuojamo veikimo dangos tirpalą, gautos karbamido granulės gali būti klasifikuojamos kaip mikroelementinės pagal vario, geležies, mangano bei cinko mikroelementus.

2.3.6. Padengtų karbamido granuliu savybių analizė

Naudojantis laboratorijoje esančia įranga buvo ištirtos pagrindinės padengtų karbamido granuliu fizikinės savybės, kurios buvo sulyginamos su nedengtų karbamido granuliu savybėmis, kad būtų galima nustatyti tyrimo įgyvendinimo sėkmingumą.

Pirmiausia buvo atliekami karbamido granulėje esančio drėgmės kiekio matavimai. Kiekvieno bandinio drėgmės kiekis buvo matuojamas 10 kartų, o rezultatuose yra pateikiama visų matavimų vidurkis. Šiai analizei buvo naudojama skaitmeniniu drėgmės matuokliu „KERN“. Gauti rezultatai pateikti 2.9 lentelėje.

2.9 lentelė. Karbamido granulių drėgmės kiekio matavimo rezultatai

Mėginys	1-as bandinys, nedengtos karbamido granulės	2-as bandinys, 20%/20% danga, pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginys	3-ias bandinys, 5%/25% danga, pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginys	4-as bandinys, 20%/20% danga, būgninio tipo dengimo įrenginys
Vidutinis drėgmės kiekis, %	0,797	0,760	0,782	1,154

Atlikto drėgmės kiekio nustatymo tyrimo metu gauti rezultatai rodo, kad pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje gautų granulių drėgmės kiekis minimaliai skiriasi nuo nedengtų karbamido granulių. Tačiau būgninio tipo padengimo įrenginyje gautos granulės yra gaunamos su šiek tiek didesniu drėgmės kiekiu, taip gali būti dėl to, jog tokiu būdu padengtoms granulėms reikia daugiau laiko išdžiūti, nei pseudo-verdančio sluoksnio įrenginyje gautoms granulėms, kadangi šios dalį drėgmės pašalina būdamos pseudo-verdančiame sluoksnyje.

Vienas iš svarbiausių karbamido granulių fizikinis parametras yra granulių stipris. Siekiant gauti kuo įmanoma tikslesnius granulių stiprio duomenys, yra tiriama 20 kiekvieno bandinio granulių, kadangi kiekviena granulė gali būti skirtingai pasidengusi. Gauti rezultatai pateikti 2.10 lentelėje.

2.10 lentelė. Karbamido granulių stiprio matavimo rezultatai

Bandymo numeris	1-as bandinys, nedengtos karbamido granulės stipris, N	2-as bandinys, 20%/20% danga, pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginyje gautos granulės stipris, N	3-ias bandinys, 5%/25% danga, pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginyje gautos granulės stipris, N	4-as bandinys, 20%/20% danga, būgninio tipo dengimo įrenginyje gautos granulės stipris, N
1.	8,3	15,9	14,4	9,1
2.	9,1	12,3	9,5	11,3
3.	9,6	15,6	15,6	17,7
4.	10,8	17,1	10,7	7,2
5.	9,6	19,4	15,1	9,5
6.	8,8	13,1	10,1	15,4
7.	9,3	12,3	11,8	9,8
8.	9,1	14,4	12,9	9,6
9.	12,3	12,5	12,3	9,1
10.	7,8	9,7	10,3	16,9
11.	8,0	16,9	9,8	7,8
12.	7,5	14,6	13,4	8,3
13.	11,9	14,9	8,7	9,8

2.10 lentelės tęsinys

14.	7,0	12,3	9,3	10,1
15.	11,6	13,1	10,9	7,7
16.	9,3	12,6	10,0	9,0
17.	9,1	15,3	13,5	15,6
18.	7,5	9,8	12,6	10,4
19.	9,7	10,1	9,1	11,0
20.	9,3	12,3	9,7	8,3
Vidurkis:	9,28	13,71	11,49	10,18

Iš lentelėje (2.10 lentelė) pateiktų rezultatų matyti, kad visais atvejais padengtų granulių stipris yra didesnis nei nedengtų. Pagal tyrimo duomenis galima teigti, kad 20%/20% danga pseudo-verdančio sluoksnio įrenginyje gautų granulių padengimo procesas buvo įgyvendintas geriausiai, granulės pasižymi didžiausiu atsparumu spaudimui. Būgninio tipo įrenginyje gautų granulių rezultatuose matomi dideli reikšmių nukrypimai, tai nurodo, kad padengimo procesas nebuvo įvykdytas sklandžiai. Naudojant 2-ojo bandinio rezultatuose pateiktą granulės stiprio vidurkį, matoma, kad kontroliuojamo veikimo danga 47,7 % padidino granulės atsparumą spaudimo jėgai.

Higroskopiškumo analizė atliekama siekiant nustatyti karbamido granulių sugeriamos drėgmės kiekį. Šis granulių parametras yra svarbus parenkant karbamido granulių sandėliavimo bei transportavimo sąlygas. Šis tyrimas buvo atliekamas patalpinant vieną partiją keturių skirtingų mėginių į eksikatorių virš vandens, o kitą partiją – į eksikatorių, kurio apačioje yra natrio nitrito tirpalas. Eksperimento metu vandens pripildytame eksikatoriuje buvo palaikoma 21,5 °C temperatūra, o santykinė oro drėgmė – 99,5 %. Eksikatoriuje pripildytame prisotintu natrio nitrito tirpalu buvo palaikoma 21,8 °C temperatūra, o santykinė oro drėgmė – 62,4 %. Kiekvienas bandinys buvo tiksliai pasveriamas prieš patalpinant į indą, toliau bandiniai sveriami praėjus tam tikram laiko momentui ir apskaičiuojamas sugertas drėgmės kiekis. Gauti rezultatai pateikti 2.11 lentelėje.

2.11 lentelė. Karbamido granulių higroskopiškumo tyrimo rezultatai

Eil. Nr.	Granulių išbuvimo stikliniame inde laikas	1-as bandinys, nedengtų karbamido granulių sugertas drėgmės kiekis, %		2-as bandinys, 20%/20% danga, pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginyje gautų granulių sugertas drėgmės kiekis, %		3-ias bandinys, 5%/25% danga, pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginyje gautų granulių sugertas drėgmės kiekis, %		4-as bandinys, 20%/20% danga, būgninio tipo dengimo įrenginyje gautų granulių sugertas drėgmės kiekis, %	
		Virš vandens	Virš NaNO ₂ tirpalo	Virš vandens	Virš NaNO ₂ tirpalo	Virš vandens	Virš NaNO ₂ tirpalo	Virš vandens	Virš NaNO ₂ tirpalo
1.	24 val.	9,03	2,32	5,06	1,27	6,18	1,48	8,04	2,58
2.	48 val.	19,37	10,04	10,91	7,66	14,98	8,16	16,51	9,61
3.	72 val.	28,61	19,37	17,27	11,97	19,62	12,90	21,63	15,51

Pateikti rezultatai nurodo, kad kontroliuojamo veikimo danga padengtos granulės sugeria mažiau drėgmės nei nedengtos granulės, tai patvirtina, kad tyrimas įgyvendintas sėkmingai. Taip pat naudojantis rezultatais galima teigti, kad 20%/20% danga pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje vykdytas padengimo procesas buvo sėkmingiausias, nes po 72 val. virš vandens patalpintos

padengtos karbamido granulės buvo sugėrusios 39 % mažiau drėgmės nei nedengtos karbamido granulės.

Taip pat buvo ištirtos ir kitos karbamido granulių bandinių savybės, tokios kaip: laisvasis piltinis tankis, sutankintas piltinis tankis bei 10% koncentracijos tirpalo pH terpė. Šie parametrai yra svarbūs sandėliavimo ir transportavimo klausimams išspręsti bei žemės ūkio technikos, tokios kaip trąšų purkštuvai, optimalių veikimo parametrų nustatymui. Gauti rezultatai pateikti 2.12 lentelėje.

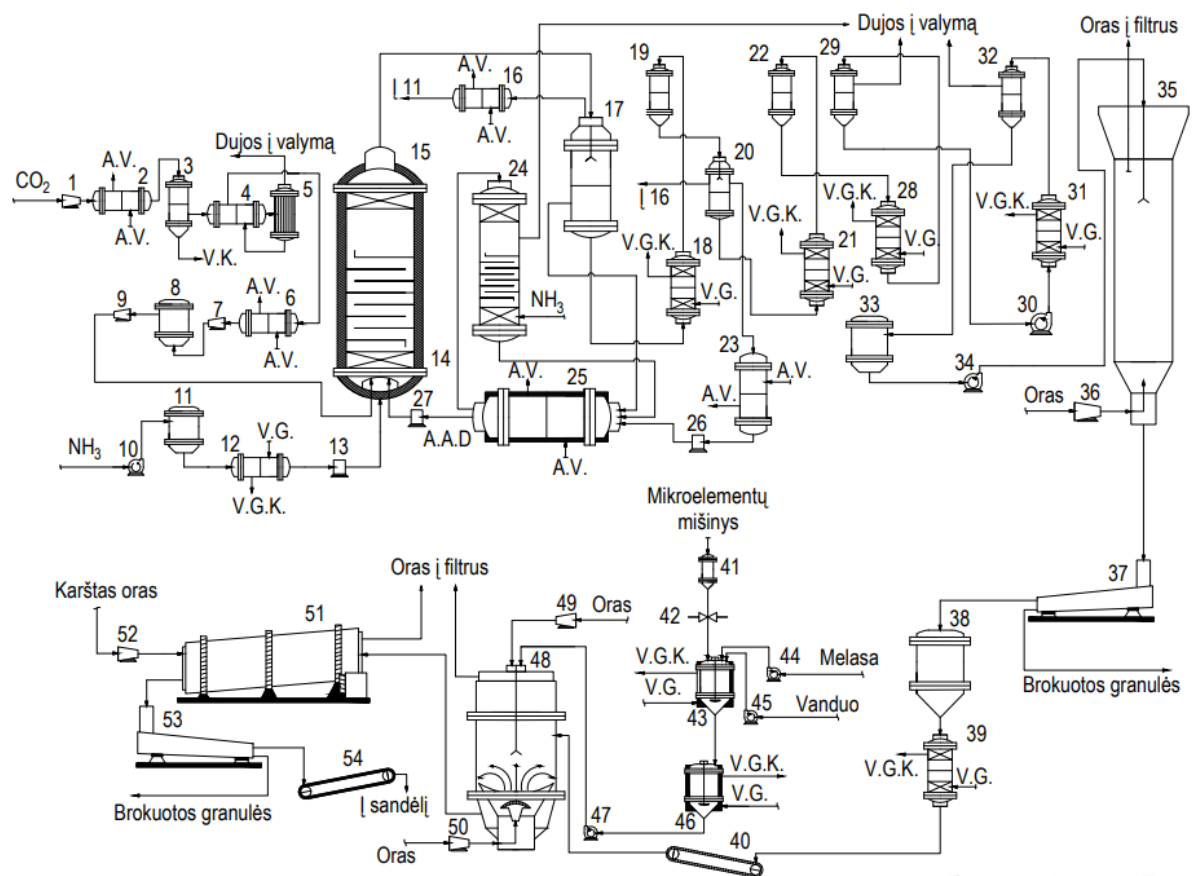
2.12 lentelė. Karbamido granulių bandinių fizikinės savybės

Eil. Nr.	Parametras	1-as bandinys, nedengtos karbamido granulės	2-as bandinys, 20%/20% danga, pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginys	3-ias bandinys, 5%/25% danga, pseudo-verdančio sluoksnio tipo dengimo įrenginys	4-as bandinys, 20%/20% danga, būgninio tipo dengimo įrenginys
1.	Laisvasis piltinis tankis, g/l	722,5	638,1	622,6	541,3
2.	Sutankintas piltinis tankis, g/l	757,2	667,4	679,4	574,8
3.	10% tirpalo pH terpė	7,55	6,78	5,75	6,51

Remiantis gautais tiriamosios dalies rezultatais, galima apibendrinti, kad laboratorinio tyrimo metu gautos kontroliuojamo veikimo danga su įterptais mikroelementais padengtos karbamido granulės yra labiau atsparios spaudimo jėgai bei drėgmės sugėrimui nei nedengtos karbamido granulės. Šios granulės yra pranašesnės, nes jas paprasčiau sandėliuoti bei transportuoti, o patyrus dirvožemį dengtomis granulėmis, veikliosios medžiagos tirpsta lėčiau, augalui yra tiekiami vienodesni medžiagų kiekiai ilgesnį laiko tarpą, dėl to mažiau veikliųjų medžiagų išsiplauna į gruntinius vandenius, dėl to yra sumažinama aplinkos užterštumo grėsmė.

3. Inžinerinė dalis

Karbamido granulės yra gaminamos naudojantis sintezės technologiją (3.1 pav.) su anglies amonio druskų reciklu.



3.1 pav. Kontroliuojamo veikimo danga su mikroelementais padengtų karbamido granulių gamybos technologinė schema

1 – stūmoklinis kompresorius; 2 – korpusinis šilumokaitis; 3 – dujinės fazės separatorius; 4 – šilumokaitis-rekuperatorius; 5 – kontaktinis aparatas; 6 – korpusinis šilumokaitis; 7 – stūmoklinis kompresorius; 8 – anglies dioksido dujų buferinė talpa; 9 – stūmoklinis kompresorius; 10 – išcentrinis siurblys; 11 – skysto amoniako buferinė talpa; 12 – korpusinis šilumokaitis; 13 – plunžerinis siurblys; 14 – sintezės kolonos žaliavų sumaišymo zona; 15 – sintezės kolona; 16 – amoniako kondensatorius; 17– 1-ojo laipsnio distiliacijos kolona; 18 – korpusinis šilumokaitis; 19 – dujinės fazės separatorius; 20 – 2-ojo laipsnio distiliacijos kolona; 21 – korpusinis šilumokaitis; 22 – dujinės fazės separatorius; 23 – vertikalus dujų kondensatorius; 24 – praplovimo kolona; 25 – barbotážo įrenginys; 26 – plunžerinis siurblys; 27 – plunžerinis siurblys; 28 – korpusinis forišgarinimo šilumokaitis; 29 – dujinės fazės separatorius; 30 – išcentrinis siurblys; 31 – korpusinis išgarinimo šilumokaitis; 32 – dujinės fazės separatorius; 33 – karbamido lydalo buferinė talpa; 34 – išcentrinis siurblys; 35 – granuliavimo bokštas; 36 – stūmoklinis kompresorius; 37 – karbamido granulių vibrosietas; 38 – karbamido granulių buferinė talpa; 39 – granulių korpusinis šilumokaitis-pašildytuvas; 40 – juostinis transporteris; 41 – mikroelementų mišinio talpa; 42 – peilinė sklendė; 43 – dangos paruošimo talpa; 44 – išcentrinis siurblys; 45 – išcentrinis siurblys; 46 – dangos tirpalo buferinė talpa; 47 – išcentrinis siurblys; 48 – pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginys; 49 – išcentrinis kompresorius; 50 – išcentrinis kompresorius; 51 – būgninė rotacinė džiovykla; 52 – išcentrinis kompresorius; 53 – granulių vibrosietas; 54 – juostinis transporteris; V.G. – vandens garai; V.G.K. – vandens garų kondensatas; A.V. – cirkuliuojantis aušinimo vanduo; A.A.D. – anglies amonio druskos.

Ši technologija susideda iš pagrindinių šešių etapų: žaliavų paruošimo ir transportavimo; karbamido sintezės; dviejų laipsnių karbamido tirpalo distiliacijos; forišgarinimo bei išgarinimo procesu, granuliavimo ir padengimo. Ši technologija yra modifikuojama, papildomai pridedant karbamido granulių padengimo etapą, kuris yra vykdomas po granuliavimo. Ši technologija yra pranaši tuo, kad iš sintezės kolonoje gauto tirpalo dviejų laipsnių distiliacijos etape yra atskiriamos anglies amonio druskos, kurios po to yra gražinamos į karbamido sintezės koloną, siekiant padidinti karbamido gamybos efektyvumą, sintezės etape sunaudojant kiek įmanoma daugiau žaliavų, bei konvertuojant susidariusius šalutinius produktus. Be to karbamido granules padengus melasos ir mikroelementų danga, gaunamas kokybiškesnis produktas

3.1. Anglies dioksido dujų bei skysto amoniako paruošimas ir transportavimas

Karbamido sintezės procesas prasideda nuo žaliavų paruošimo etapo. Siekiant pasiekti kuo aukštesnį proceso efektyvumą, reikia suslėgti ir išgryninti anglies dioksido dujas. Iš anglies dioksido dujų talpyklos, stūmokliniu kompresoriumi (1) šios dujos yra suspaudžiamos ir transportuojamos į korpusinį šilumokaitį-aušintuvą (2), kuriame, naudojantis cirkuliuojančiu aušinimo vandeniu, suslėgtos anglies dioksido dujos yra atvėsintos. Iš atvėsintų dujų išsiskiria drėgmė vandens lašų pavidalu, kuri yra pašalinama dujinės fazės separatoriuje (3), o gautas vandens kondensatas yra nukreipiamas į vandens valymo stotelę. Gautos sausos anglies dioksido dujos toliau tiekiamos į korpusinį šilumokaitį-rekuperatorių (4), kuriame dujos yra pašildomos naudojant tolimesniuose etapuose išskirtų karštų dujų srautus. Sausos pašildytos anglies dioksido dujos dėl slėgių skirtumo savaime patenka į kontaktinį aparatą (5), kuriame, naudojant rutenio paladžio katalizatorių, yra vykdomas nepageidaujimų degių dujų, tokių kaip metanas, sudeginimo procesas. Šiame etape gaunamos aukštos temperatūros dujos yra nukreipiamos per karštąją anksčiau aprašyto korpusinio šilumokaičio-rekuperatoriaus (4) dalį ir perteklinė šiluma yra panaudojama anglies dioksido dujų, tiekiamų į šaltąją šilumokaičio-rekuperatoriaus zoną, pašildymui. Išgrynintos dujos yra ataušinamos korpusiniame šilumokaityje (6), iš kurio stūmokliniu kompresoriumi (7) yra transportuojamos į anglies dioksido dujų buferinę talpą (8), iš kurios dujos toliau stūmokliniu kompresoriumi (9) yra tiekiamos į karbamido sintezės etapą.

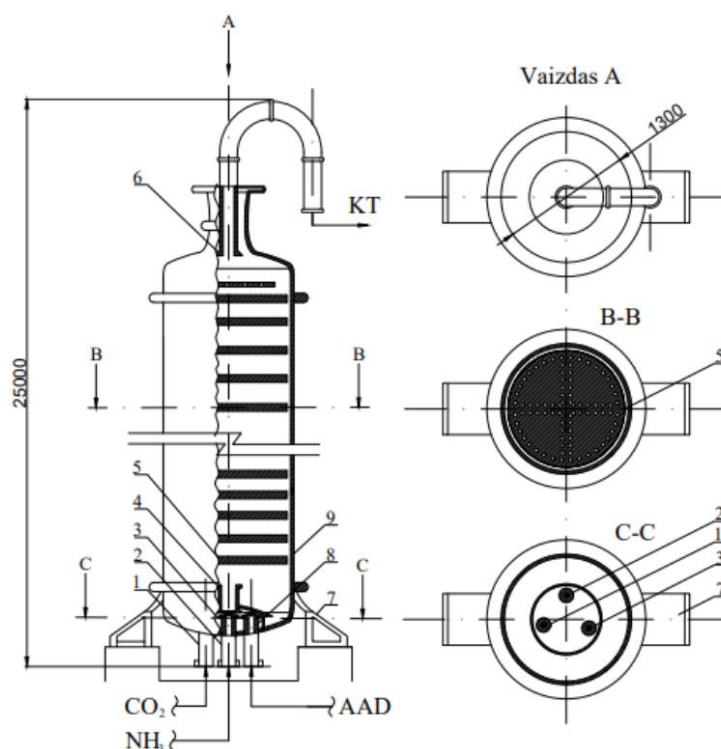
Lygiagrečiai dujų paruošimo procesui vykdomas ir skysto amoniako paruošimas bei transportavimas. Šis procesas yra žymiai paprastesnis, kadangi amoniakas šiuo atveju yra gaunamas iš amoniako gamybos cecho, dėl to nėra būtinas papildomas valymas ir gryninimas. Svarbiausiai užtikrinti, kad skysto amoniako buferinė talpa (11) nebūtų tuščia, užpildymui yra naudojamas išcentrinis siurblys (10). Iš buferinės talpos skystas amoniakas yra pašildomas korpusiniame šilumokaityje-pašildytuve (12) ir plunžeriniu siurbliu (13) yra transportuojamas į karbamido sintezės kolonos žaliavų sumaišymo zoną (14), kurioje yra gaunamas anglies dioksido dujų, skysto amoniako ir iš tolimesnių gamybos etapų gautų recirkuliuojančių anglies amonio druskų mišinys.

3.2. Karbamido sintezė

Karbamido sintezės procesas yra vykdomas vertikalioje sintezės kolonoje (15), kuri yra pateikta 3.2 paveiksle. Į kolonos apatinę dalį, žaliavų sumaišymo zoną (14), tiekiamos anglies dioksido dujos, skystas amoniakas bei recirkuliuojančios anglies amonio druskos sudaro homogenišką mišinį. Šioje zonoje palaikoma apie 150 °C temperatūra. Gautas mišinys toliau patenka į kolonos sintezės ertmę, kurioje vyksta dvi pagrindinės reakcijos: reaguojantys anglies dioksidas bei amoniakas sudaro amonio karbamatą; amonio karbamato konversija į karbamidą pašalinant vandenį.



Sintezės kolonoje yra palaikoma 190-195 °C temperatūra ir 190-200 bar slėgis. Vykdamas sintezę šiomis sąlygomis gautas produktas yra sudarytas iš skystos ir dujinės fazių. Skystą fazę sudaro vandenyje ištirpę amoniakas, amonio karbamatas bei karbamidas, o dujinėje fazėje lieka nesureagavusios anglies dioksido dujos, amoniakas bei vandens garai. Sintezės procesas vyksta ant perforuotų lėkščių, kurios padidina reakcijos vyksmo paviršiaus plotą, taip pat tarp lėkščių susidaro dujų pagalvė, kuri padeda išvengti slėgio pulsacijų aparate. Toks sintezės kolonos veikimo principas nukreipia susidariusių produktų bei nesureagavusių žaliavų srautą link viršutinio kolonos atvamzdžio, per kurį mišinys yra pašalinamas ir nukreipiamas į tolimesnius karbamido sintezės etapus.



3.2 pav. Karbamido sintezės kolonos brėžinys su pjūviais

1 – anglies dioksido dujų tiekimo atvamzdis; 2 – skysto amoniako tiekimo atvamzdis; 3 – komponentų sumaišymo zona; 4 – komponentų mišinio tiekimo atvamzdis; 5 – perforuota plokštė; 6 – KT išleidimo atvamzdis; 7 – konstrukcijos tvirtinimo elementas; 8 – AAD tiekimo atvamzdis; 9 – sintezės kolonos korpusas; AAD – anglies amonio druskos; KT – karbamido tirpalas.

3.3. Dviejų laipsnių karbamido tirpalo distiliacija

Karbamido sintezės kolonoje (15) susidaręs mišinys toliau tiekiamas į pirmojo laipsnio distiliacijos koloną (17), kurioje dalis skysto amoniako yra paverčiamas dujiniu ir per kolonos viršuje esantį atvamzdį yra nukreipiamas į korpusinį šilumokaitį-aušintuvą (16), iš kurio po to patenka atgal į skysto amoniako buferinę talpą (11).

Distiliacijos kolonoje (17) gautas tirpalas nukreipiamas į korpusinį šilumokaitį-pašildytuvą (18), kuriame vandens garais temperatūra yra pakeliama iki 150 °C. Šioje temperatūroje dalis nekonvertuoto į karbamidą amonio karbamatas skyla į pradines pirmosios reakcijos žaliavas: anglies

dioksidą ir amoniaką. Abu skilimo reakcijoje gauti produktai yra dujinėje fazėje ir iš tirpalo yra pašalinami dujinės fazės separatoriuje (19).

Pirmojo laipsnio distiliacijos etapo dujinės fazės separatoriuje (19) gautas karbamido tirpalas patenka į antrojo laipsnio distiliacijos koloną (20), kurioje iš tirpalo yra atskiriama likusi dalis nesureagavusio skysto amoniako. Atskirtos amoniako dujos yra nukreipiamos į korpusinį šilumokaitį-aušintuvą (16), kuriame dujinė fazė paverčiama į skystą, o ši toliau yra tiekiamą į skysto amoniako buferinę talpą (11).

Iš antrojo laipsnio distiliacijos kolonos (20) karbamido tirpalas toliau patenka į korpusinį šilumokaitį-pašildytuvą (21), kuriame suskaidoma likusi nesureagavusio amonio karbamato dalis. Susidariusios anglies dioksido bei amoniako dujos susijungia į vieną srautą su pirmojo distiliacijos etapo dujinės fazės separatoriuje atskirtomis dujomis ir yra nukreipiamos į karštąją korpusinio šilumokaitio-rekuperatoriaus dalį (4), siekiant susigražinti didžiąją dalį šilumos.

Šiame karbamido gamybos etape gautos dujos yra nukreipiamos į babrotažo įrenginį (25), kuris yra sujungtas su praplovimo kolona (24). Abu šie įrenginiai yra atsakingi už anglies dioksido ir amoniako dujų atskyrimą vieną nuo kitos, siekiant į procesą sugražinti kiek įmanoma didesnę kiekį amoniako. Vykstant dujų išgryninimui barbotazo įrenginyje (25) susidaro šalutiniai anglies amonio druskų produktai, kurie naudojantis plunžeriniu siurbliu (27) yra tiekiami atgal į sintezės kolonos apatinę dalį (14). Čia anglies amonio druskos susimaišo su pradiniais skysto amoniako ir anglies dioksido dujų srautais ir yra panaudojamos kaip žaliava amonio karbamato gamybai.

3.4. Karbamido tirpalo forišgarinimo ir išgarinimo procesai

Antrojo distiliacijos etapo dujinės fazės separatoriuje (22) gautas karbamido tirpalas toliau yra tiekiamas į forišgarinimo korpusinį šilumokaitį-pašildytuvą (28), kuriame karštais vandens garais temperatūra pakeliama iki 100 °C. Šiomis sąlygomis dalis vandens iš skystosios fazės pereina į dujinę fazę. Gautas mišinys transportuojamas į dujinės fazės separatorių (29), kuriame susidarę vandens garai yra pašalinami. Šiame etape gauto karbamido tirpalo koncentracija yra apie 75%.

Gautas karbamido tirpalas išcentrinu siurbliu (30) toliau yra transportuojamas į išgarinimo korpusinį šilumokaitį-pašildytuvą (31). Karštais vandens garais karbamido tirpalo temperatūra yra pakeliama iki 120 °C, siekiant pašalinti likusią vandens dalį. Susidarę vandens garai nuo karbamido lydalo yra atskiriami dujinės fazės separatoriuje (32), iš kurio ištekancio karbamido lydalo koncentracija yra 90-92 %. Lydalas tiekiamas į buferinę talpą (33).

3.5. Granuliavimas

Išgrynintas karbamido lydalas iš buferinės talpos (33) išcentrinu siurbliu (34) yra transportuojamas į granuliavimo bokšto (35) viršuje esančią filtravimo zoną, kuri sumažina riziką, kad į purkštukus pateks nepageidaujamos mechaninės priemaišos, galinčios užkimšti ar pažeisti išpurškimo sistemą. Iš filtrų lydalas pro purkštukų antgalius yra išpurškiamas, susidaro karbamido lydalo lašai, kurie veikiami gravitacijos jėgos krenta žemyn. Granuliavimo bokšto (35) apatinėje zonoje yra įrengti galingi stūmokliniai oro kompresoriai (36), kurie nukreipia orą link granuliavimo bokšto (35) viršaus. Šis oras aušina krentančius karbamido lydalo lašelius, jie pradeda vėsti, o atvėsus iki 80 °C temperatūros pradeda kristalizuotis, taip sudarydami granules. Apatinėje bokšto zonoje esantys stūmokliniai oro kompresoriai (36) taip pat sudaro granulių pseudo-verdantį sluoksnį, kuriame

granulės vėsta, taip pat kontaktuodamos viena su kita sudaro beveik idealios sferos formą. Pseudo-verdantis sluoksnis yra palaikomas ant perforuotos plokštės, kurios skylučių diametras yra per mažas granulėms nukristi žemiau jo, tačiau užtenkamo skersmens, kad prasiskverbtų tiekiamo oro srautas. Ši plokštė yra įmontuota su nuolydžiu, kuris nukreipia dalį atvėsusių karbamido granulių į vibrosietus (37). Šiuose įrenginiuose 2-3 mm skersmens karbamido granulės yra atskiriamos nuo per mažų ir per didelių, kurios toliau nukreipiamos į brokuotų granulių talpas, iš kurių gali būti gražinamos į išgarinimo etapą arba pakuojamos kaip brokuotos, pardavimo produkcijai netinkančios, granulės.

3.6. Granulių dengimas kontroliuojamo veikimo danga

3.6.1. Kontroliuojamo veikimo dangos paruošimas

Pirmiausiai yra paruošiamas dangos tirpalas. Į dangos paruošimo talpą (43) išcentrinu siurbliu (45) yra dozuojamas reikiamas kiekis distiliuoto vandens, taip pat išcentrinu siurbliu (44) yra tiekiamas atitinkamas kiekis melasos, įjungiama maišyklė. Naudojant karštus vandens garus sumaišymo talpos temperatūra yra pakeliama iki 40 °C. Reikiamas kiekis mikroelementų mišinio miltelių yra suberiamas į mikroelementų mišinio talpą (41). Iš jos, naudojantis peiline sklende (42), milteliai yra suberiami į besimaišantį iki 40 °C temperatūros pašildytą melasos tirpalą, esantį dangos paruošimo talpoje (43). Tirpalo temperatūra pakeliama iki 60 °C ir maišoma 30 min iki kol mikroelementai visiškai ištirps. Gautas tirpalas toliau yra transportuojamas į dangos tirpalo buferinę talpą (46), kurioje karštais vandens garais yra palaikoma 50 °C temperatūra, taip pat periodiškai įjungiama maišyklė.

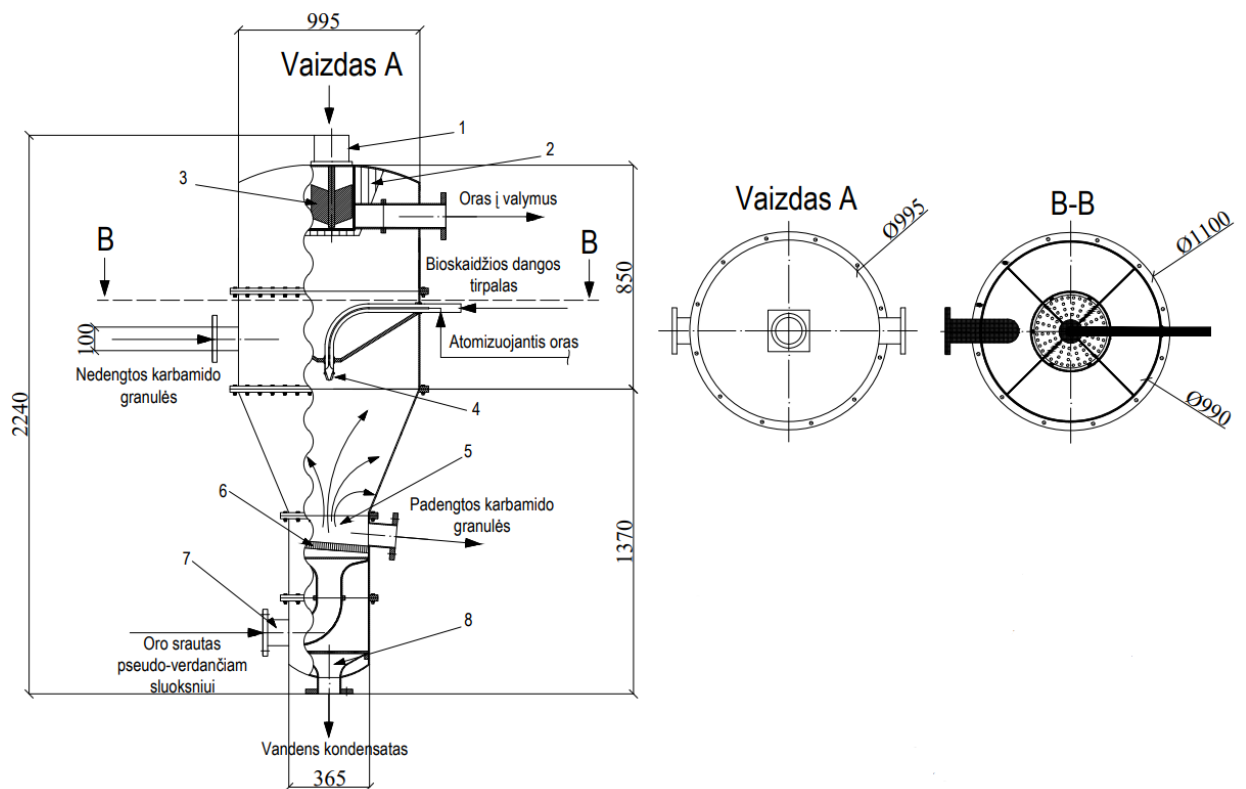
3.6.2. Karbamido granulių pašildymas ir transportavimas

Iš granulatoriaus granulės patenka į buferinę talpyklą (38), iš kurios partijomis granulės yra tiekiamos pro korpusinį šilumokaitį-pašildytuvą (39), kuriame granulių temperatūra pakeliama iki 50 °C, link pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginio (48), transportavimui naudojama pneumatinė bei juostinio transporterio transportavimo sistema (40).

3.6.3. Karbamido granulių padengimas pseudo-verdančio sluoksnio padengėjo įrenginyje

Karbamido granulės į pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginį (48), kuris pavaizduotas 3.3 paveiksle, patenka per šone esantį atvamzdį. Granulės veikiamos gravitacijos krenta ant padengėjo apačioje esančios perforuotos plokštės (6), kuri yra įmontuota su nuožulnumu, kad paprasčiau ištraukti padengtas granules iš įrenginio. Supylus reikiamą kiekį karbamido granulių yra paleidžiamas oro kompresorius, per atvamzdį (7) tiekiantis pašildytą orą į apatinę padengėjo dalį, iš kurios oro srautas yra nukreipiamas per perforuotą plokštę (6) link padengėjo viršutinės zonos. Taip yra sukuriamas pseudo-verdantis sluoksnis.

Iš dangos tirpalo buferinės talpos (46) išcentrinu siurbliu (47) reikiamas kiekis tirpalo yra tiekiamas į padengėjo įrenginio viršutinėje dalyje esančią išpurškimo sistemą. I šią sistemą tuo pačiu metu yra tiekiamas aukšto slėgio, apie 2,5 bar, atomizuojantis oras, kuriame susidaro dangos tirpalo lašeliai. Šis srautas yra nukreipiamas pro purkštuko antgalį (4) esantį vidurinėje pseudo-verdančio sluoksnio padengėjo dalyje, apie 0,5 metro nuo pseudo-verdančio sluoksnio (5) viršaus.



3.3 pav. Pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginio brėžinys su pjūviais

1 – pašalinamo oro ventiliatoriaus motoras; 2 – pašalinamo oro srauto filtras; 3 – pašalinamo oro ventiliatorius; 4 – dangos tirpalo purkštukas; 5 – pseudo-verdantis sluoksnis; 6 – perforuota plokštė oro srauto paskirstymui; 7 – suslėgto oro tiekimo atvamzdis; 8 – kondensato surinkimo talpa.

Išpurkštas kontroliuojamo veikimo dangos tirpalas su įterptais mikroelementais pasidengia ant karbamido granulių. Pseudo-verdančiame sluoksnyje (5) granulės tarpusavyje kontaktuoja, dėl to danga pasidengia tolygiai, gaunama beveik ideali sferos forma. Iš padengėjo apatinės dalyje esančio atvamzdžio (7) paduodamas oras yra naudojamas ne tik pseudo-verdančio sluoksnio palaikymui, tačiau taip pat veikia kaip džiovavimo agentas.

Oro srautas su granulių dulkėmis, drėgme, bei nepasidengusio tirpalo lašeliais per viršutinėje padengėjo zonoje esantį ventiliatorių (3) ir filtrą (2) yra pašalinamas iš padengėjo įrenginio. O gautos padengtos granulės iš įrenginio yra pašalinamos pro šalia perforuotos plokštės esantį atvamzdį.

Po padengimo proceso pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje susidariusi drėgmė yra surenkama kondensato surinkimo zonoje (8) ir pašalinama per nubėgimo atvamzdį.

3.6.4. Padengtų granulių džiovinimas ir siojimas

Iš pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginio granulės patenka į būgninio tipo rotacinę džiovyklą (51), į kuria išcentrinu kompresoriumi (52) yra tiekiamas šilto oro srautas, kuris galutinai išdžiovina padengtas karbamido granules. Džiovykloje yra palaikoma 45-55 °C temperatūra. Granulės juda džiovyklos apatine dalimi tarpusavyje kontaktuojamos, dėl to gaunamos idealios sferos formos granulės, su tolygiai padengta kontroliuojamo veikimo danga su įterptais mikroelementais.

Išdžiovintos granulės toliau patenka į vibrosietą (53), kuriame yra atskiriamos pardavimui skirtos 2-3 mm skersmens padengtos karbamido granulės. Per didelių bei per mažų granulių srautai yra nukreipiami į atskirą talpą kaip gamybinis brokas. Pardavimui tinkama dengtų karbamido granulių frakcija juostiniu transporteriu (54) yra transportuojamos į sandėliavimo bei pakavimo zoną.

3.6.5. Granulių sandėliavimas ir transportavimas

Sandėliavimo zonoje granulės yra pakuojamos į 25 kg maišus arba laikomos silosuose, iš kurių toliau yra kraunamos į traukinių vagonus eksportui. 25 kg masės maišai yra sudedami ant medinių palečių ir laikomi gerai ventiliuojamose ir sausose patalpose, iš kurių sunkvežimiais yra transportuojamos į specializuotas žemės ūkio parduotuves, iš kurių padengtos karbamido granulės po to pasiekia galutinius vartotojus.

3.6.6. Technologinių įrenginių specifikacijos

3.1 lentelėje yra pateikti kontroliuojamo veikimo danga su mikroelementais padengtų karbamido granulių gamyboje naudojamų įrenginių specifikacijos.

3.1 lentelė. Padengtų karbamido granulių gamybos technologijos įrenginių specifikacijos

Įrenginio pavadinimas	Įrenginio numeris technologinėje schemeje	Specifikacijos
Stūmoklinis kompresorius	1, 7, 9, 36	Horizontalus, stūmoklinis, penkių laipsnių įrenginys; Našumas – 4980 m ³ /val; Slėgis įsiurbime - 0,01 bar; Slėgis suspaudime - 25 bar; Elektrinio variklio galingumas - 80 kW
Korpusinis šilumokaitis-aušintuvas	2, 6	Horizontalus korpusinis šilumokaitis-aušintuvas; Išmatavimai - D-1200 mm, l-7000 mm; Šilumokaitos paviršius F - 344 m ² ; Tarpvamzdinės ertmės terpė - apytakinis cirkuliacinis vanduo; Slėgis P - 0,35 bar; Temperatūra - 25 ± 10 °C
Korpusinis šilumokaitis-pašildytuvas	12, 18, 21	Horizontalus korpusinis šilumokaitis-pašildytuvas; Išmatavimai: D-1200 mm, l-5000 mm; Šilumokaitos paviršius F - 217 m ² ; Vamzdinės ertmės terpė – 200 °C vandens garai; Slėgis P - 0,9 bar; Temperatūra - 80 ± 10 °C
Dujinės fazės separatorius	3, 19, 22, 29, 32,	Vertikalus atskyrimo įrenginys; Tūris V - 20 m ³ ; Išmatavimai: D - 3000 mm, H - 2820 mm; Slėgis P - 0,07 bar; Temperatūra - 40 °C
Šilumokaitis-rekuperatorius	4	Horizontalus korpusinis šilumokaitis; Išmatavimai: D - 1100 mm, l - 7000 mm Vamzdelinės dalies l _{vamzd.} - 4000 mm; Šilumokaitos paviršius F - 363 m ² ; Tarpvamzdinės ertmės: tūris V – 2,585 m ³ ; Slėgis P – 0,07 bar

3.1 lentelės tęsinys

Kontaktinis aparatas	5	Vertikalus kolonos tipo įrenginys; Išmatavimai: H - 5000 mm, D - 2620 mm, Tūris V - 12 m ³ ; Terpė - anglies dioksidas; Slėgis P - 0,07 bar; Temperatūros intervalas - 150 ÷ 250 °C.
Anglis dioksido dujų buferinė talpa	8	Talpykla; Išmatavimai: D - 1400 mm, H - 2500 mm; Slėgis P - 2,5 bar; Temperatūra t - 60 °C.
Plunžerinis siurblys	13, 26, 27	Plunžerinis skystų medžiagų transportavimo įrenginys; Našumas - 60 m ³ /val; Slėgis įsiurbime - 1,75 bar; Slėgis suspaudime - 19 bar; Temperatūra t -20 ÷ 40 °C; Elektros variklio galingumas - 55 kW
Sintezės kolona	15	Vertikalus cilindrinis kontaktinis įrenginys; Slėgis P - 20 bar; Temperatūra t - 195 °C; Išmatavimai: D - 1350 mm, H - 25000 mm, V - 32,7 m ³
Amoniako kondensatorius	16	Horizontalus korpusinis šilumokaitis; Išmatavimai: D - 1050 mm, l - 7700 mm, F - 347 m ² ; Tarpvamzdinės ertmės terpė – amoniakas; Slėgis P - 1,8 bar; Temperatūra t - 40 °C
1-ojo laipsnio distiliacijos kolona	17	Vertikalus kolonos tipo įrenginys; Išmatavimai: D - 1450 mm, H - 4500 mm; Slėgis P – 1,67 bar; Temperatūra t - 140 °C
2-ojo laipsnio distiliacijos kolona	20	Vertikalus kolonos tipo įrenginys; Išmatavimai: D - 1100 mm, H - 4720 mm, V - 4,77 m ³ Slėgis P – 0,55 bar; Temperatūra t - 130 °C.
Vertikalus dujų kondensatorius	23	Vertikalus korpusinis šilumokaitis; Išmatavimai: F - 357 m ² , D - 1100 mm, H -6200 mm; Vamzdinės ertmės tūris V - 2,79 m ³ ; Slėgis P - 0,3 bar; Temperatūra t - 30 °C; Tarpvamzdinės ertmės tūris V - 2,32 m ³
Praplovimo kolona	24	Kolonos tipo įrenginys su „Rašigo“ žiedų įkrova; Išmatavimai: D - 1500 mm, H - 10000 mm, H _{įkrov.} - 2850 mm, V – 15,4 m ³ ; Įkrovos žiedų matmenys: 25x25x1 mm.
Barbotazo įrenginys	25	Horizontalus korpusinis šilumokaitis; Išmatavimai: F - 325 m ² , D - 1000 mm, l - 5300 mm Vamzdinės ertmės tūris V – 3,04 m ³ ; Temperatūra t - 40 °C; Slėgis P - 0,45 bar
Korpusinis forišgarinimo šilumokaitis	28	Vertikalus korpusinis šilumokaitis; Išmatavimai: F - 55 m ² , D - 500 mm, l - 30000 mm; Abs. Slėgis P - 0,399 bar; Temperatūra t - 100 °C
Korpusinis išgarinimo šilumokaitis	31	Vertikalus korpusinis šilumokaitis; Išmatavimai: D - 480 mm, H – 2000 mm, F – 13 m ² ; Slėgis P – 1,4 bar; Temperatūra t – 191 °C
Karbamido lydalo buferinė talpa	33	Talpykla; Išmatavimai: D - 2200 mm, H - 3000 mm; Slėgis P – 1,3 bar; Temperatūra t - 70 °C.

3.1 lentelės tęsinys

Granuliavimo bokštas	35	Horizontalus įrenginys; Aušinimo plotas 59,2 m ² ; Išmatavimai: D - 8500 mm, H – 35000 mm; Temperatūros intervalas 20 ÷ 55 °C.
Granulių vibrosietas	37, 53	Trijų zonų granulių vibrosietas; Išmatavimai: H – 900 mm, l – 2450 mm, V – 7 m ³ ; Elektrinio variklio galingumas – 20 kW; Maksimalus našumas – 1700 kg/val; Darbinis našumas – 800 kg/val
Karbamido granulių buferinė talpa	38	Talpykla; Išmatavimai: D - 2200 mm, H - 2500 mm; Slėgis P – 0,5 bar; Temperatūra t – 30 °C.
Granulių korpusinis šilumokaitis-pašildytuvas	39	Talpykla; Išmatavimai: D - 1000 mm, H - 2100 mm; Slėgis P – 1,1 bar; Temperatūra t - 50 ÷ 60 °C.
Juostinis transporteris	40, 54	Juostinis transporteris; Išmatavimai: H – 1200 mm, l – 10000 mm, p – 1500 mm; Elektrinio variklio galingumas – 40 kW
Mikroelementų mišinio talpa	41	Talpykla; Išmatavimai: D - 600 mm, H - 1100 mm
Dangos paruošimo talpa	43	Talpykla, korpusinis vandens garų šildymas, maišyklė; Išmatavimai: D - 1500 mm, H - 2000 mm; Slėgis P – 1,0 bar; Temperatūra t - 40 ÷ 65 °C; Maišyklės elektrinio variklio galingumas – 15 kW; Maišyklės apsisukimų skaičius – 30 ÷ 50 aps/min
Dangos tirpalo buferinė talpa	46	Talpykla, korpusinis vandens garų šildymas, maišyklė; Išmatavimai: D - 1700 mm, H - 2000 mm; Slėgis P – 0,8 bar; Temperatūra t - 50 °C; Maišyklės variklio galingumas – 15 kW; Maišyklės apsisukimų skaičius – 30 ÷ 50 aps/min
Pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginys	48	Vertikalus kolonos tipo įrenginys; Išmatavimai: D _{max} – 995 mm, D _{min} – 365 mm, H – 2240 mm; Darbinė temperatūra – 55 °C; Atomizuojančio oro slėgis – 3 bar.; Našumas – 800 kg/val
Išcentrinis kompresorius	49, 50, 52	Išcentrinis kompresorius; Našumas – 7180 m ³ /val; Abs. slėgis įsiurbime - 0,02 bar; Slėgis suspaudime - 19 bar; El. variklio galingumas – 100 kW
Būgninė rotacinė džiovykla	51	Horizontalus besisukanti cilindras; Išmatavimai: l - 12000 mm, D - 2100 mm; Sukimosi greitis - 4,2 aps/min; Temperatūra - 40 ÷ 50 °C; Elektros variklio galingumas – 7 kW

3.7. Statybiniai sprendimai

3.7.1. Bendrieji duomenys

Karbamido granulių padengimo kontroliuojamo veikimo danga su įterptais mikroelementais technologinė linija yra diegiama kaip papildomas etapas karbamido granulių gamybos technologijoje. Šis gamybos procesas yra vykdomas AB „Achema“ įmonės teritorijoje esančiame karbamido gamybos ceche. Ši įmonė yra įsikūrusi Jonavos rajone, Jonalaukio kaime, beveik 3 km atstumu nuo Neries upės. Ši vieta yra pranaši tuo, kad netoliese yra A6 magistralinis kelias, kuriuo važiuojant per 3,5 valandos galima pasiekti pagrindinį Lietuvos uostą, svarbų eksporto punktą. Taip pat yra gerai išvystyta traukinių transporto infrastruktūra. Šalia esančios Neries upės vanduo yra siurbliais tiekiamas į įmonės teritorijoje esančią vandens paruošimo stotelę, iš kurios vanduo išcentriniais siurbliais yra tiekiamas į karbamido cechą [27].

AB „Achema“ įmonės teritorijoje yra du amoniako gamybos cechai, kurie vamzdžiais yra sujungti su karbamido gamybos cechu. Tai yra itin svarbu karbamido cecho technologiniam procesui, kadangi karbamido gamybai būtina užtikrinti tiekiamą skystą amoniaką. Taip pat šios įmonės teritorijoje yra gaunamos ir anglies dioksido dujos, kurios kompresoriais yra transportuojamos į karbamido cechą. Karbamido granulių gamybai šie faktoriai turi teigiamų savybių, tokių kaip: užtikrintas karbamido sintezėje naudojamų žaliavų tiekimas, geras transporto infrastruktūros išvystymas ir užtikrintas procesui naudojamo vandens kiekis [27].

Bendrieji įmonės sklypo ir pastato techniniai rodikliai pateikti 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Bendrieji sklypo ir statinio techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Kiekis
1.	I. SKLYPAS	
	1.1. sklypo plotas, ha	2,4
	1.2. statinio užimtas žemės plotas, m ²	6437
	1.3. apželdintas žemės plotas (žaliasis plotas), m ²	2919
	1.4. automobilių stovėjimo vietų skaičius, vnt.	120
	1.5. asfaltuotas sklypo plotas, m ²	3791
2.	II. PASTATAI	
	2.1. paskirties rodikliai (gamybos (kitos veiklos), paslaugų apimtys, aptarnaujamų žmonių skaičius, kiti rodikliai)	
	2.2. bendrasis plotas, m ² :	6437
	2.2.1. pagrindinis	1319
	2.2.2. pagalbini	5118
	2.3. pastato tūris, m ³	12096
2.4. aukštų skaičius, vnt.	3	
2.5. pastato aukštis, m	14	

3.7.2. Sklypo planas

Projektuojant įmonės sklypą, svarbiausi faktoriai yra žaliavų kiekio užtikrinimas bei kuo įmanoma paprastesnis papildomai naudojamų medžiagų transportavimas į gamybos vietą. Papildomai karbamido granulių padengimui naudojami „APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys ir melasa bus atvežami sunkvežimiais per teritorijos pietryčiuose esantį apsaugos punktą. Teritorijoje kiekvieną pastatą jungia asfaltuoti keliai, dėl to sunkiasvorėms transporto priemonėms yra paprasta pristatyti krovinius tiesiai į vietą. Asfaltuota sklypo dalis, pagal 1 lentelės duomenis, yra didesnė nei apželdintas sklypo plotas, kadangi teritorijoje įrengtais keliais naudojasi ne tik žaliavas gabenančios transporto priemonės, bet ir automobiliais bei dviratėmis transporto priemonėmis į darbą atvykstantys asmenys [27].

3.7.3. Projektuojamo karbamido sintezės pastato sprendimai

Projektuojama karbamido granulių gamybos cecho dalis yra AB „Achema“ įmonės teritorijoje. Pastato konstrukciją sudaro kas 6 metrus sumontuoti skersiniai rėmai. Suprojektuotos cecho dalie ilgis yra 36 metrai, plotis – 25 metrai, o aukštis 14 metrų. Projektuojant pastatą yra numatyti trys aukštai, kurių aukštis yra po 4 metrus. Pastato karkasui yra naudojamas gelžbetonis, stogo konstrukcija yra gaminama iš metalo, o kolonomis naudojami gelžbetonio blokai. Kolonos statomos ant gelžbetonių sekliųjų pamatų, turinčių savitą formą - pagrindo bloko apačia yra platesnė nei viršus. Iš gelžbetonio taip pat gaminamos ir pamatų sijos, kurios yra naudojamos sienoms įtvirtinti. Sienoms yra naudojamos daugiasluoksnės plokštės su iš anksto sumontuotu termoizoliaciniu sluoksniu viduje.

Projektuojamo pastato šilumai palaikyti yra naudojamos šilumokaičių-rekuperatorių sistemos, kurios naudojamos proceso metu susidariusią šilumą, pašildo iš išorės tiekiamą oro srautą. Pašildytas oras ventiliatoriais yra paskirstomas per visą patalpų tūrį.

3.7.4. Pastato konstrukcinė sandara

Karbamido gamybos cecho patalpose grindys yra pagamintos iš betono ir cemento mišinio. Kiekvienas įrenginys yra montuojamas ant atskirų paaukštintų platformų, pagaminto iš tokio pačio betono ir cemento mišinio. Grindys yra padengiamos skysčių nepraleidžiančia, lengvai valoma bei neslidžia danga, siekiant užtikrinti darbuotojų saugumą net ir avarinėmis sąlygomis.

Karbamido ceche sumontuoti plastikinių rėmų langai su dvigubais stiklais, galintys tik minimaliai prasiversti. Langų dydis bei išdėstymas užtikrina natūralų apšvietimą dienos metu didžiojoje dalyje patalpų, o tamsiuoju paros metu apšvietimą užtikrina lubose bei viršutinėse sienų dalyse sumontuoti LED šviestuvai.

Karbamido ceche sumontuotos durys yra lengvai atsidarančios į išorę, siekiant užtikrinti saugią žmonių evakuaciją iš vidaus į lauką. Durys yra 2 metrų pločio, kad esant poreikiui būtų galima į patalpų vidų įvažiuoti su pakrautuvu aptarnauti technologinius įrenginius. Durys yra su integruota garso izoliacija, sandariai užsidarančios, atskirdamos išorės ir vidaus erdves.

Rytinėje pastato pusėje esančioje laukinėje sienoje yra palikta sienos dalis, kuri sprogo atveju griūtų į pastato išorinę pusę. Ši technologija naudojama siekiant apsaugoti viduje esančius įrengimus, kadangi avarijos metu sprogo banga per šią sienos dalį būtų nukreipta į pastato išorę, taip nepakenkiant projektuojamo pastato konstrukcijai bei technologiniams įrengimams.

Karbamido cecho pastate taip pat yra suprojektuojamos atskiros produkcijos bei žaliavų sandėliavimo zonos, proceso valdymo zona, taip pat administracinės bei pagalbinės patalpos [2].

3.7.5. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų bei technologinių įrengimų sprendimai

Projektuojamo pastato viduje yra vykdomi skysto amoniako bei anglies dioksido dujų paruošimo procesai, gauto karbamido tirpalo forišgarinimo ir išgarinimo procesai, karbamido lydalo transportavimo procesai, dujinės fazės separatoriuose atskirtų dujų gryninimo procesai ir anglies amonio druskų susidarymo bei transportavimo į pastato išorėje stovinčias sintezės kolonas procesai.

Taip pat pastate yra įdiegiamas karbamido granulių padengimo procesas. Pastato pirmame aukšte yra sumontuojami papildomai naudojamų „APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinio bei melasos tirpalo talpykla. Iš talpyklų kontroliuojamo veikimo dangos tirpalo sintezei naudojamos žaliavos dozuojamos į dangos paruošimo talpą su integruotu karšto oro cirkuliaciniu apvaskalu, naudojamu įrenginiui apšiltinti, bei viduje esančio turinio maišykle.

Paruoštas dangos tirpalas yra transportuojamas į buferinę laikymo talpą, kuri taip pat yra su integruotu karšto oro cirkuliaciniu apvaskalu. Iš buferinės dangos tirpalo talpos, išcentrinu siurbliu tirpalas yra tiekiamas į pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginį, kurio apačioje yra patalpintos karbamido granulės, gautos iš lydalo granuliavimo bokšto.

Gautos padengto karbamido granulės tiekiamos į būgninę džiovyklą, iš kurios sausos granulės patenka į vibrosietus, o iš jų juostiniais transporteriais transportuojamos į pakavimo bei sandėliavimo patalpas.

Darbuotojų patogumui yra įrengiamos papildomos erdvės, tokios kaip: persirengimo zonos su dušais, tualetai, virtuvė, daiktų bei darbo įrankių laikymo sandėliai, kurios sudaro iki 10 % viso karbamido cecho ploto [28].

3.8. Technologiniai skaičiavimai

AB „Achema“ įmonės karbamido ceche esančio karbamido granulių gamybos linijos našumas yra apie 500 tonų granulių per parą. Dėl kasmetinių įrenginių ir aptarnavimo darbų karbamido granulių gamyba yra vykdoma 335-345 dienų per metus. Per šį laiką yra pagaminama daugiau nei 170 tūkstančių tonų granuliuoto karbamido. Dalis, apie 800 kg per valandą, karbamido granulių naujai diegiamoje technologijoje yra transportuojama į kontroliuojamo veikimo danga su mikroelementais padengimo etapą

Remiantis šiais duomenimis apskaičiuojami reikšmingi pseudo-verdančio dengimo įrenginio parametrai, pagal kuriuos yra suprojektuojamas pagrindinis dengimo etapo įrenginys – pseudo-verdančio sluoksnio dengėjas. Taip pat apskaičiuojami granulių pirminio pašildymo korpusinio šilumokaičio šilumokaitos plotas.

3.8.1. Pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginio skaičiavimai

Projektuojamoje gamyboje gaminamos kontroliuojamo veikimo danga padengtos karbamido granulės. Kontroliuojamo veikimo dangai pagaminti buvo naudojamas melasos tirpalas bei „APC Mikro Forte 13“ mikroelementų mišinio milteliai. Padengimo procesas vykdomas pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginyje.

Dengimo proceso vykdymui naudojamas „HYWELL CO“ įmonės pseudo-verdančio sluoksnio granulatorius, kuris gali padengti iki 800 kg karbamido granulių per valandą. Visi pagrindiniai ir papildomi granulatoriaus parametrai reguliuojami valdymo skyde, kuris yra sujungtas su proceso valdymo programa „Scada“, kad procesą valdyti ir prižiūrėti būtų itin paprasta. Viso dengimo proceso metu privaloma palaikyti ne aukštesnę nei 55 °C laipsnių temperatūrą, taip siekiant sumažinti karbamido skilimo reakcijos riziką.

Dengimo procesui būtina pasirinkti tinkamus oro srauto debito, atomizuojančio oro srauto slėgio parametrus, taip pat dengimo tirpalo ar suspensijos padavimo greitį, oro srautų ir pseudo-verdančio sluoksnio temperatūrų intervalus, tinkamai pasirinkti dengiamų karbamido granulių partijos kiekį. Šių parametrų tinkamas parinkimas yra būtinas, siekiant pasiekti aukščiausią dengimo proceso efektyvumą, sunaudojant mažiausią galimą kiekį energijos.

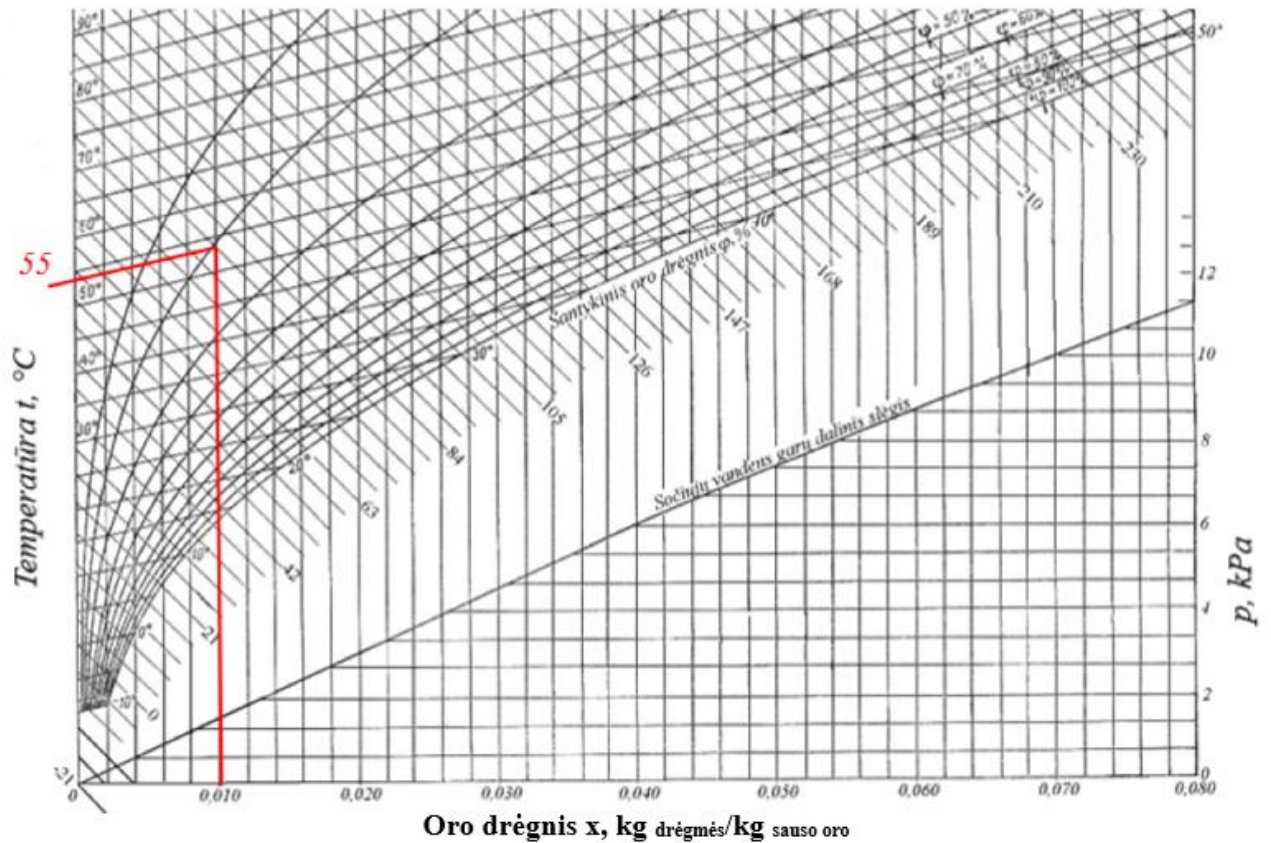
Žemiau (3.3 lentelė) pateikti laboratorijoje tyrimo metu išanalizuoti pseudo-verdančio sluoksnio granulatoriaus-padengėjo optimaliausi veikimo parametrai, reikalingi tolimesniam granulatoriaus dydžio apskaičiavimui.

3.3 lentelė. Pradiniai pseudo-verdančio sluoksnio granulatoriaus bei srautų parametrai

Pavadinimas	Žymėjimas	Reikšmė
Masės debitas	$Q_{g,x}$	800 kg/h
Tiekiamų granulių drėgnis	$w_{pr.}$	0,1 kg/kg
Gauto produkto drėgnumas	$w_{p,x}$	0,005 kg/kg
Aplinkos oro drėgnis	x_{atm}	10 g/kg _{s.o.}
Pseudo-verdančio sluoksnio granulatoriaus darbinė temperatūra	T_S	55 °C
Tiekiamų karbamido granulių temperatūra	$T_{pr.}$	40 °C
Santykinis džiovinimo agento drėgnumas	Φ_2	16 %
Karbamido granulių piltinis tankis	$\rho_{p.karb.}$	722 kg/m ³

Naudojantis H-X diagrama (3.4 pav.), pagal turimus T_S ir Φ_2 parametrus yra nustatomas oro drėgnis.

$$x=0,010 \text{ kg}_{drėgmės}/\text{kg}_{sauso oro}=10 \text{ g}_{drėgmės}/\text{kg}_{sauso oro}.$$



3.4 pav. H-X diagrama

Toliau yra apskaičiuojamas reikalingas tiekiamo oro srauto debitas:

$$Q_{oro} = \frac{Q_g \cdot x \cdot w_p}{(x_2 - x_1) \cdot 10^{-3}} \quad (3.2)$$

$$Q_{oro} \frac{800 \cdot 0,1}{(20 - 10) \cdot 10^{-3}} = 8000,00 \text{ kg/h}$$

Įvertinus aplinkos oro temperatūrą, yra priimama, kad tiekiamo oro tankis yra 1,30 kg/m³, ši reikšmė yra naudojama tūriniui tiekiamo oro srauto debitui apskaičiuoti.

$$Q_{oro.t} = \frac{Q_{oro}}{\rho_{oro}} \quad (3.3)$$

$$Q_{oro.t} = \frac{8000}{1,30} = 6153,85 \text{ m}^3/\text{h} = 1,71 \text{ m}^3/\text{s}$$

Naudojantis metodikoje nurodyta Reinoldso kriterijaus bei Arenijaus kontantos priklausomybe, yra apskaičiuojamas minimalus į pseudo-verdančio sluoksnio granuliatorių-dengėją tiekiamų nedengtų karbamido granulių srauto greitis ω_0 .

$$Re = \frac{Ar}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{Ar}} \quad (3.4)$$

$$\frac{\omega_0 \cdot 0,002}{20 \cdot 10^{-6}} = \frac{2,35 \cdot 10^5}{1400 + 5,22 \sqrt{2,35 \cdot 10^5}}$$

$$\omega_0 = 0,63 \text{ m/s}$$

Atsižvelgiant į minimalų karbamido granulių srauto greitį, yra apskaičiuojamas darbinis pseudo-verdančio sluoksnio intensyvumas, kuris, pagal metodinius nurodymus, yra du kartus didesnis nei karbamido granulių srauto greitis. Pseudo-verdančio sluoksnio greitis yra lygus:

$$\omega_d = 1,26 \text{ m/s}$$

Atsižvelgiant į tūrinį tiekiamo oro srauto debitą bei darbinį karbamido granulių srauto greitį, yra apskaičiuojamas tiekiamo oro perforuotos paskirstymo plokštės, esančios granulatoriaus-dengėjo apatinėje dalyje, plotas.

$$S = \frac{Q_{oro,t}}{\omega_d} \quad (3.5)$$

$$S = \frac{1,71}{1,26} = 1,36 \text{ m}^2$$

Naudojantis skaičiavimų metodika, yra nustatomas vidutinis karbamido granulių išbuvimu pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje laikas.

$$\frac{w_{p.X}}{w_{pr}} = 0,1 \cdot Gu^{-0,65} \cdot FO^{-0,60} \quad (3.6)$$

$$\frac{0,005}{0,1} = 0,1 \cdot \left(\frac{55 - 37}{273 + 55} \right)^{-0,65} \cdot (3,63 \cdot 10^2 \cdot \tau)^{-0,60}$$

Iš šios lygties yra išreiškiamas karbamido granulių išbuvimu įrenginyje laikas, kuris yra lygus:

$$\tau = 0,13 \text{ h} = 7,8 \text{ min}$$

Apskaičiuojamas pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje esančių karbamido granulių pseudo-verdančio sluoksnio masė.

$$G_{ps} = Q_{g.X} \cdot \tau \quad (3.7)$$

$$G_{ps} = 800 \cdot 0,13 = 104 \text{ kg}$$

Naudojantis apskaičiuota karbamido granulių pseudo-verdančio sluoksnio mase, toliau yra nustatomas nejudančio karbamido granulių sluoksnio aukštis.

$$H_0 = \frac{G_{ps}}{\rho_{p.karb} \cdot S} \quad (3.8)$$

$$H_0 = \frac{104}{722 \cdot 1,36} = 0,106 \text{ m}$$

Pagal metodinius nurodymus apskaičiuojamas pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginio darbinės zonos aukštis.

$$H_d = 5,6H_0Re^{0,75}Ar^{-0,37} \quad (3.9)$$

$$H_d = 5,6 \cdot 0,106 \left(\frac{1,26 \cdot 0,002}{20 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,75} \cdot (2,35 \cdot 10^5)^{-0,37} = 0,23 \text{ m}$$

Karbamido granulių išskridimo iš pseudo-verdančio sluoksnio greitis apskaičiuojamas naudojantis žemiau pateikta lygtimi:

$$\bar{v}_c = 0,09 \cdot Ar^{0,25} \cdot lg \frac{\omega_d}{\omega_0} \quad (3.10)$$

$$\bar{v}_c = 0,09 \cdot (2,35 \cdot 10^5)^{0,25} lg \frac{1,26}{0,63} = 0,60 \text{ m/s}$$

Toliau apskaičiuojamas maksimalus galimas karbamido granulių išskridimo iš pseudo-verdančio sluoksnio greitis.

$$v_{c \max} \cong 3\bar{v}_c \quad (3.11)$$

$$v_{c \max} = 3 \cdot 0,60 = 1,80 \text{ m/s}$$

Naudojantis anksčiau apskaičiuotais parametrais, yra nustatomas pseudo-verdančio bei nejudančio sluoksnių separacinės zonos aukštis.

$$H_{sep} = \frac{v_{c \max}^2}{2g} \quad (3.12)$$

$$H_{sep} = \frac{1,80^2}{2 \cdot 9,81} = 0,17 \text{ m}$$

Naudojantis technologinių skaičiavimų rezultatais, projektuojamas optimaliausių parametru pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginys kontroliuojamo veikimo dangos su mikroelementais padengimui ant karbamido granulių.

3.8.2. Karbamido granulių padengimo etapo medžiagų balansas

Medžiagų balansas yra skaičiuojamas 1-ai tonai galutinio produkto - kontroliuojamo veikimo danga su mikroelementais padengtų karbamido granulių.

Remiantis tiriamosios dalie rezultatais, nurodančiais kad granulės pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginyje geriausiai pasidengia naudojant „20%/20%“ dangos tirpalą. Šis žymėjimas nurodo, kad 20 % koncentracijos melasa-vanduo tirpale buvo ištirpinta 20 % sulfatinių mikroelementų mišinio.

Tiriamosios dalies metu buvo nustatyta, kad 100 g nedengtų karbamido granulių padengimui reikia sunaudoti 4 g dangos tirpalo. Naudojantis šiais duomenimis yra apskaičiuojami reikalingi nedengtų karbamido granulių bei dangos tirpalo kiekiai, siekiant gauti 1000 kg kontroliuojamo veikimo danga su mikroelementais padengtų karbamido granulių. Skaičiavimai atliekami naudojantis proporcijomis

$$104 \text{ g (padengtų granulių)} - 100 \text{ g (nedengtų granulių)} \quad (3.13)$$

$$1000 \text{ kg (padengtų granulių)} - x1 \text{ kg (nedengtų granulių)}$$

Pagal šią proporciją apskaičiuojamas nedengtų karbamido granulių kiekis, kuris yra $x1 = 961,5$ kg.

$$\begin{aligned} 104 \text{ g (padengtų granulių)} &- 4 \text{ g (dangos tirpalo)} \\ 1000 \text{ kg (padengtų granulių)} &- x2 \text{ (dangos tirpalo)} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Pagal šią proporciją apskaičiuojamas reikalingas dangos tirpalo kiekis, kuris yra $x2 = 38,5$ kg.

Dangos tirpalo gamybai yra naudojama melasa, distiliuotas vanduo ir „APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys. „20%/20%“ dangos tirpalo sudėtis yra pateikta 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. Kontroluojamo veikimo dangos tirpalo sudėtis išreikšta procentine masės dalimi

Žaliavos pavadinimas	Žaliavos masė, %
Distiliuotas vanduo	64
Melasa	16
„APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys	20
Iš viso:	100

Remiantis dangos sudėties reikšmėmis bei anksčiau apskaičiuotu reikalingu dangos tirpalo kiekiu $x2$, apskaičiuojami atskirų dangos komponentų kiekiai, reikalingi gauti 1 toną kontroluojamo veikimo danga su mikroelementais padengtų karbamido granulių. Apskaičiuoti kiekiai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Atskirų dangos komponentų kiekiai reikalingi gauti 1 toną padengtų granulių

Žaliavos pavadinimas	Žaliavos masė, kg
Distiliuotas vanduo	24,64
Melasa	6,16
„APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys	7,70
Iš viso:	38,50

Pagal apskaičiuotus medžiagų kiekius sudaromas žaliavų ir produktų medžiagų balansas (3.6 lentelė).

3.6 lentelė. Granulių padengimo etapo medžiagų balansas

Žaliavos	Produktai
Nedengtos karbamido granulės – 961,50 kg Distiliuotas vanduo – 24,64 kg Melasa – 6,16 kg „APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys – 7,70 kg	Kontroliuojama veikimo danga padengtos karbamido granulės – 1000 kg
Iš viso: 1000 kg	Iš viso: 1000 kg

3.8.3. Karbamido granulių šilumokaičio-pašildytuvo šilumokaitos ploto skaičiavimai

Iš buferinės karbamido granulių talpos į šilumokaitį-pašildytuvą yra tiekiamos 30 °C temperatūros karbamido granulės. Šilumokaityje-pašildytuve granulių temperatūros pakėlimui iki 50 °C yra naudojami 200 °C vandens garai.

Pradiniai skaičiavimuose naudojami duomenys pateikti 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Pradiniai duomenys

Parametro pavadinimas	Reikšmė
Tiekiamų granulių temperatūra, t_{KG1}	30 °C
Šalinamų granulių temperatūra, t_{KG2}	50 °C
Granulių šilumos atidavimo koeficientas, α_{KG}	1600 W/(m·K)
Tiekiamų vandens garų temperatūra, t_{VG1}	200 °C
Šalinamų vandens garų temperatūra, t_{VG2}	150 °C
200 °C vandens garų entalpija, H_{VG}	860 kJ/kg
Tiekiamų vandens garų debitas, G_{VG}	1500 kg/val
Vandens garų šilumos atidavimo koeficientas, α_{VG}	3200 W/(m·K)
Šilumokaičio medžiagos (austenitinio plieno) šilumos laidumo koeficientas, λ_{AP}	46,5 W/(m·K)
Plieninių vamzdelių storis, δ	0,002 m

Apskaičiuojamas 200 °C laipsnių vandens garų šilumos srautas.

$$Q_{VG} = H_{VG} \cdot G_{VG} \quad (3.15)$$

$$Q_{VG} = 860,7 \cdot 1500 = 1291050 \text{ kJ/val} = 358625 \text{ W}$$

Toliau apskaičiuojama vidutinė temperatūra.

$$\Delta t_{min} = t_{VG2} - t_{KG1}$$

$$\Delta t_{min} = 150 - 30 = 120 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.16)$$

$$\Delta t_{max} = t_{VG1} - t_{KG2}$$

$$\Delta t_{max} = 200 - 50 = 150 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.17)$$

$$\Delta t_{vid} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{2}$$

$$\Delta t_{vid} = \frac{150 - 120}{2} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (3.18)$$

Apskaičiuojamas šilumokaičio-pašildytuvo šilumos perdavimo koeficientas.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_{VG}} + \frac{\delta}{\lambda_{AP}} + \frac{1}{\lambda_{KG}}}$$

$$(3.19)$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{3200} + \frac{0,002}{46,5} + \frac{1}{1600}} = 1019,88 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Remiantis nustatytu vandens garų šilumos srautu bei pašildytuvo šilumos perdavimo koeficientu apskaičiuojamas šilumokaitos plotas, kuris yra reikalingas karbamido granules pašildyti nuo 30 °C iki 50 °C temperatūros.

$$F = \frac{Q_{VG}}{K \cdot \Delta t_{vid}}$$

$$(3.20)$$

$$F = \frac{358625}{1019,88 \cdot 15} = 23,44 \text{ m}^2$$

3.9. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

Visi šioje darbo dalyje atliekami skaičiavimai yra susieti su jau egzistuojančia AB „Achema“ įmonėje esančia technologija, kuri yra modifikuojama papildomai įdiegiant karbamido granulių padengimo etapą. Visi atnaujinimai vykdomi užpildant laisvą erdvę karbamido sintezės ceche, kuris yra šios įmonės teritorijoje, dėl to investicijų skaičiavimuose nėra nurodoma papildomų lėšų skyrimo sklypo įsigijimui bei pastato statyboms. Skaičiavimuose pateikiamos realios įrengimų, žaliavų, bei papildomai naudojamų medžiagų kainos, randamos internetiniuose puslapiuose. Atliekant tokio dydžio projektą, būtų galima tikėtis gauti papildomas nuolaidas įrengimams bei darbams.

3.9.1. Investicijos projekto įgyvendinimui

Šio projekto įgyvendinimui yra naudojama dalis AB „Achema“ įmonės akcinio kapitalo, o likusią dalį siekiama padengti vietinių ar užsienio investicinių fondų skirtais pinigais bei paskola. Didžioji dalis visų projektui skiriamų lėšų yra skiriama naujiems įrengimams bei jų montavimo darbams, o

likusią numatoma panaudoti bendroms ilgalaikėms sritims. Numatomos projekto lėšos ir investicijos pateiktos 3.8 lentelėje.

3.8 lentelė. Projektui numatomų išlaidų bei investicijų dydžiai

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	tūkst. Eur	Struktūra	tūkst. Eur
Ilgalaikiam turtui ir gamybos priemonėms įsigyti	180,00	AB „Achema“ įmonės akcinis kapitalas	264,00
Trumpalaikiam turtui (žaliavos, papildomai naudojamos medžiagos) įsigyti	140,00	Paskola	71,00
Statybos, montavimo darbų išlaidos	15,00	Kiti finansinių lėšų šaltiniai	0,00
Viso kaštų:	335,00	Viso šaltinių:	335,00

Projektui įgyvendinti yra skiriami finansai, kurių 75 % sudaro AB „Achema“ įmonės paskirtos akcinio kapitalo dalies. Likusi projektui skiriamų lėšų dalis yra padengiama paskolomis.

Didžiąją dalį, apie 54 %, skiriamų lėšų sudaro išlaidos pagrindiniam modifikuojamos technologijos etapo bei pagalbiniam įrenginiam įsigyti. Iš visų įrenginių daugiausiai išlaidų skiriama pagrindiniam padengimo proceso įrenginiui – pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginiui. Įrenginių kainos yra nurodytos 3.9 lentelėje.

3.9 lentelė. Technologinių įrenginių kiekiai bei pirkimo kainos

Eil.	Įrenginio pavadinimas	Vieneto kaina,	Kiekis	Vertė,
1	Pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginys	85000,00	1	85000,00
2	Būgninio tipo rotacinė džiovykla su karšto oro padavimo sistema	45000,00	1	45000,00
3	Juostinis transporteris	12000,00	1	12000,00
4	Oro kompresorius	2200,00	3	6600,00
5	Išcentrinis siurblys	2200,00	2	4400,00
6	Pramoninis granulių vibrosietas	7000,00	2	14000,00
7	Kiti įrenginiai, konstrukcinės medžiagos ir tvirtinimo elementai	13000,00	1	13000,00

Kainos nurodytos remiantis prieinamais gamintojų produktų katalogais. Įgyvendinant tokios didelės apimties projektą tikimasi, kad pirkimo kainos bus mažesnės nei kataloguose pateiktos. Kadangi šį skirtumą yra sudėtinga įvertinti, toliau atliekamuose skaičiavimuose yra naudojamos kataloguose pateiktos kainos.

Papildomai diegiama ir automatikos įranga, siekiant padengimo procesą vykdyti kiek įmanoma labiau automatizuotai, dėl to proceso priežiūrai yra numatoma mažiau darbuotojų. Dėl šios priežasties yra sutaupomas papildomų lėšų skyrimas darbuotojų atlyginimams apmokėti. Dėl skaičiavimo paprastumo visa proceso automatikos įranga yra įskaičiuota prie 2 lentelės 7 eilutėje nurodytų kitų įrengimų.

3.9.2. Gamybos kaštai

Siekiant sėkmingai įgyvendinti projektą, būtina užtikrinti, kad gamyba vyks sklandžiai, atsižvelgiant į gaminamo produkto kiekio, sunaudojamų žaliavų bei kitų papildomai procese naudojamų medžiagų kiekio planavimą. Sėkmingam karbamido granulių padengtų kontroliuojama veikimo danga su įterptais mikroelementais produkto gamybos planavimui yra iš anksto nusistatomos gamybos apimtys penkiems metams į priekį. Skaičiavimų rezultatai pateikti 3.10 lentelėje.

3.10 lentelė. Padengtų karbamido granulių gamybos apimtys planas

Projekto veiklos metai	Įsisavinimo koeficientas	Gamybos metinė apimtis, tonomis
1	0,6	6000
2 ir 3	1,0	10000
4	0,8	8000
5	0,75	7500

Remiantis suplanuotomis gamybos apimtimis yra apskaičiuojami metiniai žaliavų ir papildomų medžiagų sunaudojami kiekiai (3.11 lentelė). Produkto gamybos metu naudojamas skystas amoniakas ir anglies dioksido dujos karbamido granulėms gauti, o padengimui naudojamas melasos tirpalas bei sulfatinių mikroelementų mišinys „APC Mikro Forte 13“.

3.11 lentelė. Išlaidos procese naudojamoms medžiagoms

Gamybos veiklos metai	Medžiagos pavadinimas	Gamybos planas, t	Medžiagų sunaudojimo norma gaminiui, tonomis	Medžiagos kaina, Eur/t	Medžiagos poreikis, tonomis	Medžiagų kaštai	
						Gaminio, Eur/t	Iš viso, tūkst. Eur
1 metai	Karbamidas padengtas danga su įterptais sulfatiniais mikroelementais	6000	-	-	-	-	-
	Amoniakas	-	0,25	55,00	1500	13,75	82,50
	Anglies dioksidas	-	0,65	25,00	3900	16,70	97,50
	„APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys	-	0,05	1500,00	300	75,00	450,00
	Melasos tirpalas	-	0,1	700,00	600	70,00	420,00
	Iš viso:	-	-	-	-	-	-
2 ir 3 metai	Karbamidas padengtas danga su įterptais sulfatiniais mikroelementais	10000	-	-	-	-	-
	Amoniakas	-	0,25	55,00	2500	13,75	137,50

3.11 lentelės tęsinys

	Anglies dioksidas	-	0,65	25,00	6500	16,25	162,50
	„APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys	-	0,05	1500,00	500	75,00	750,00
	Melastos tirpalas	-	0,1	700,00	1000	70,00	700,00
	Iš viso:	-	-	-	-	-	1750,00
4 metai	Karbamidas padengtas danga su įterptais sulfatiniais mikroelementais	8000	-	-	-	-	-
	Amoniakas	-	0,25	55,00	2000	13,75	110,00
	Anglies dioksidas	-	0,65	25,00	5200	16,25	130,00
	„APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys	-	0,05	1500,00	400	75,00	600,00
	Melastos tirpalas	-	0,1	700,00	800	70,00	560,00
	Iš viso:	-	-	-	-	-	1400,00
5 metai	Karbamidas padengtas danga su įterptais sulfatiniais mikroelementais	7500	-	-	-	-	-
	Amoniakas	-	0,25	55,00	1875	13,75	103,13
	Anglies dioksidas	-	0,65	25,00	4875	16,25	121,88
	„APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys	-	0,05	1500,00	375	75,00	562,50
	Melastos tirpalas	-	0,1	700,00	750	70,00	525,00
	Iš viso:	-	-	-	-	-	1312,50

Prie projekto išlaidų prisideda ir darbo jėga, todėl siekiant tiksliai apskaičiuoti projektui skiriamas lėšas ilgalaikėje perspektyvoje, būtina apskaičiuoti darbuotojų darbo užmokesčius. Šie skaičiavimai atliekami naudojantis gamybinės programos darbo imlumu, pagal kurį padengimo proceso priežiūrai įdarbinami 4 specialistai ir 4 pagalbinių darbuotojai. Rezultatai pateikti 3.12 lentelėje

3.12 lentelė. Tiesioginės darbo užmokesčio išlaidos

Gamybos veiklos metai	Gamybos apimtis, t	Gaminio darbo imlumas, val/t	Numatomas atlyginimas, Eur/val	Gamybinės programos darbo imlumas, val	Darbo užmokestis, tūkst. Eur			Atskaitymai su VSD, GF, IDIF, Eur
					Pagrindiniai	Papildomai	Bendrai	
1	6000	0,6	14,72	3600	52,99	4,61	57,60	1,02
2 ir 3	10000	0,6	14,82	6000	88,92	7,73	96,65	1,71

3.12 lentelės tęsinys

4	8000	0,6	14,92	4800	71,62	6,23	77,84	1,38
5	7500	0,6	15,02	4500	63,09	5,49	68,58	1,21

Toliau apskaičiuojamos procesui sunaudojamos elektros energijos išlaidos. AB „Achema“ įmonėje didelę dalį elektros energijos sunaudoja skysčių bei dujų transportavimo įrenginiai, tokie kaip išcentriniai siurbliai, plunžeriniai siurbliai, stūmokliniai kompresoriai ir išcentriniai kompresoriai. Elektra sunaudojama transportavimo įrenginių variklių darbui, dėl to skaičiavimuose remiamasi variklių galia bei jų panaudojimo koeficientais.

Įmonės teritorijoje yra elektros energijos jėgainė, kurioje dujų srautai suka generatorius, gaminančius elektros energiją. Taip pat teritorijoje stovi saulės panelės, kurios pagamintą elektrą toliau nukreipia į gamybos procesus bei yra naudojama pastatų ir teritorijos apšvietimui. Apskaičiuotos sąnaudos elektros variklių darbui yra pateiktos 3.13 lentelėje

3.13 lentelė. Išlaidos transportavimo įrenginių variklių sunaudotai elektros energijai

Gamybos veiklos metai	Įrengimų variklių suminis aktyvinis galingumas, kW,	Variklių galingumo panaudojimo koeficientas	Įrengimų metinis efektyvus darbo laikas, val.	Elektros energijos poreikis jėgai, kWh	Elektros 1 kWh kaina, Eur	Išlaidos elektros energijai, tūkst. Eur
1	380,00	0,70	3000,00	798000,00	0,27	215,46
2 ir 3	380,00	0,80	5000,00	1520000,00	0,28	425,60
4	380,00	0,90	4000,00	1368000,00	0,30	410,40
5	380,00	0,80	4500,00	1368000,00	0,31	424,08

3.9.3. Netiesioginės išlaidos

Netiesioginės projekto vykdymo išlaidos yra susijusios su įvairiais faktoriais: darbuotojų užmokesčiu, išlaidomis vandeniui, cecho patalpų bei teritorijos apšvietimui sunaudotos elektros išlaidų, technologinių įrengimų remonto ir aptarnavimo darbų bei įvairių kitų darbų.

Šiuo atveju prie netiesioginių išlaidų nėra priskirta šilumos energijos, kadangi AB „Achema“ įmonė patalpų šildymui naudoja proceso metu išskirtą šilumą, kurią gauna karštų dujų srautus nukreipdama per šilumokaitį-rekuperatorių.

Žemiau pateiktose lentelėse (3.14, 3.15, 3.16, 3.17 lentelės) nurodytos apskaičiuotos įvairios netiesioginės išlaidos, susijusios su anksčiau išvardytais faktoriais.

3.14 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Profesija	Darbuotojų skaičius	Mėnesinis darbo užmokestis, Eur	Pagrindinis DU fondas, Eur	Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	Su darbuotojais susijusios išlaidos, Eur
Pagalbiniai darbininkai	4	2000	96000	1699	97699
Gamybinių cechų vadovai, specialistai, techniniai vykdytojai	4	2800	134400	2379	136779
Iš viso:	-	-	230400	4078	234478

3.15 lentelė. Netiesioginės išlaidos šaltam ir šiltam vandeniui

Išlaidų pavadinimas	Sunaudojimas per parą, 1/24 val.	Poreikis metams, m ³	1 m ³ vandens kaina, Eur	Išlaidos vandeniui, tūkst. Eur
Šaltam vandeniui	20	41	0,13	0,005
Šiltam vandeniui	25	51	0,13	0,007
Iš viso:	-	-	-	0,012
Eksploatacinės išlaidos	-	-	-	0,001
Iš viso:	-	-	-	0,013

3.16 lentelė. Netiesioginės išlaidos patalpų ir teritorijos apšvietimui

Gamybos veiklos metai	Patalpų plotas	Apšvietimo norma, W/m ²	Energijos kiekis patalpoms apšviesti, kWh	1 kWh kaina, Eur	Išlaidos šildymui per metus, tūkst. Eur	Eksploatacinės išlaidos, tūkst. Eur	Viso išlaidų, tūkst. Eur
1	6400	2,5	51200	0,27	13,824	2,074	15,898
2 ir 3	6400	2,5	51200	0,28	14,336	2,150	16,486
4	6400	2,5	51200	0,30	15,360	2,304	17,664
5	6400	2,5	51200	0,31	15,872	2,381	18,253

3.17 lentelė. Netiesioginės išlaidos technologinių įrenginių nusidėvėjimui

Ilgalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, tūkst. Eur	Normatyvinė eksploataavimo trukmė	Nusidėvėjimo suma, tūkst. Eur					Likutinė vertė, tūkst. Eur
			1	2	3	4	5	
Pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginys	85	30	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	72,25
Būgninio tipo rotacinė džiovykla su karšto oro padavimo sistema	45	30	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	38,25
Juostinis transporteris	12	25	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	9,84
Oro kompresorius	6,6	20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	5,12
Išcentrinis siurblys	4,4	10	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	2,42
Pramoninis granulių vibrosietas	6,6	20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	5,12
Kiti įrengimai, konstrukcinės medžiagos ir tvirtinimo elementai	13	15	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	9,10
Iš viso:	180	-	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44	147,83

Sudaroma suminė netiesioginių išlaidų lentelė (3.18 lentelė), kurios duomenimis remiantis galima daryti išvadą, kad daugiausiai išlaidų yra skiriama elektros energijos sąnaudoms padengti.

3.18 lentelė. Netiesioginių išlaidų sąmatas

Netiesioginių išlaidų rūšys	Gamybos veiklos metai			
	1	2 ir 3	4	5
Pagalbinės medžiagos	350,00	350,00	315,00	280,00
Darbo užmokestis	230,40	230,40	230,40	230,40
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	17,74	17,74	17,74	17,74
Elektros energija	215,46	425,60	410,40	424,08
Vanduo	0,01	0,01	0,01	0,01
Šiluminė energija	0,00	0,00	0,00	0,00
Amortizaciniai atskaitymai	6,44	6,44	6,44	6,44
Pagalbinių ir aptarnaujančių tarnybų paslaugos:				
Įrengimų remontas	10,40	10,40	10,40	10,40
Vidaus transportavimo įrenginių remontas	0,13	0,13	0,13	0,13
Gamybinių cechų pastatų remontas	1,70	1,70	1,70	1,70
Kitos išlaidos	33,29	33,29	33,29	33,29
Iš viso:	865,57	1075,71	1025,51	1004,19

Naudojantis gamybos kaštų ir netiesioginių išlaidų skiltyse atliktais skaičiavimais, toliau yra apskaičiuojami bendri gamybos kaštai (3.19 lentelė).

3.19 lentelė. Bendras gamybos kaštų ir netiesioginių išlaidų sąmatas

Gamybos veiklos metai	Kaštų rūšys	Gamybos kaštai, tūkst. Eur
1 metai	Pagrindinės medžiagos	1050,00
	Energija (šiluminė, elektros)	215,46
2 ir 3 metai	Darbuotojų darbo užmokestis	57,60
	Atskaitymai su VSD, GF ir IDIF	1,02
	Gamybinės netiesioginės išlaidos	865,57
	Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur	2189,65
	Produkcijos gamybos planas, t	6000,00
	Gaminio gamybinė savikaina, Eur	364,94
2 ir 3 metai	Pagrindinės medžiagos	1750,00
	Energija (šiluminė, elektros)	425,60
	Darbuotojų darbo užmokestis	96,65
	Atskaitymai su VSD, GF ir IDIF	1,71
	Gamybinės netiesioginės išlaidos	1075,71
	Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur	3349,68
	Produkcijos gamybos planas, tūkst. vnt.	10000,00
Gaminio gamybinė savikaina, Eur	334,97	
4 metai	Pagrindinės medžiagos	1400,00
	Energija (šiluminė, elektros)	410,40

3.19 lentelės tęsinys

	Darbuotojų darbo užmokestis	77,84
	Atskaitymai su VSD, GF ir IDIF	1,38
	Gamybinės netiesioginės išlaidos	1025,51
	Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur	2915,13
	Produkcijos gamybos planas, tūkst. vnt.	10000,00
	Gaminio gamybinė savikaina, Eur	291,51
	5 metai	Pagrindinės medžiagos
Energija (šiluminė, elektros)		424,08
Darbuotojų darbo užmokestis		68,58
Atskaitymai su VSD, GF ir IDIF		1,21
Gamybinės netiesioginės išlaidos		1004,19
Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur		2810,56
Produkcijos gamybos planas, tūkst. vnt.		8000,00
Gaminio gamybinė savikaina, Eur		351,32

3.9.4. Veiklos sąnaudos

Šios sąnaudos yra susijusios su galutinės produkcijos pardavimui skiriamomis išlaidomis. Veiklos sąnaudos yra susijusios su logistikos paslaugomis, marketingo paslaugomis bei kitomis administracinėmis paslaugomis. Rezultatai pateikti 3.20 lentelėje.

3.20 lentelė. Veiklos sąnaudų sąmatas

Išlaidų rūšys	Suma, tūkst. Eur
Pardavimų sąnaudos:	270,00
· Reklamai ir skelbimams	70,00
· Prekių išvežimui	200,00
Bendrosios ir administracinės sąnaudos:	59,00
· Pagalbinėms medžiagoms	15,00
· Energijai (šiluminei ir elektros)	10,00
· Amortizaciniams atskaitymams	7,00
· Paslaugoms	5,00
· Komandiruotėms	7,00
· Mokesčiams ir rinkliavoms	15,00
Iš viso:	329,00

Veiklos sąnaudoms priskiriamos įsigytos paskolos palūkanos. Projekto įgyvendinimui įsigytą paskolą siekiama gražinti per 5 metus, tokiu atveju vidutinės metinės palūkanos yra 5,7 %. Toliau apskaičiuojamos išlaidos susijusios su paskola (3.21 lentelė).

3.21 lentelė. Paskolos palūkanų apmokėjimo planas

Rodiklis	Gamybos veiklos metai				
	1	2	3	4	5
1. Paskolos likutis, tūkst. Eur.	71,00	56,80	42,60	28,40	14,20
2. Metinės palūkanos, proc.	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7

3.21 lentelės tęsinys

3. Metinės palūkanos, tūkst. Eur.	4,05	3,24	2,43	1,62	0,81
4. Paskolos padengimas, tūkst. Eur	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20

3.9.5. Galutinio produkto kainos apskaičiavimas

Naudojantis anksčiau atliktų skaičiavimų rezultatais, apskaičiuojamos kontroliuojamo veikimo su įterptais mikroelementais danga padengtų karbamido granuliu kainos 5-iems metams. Apskaičiuoti rezultatai pateikti 3.22 lentelėje.

3.22 lentelė. Galutinės produkcijos 5-iems metams kainos

Gamybos veiklos metai	Gaminio gamybinė savikaina, Eur	Gaminiui, tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	Gaminiui, tenkančios investicinės veiklos sąnaudos, Eur	Gaminio pilnoji savikaina, Eur	Pelnas		Kaina Eur/t
					%	Eur/t	
1	364,94	54,83	0,67	420,45	25	105,11	522,56
2 ir 3	334,97	32,90	0,4	368,27	30	110,48	478,75
4	291,51	41,13	0,51	330,14	35	116,60	449,74
5	351,32	43,87	0,54	395,73	40	158,29	554,02

Naudojantis galutinės produkcijos kainos bei pelno skaičiavimų rezultatais yra sudaroma AB „Achema“ įmonės pelno ataskaitą (3.23 lentelė), kurioje nurodomas grynojo pelno dydis su įvertintu 15 % pelno mokesčiu.

3.23 lentelė. Įmonės pelno ataskaita

Rodiklis	Gamybos veiklos metai				
	1	2	3	4	5
Pardavimų pajamos, tūkst. Eur	3153,37	4787,54	4787,54	4497,45	4432,14
Parduodamos produkcijos gamybos kaštai, tūkst. Eur	2189,65	3349,68	3349,68	2915,13	2810,56
Bendras pelnas, tūkst. Eur	963,72	1437,86	1437,86	1582,31	1621,57
Veiklos sąnaudos, tūkst. Eur	329,00	329,00	329,00	329,00	329,00
Veiklos pelnas, tūkst. Eur	634,72	1108,86	1108,86	1253,31	1292,57
Finansinė ir investicinė veikla					
- Pajamos, tūkst. Eur	71,00	56,80	42,60	28,40	14,20
- Sąnaudos, tūkst. Eur	18,25	17,44	16,63	15,82	15,01
Pelnas prieš apmokestinimą, tūkst. Eur	687,47	1148,23	1134,84	1265,89	1291,77
8. Pelno mokestis, tūkst. Eur	103,12	172,23	170,23	189,88	193,76
9. Grynasis pelnas, tūkst. Eur	584,35	975,99	964,61	1076,01	1098,00

3.9.6. Pinigų srautai

Naudojantis ankstesnių skaičiavimų rezultatais, sudaroma finansinės būklės pakeitimų ataskaita. Gauti rezultatai pateikti 3.24 lentelėje.

3.24 lentelė. Finansinės būklės pakitimų ataskaita

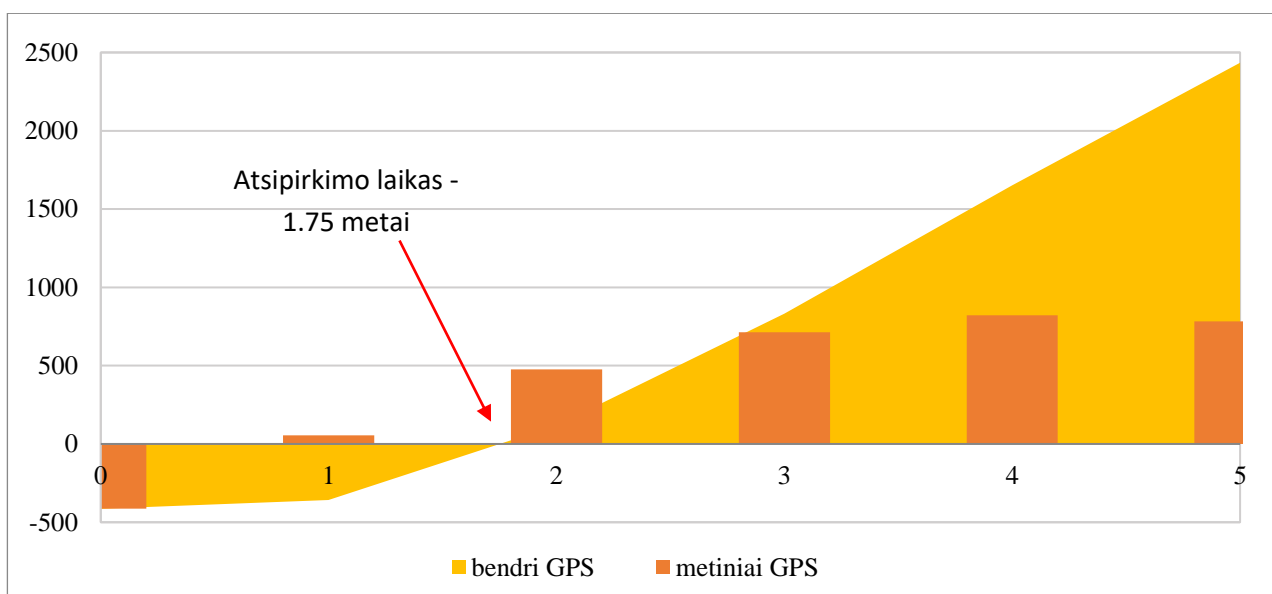
Rodikliai	Gamybos veiklos metai					
	0	1	2	3	4	5
Pinigų srautai iš įmonės veiklos:						
Grynasis pelnas, tūkst. Eur	-	584,35	975,99	964,61	1076,01	1098,00
Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos, tūkst. Eur	-	6,44	6,44	6,44	6,44	6,44
Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą, tūkst. Eur	218,97	510,92	386,67	0,00	-144,85	-34,86
Finansinės veiklos sąnaudų eliminavimas, tūkst. Eur	-	18,25	17,44	16,63	15,82	15,01
Grynieji pinigų srautai iš įmonės veiklos, tūkst. Eur	-218,97	61,62	578,32	954,42	1211,47	1124,28
Pinigų srautai iš investicinės veiklos:						
Ilgalaikio turto perleidimas, tūkst. Eur	195,00	-	-	-	-	147,83
Grynieji pinigų srautai iš investicinės veiklos, tūkst. Eur	-195,00	-	-	-	-	147,83
Bendri metiniai pinigų srautai, tūkst. Eur	-413,97	61,62	578,32	954,42	1211,47	1272,11

Kadangi 75% dalį projekto investicijų sudaro įmonės akcininkų kapitalas, o 25% banko paskola, svarbu apskaičiuoti numatomą grąžą. Remiantis ankstesnių skaičiavimų rezultatais, apskaičiuojami paprastų ir diskontuotų pinigų srautai (3.25 lentelė).

3.25 lentelė. Paprastų ir diskontuotų pinigų srautai (GPS)

Gamybos veiklos metai	Paprasti		Diskontuoti	
	Metiniai GPS, tūkst. Eur	Bendri GPS, tūkst. Eur	Metiniai GPS, tūkst. Eur	Bendri GPS, tūkst. Eur
0	-413,97	-413,97	-413,97	-413,97
1	61,62	-352,34	55,91	-358,05
2	578,32	225,97	476,12	118,06
3	954,42	1180,39	712,95	831,02
4	1211,47	2391,86	821,13	1652,14
5	1272,11	3663,97	782,34	2434,48

Sudaroma diskontuotų bendrų ir metinių pinigų srautų diagrama (3.5 pav.), kurioje gaunamas projekto atsipirkimo laikas yra 1,75 metai.



3.5 pav. Diskontuotų bendrų ir metinių pinigų srautai

3.9.7. Pagrindiniai rodikliai

Remiantis ankstesniuose skyreliuose pateiktais skaičiavimo duomenimis, sudaromos pagrindinių, ekonominio vertinimo (3.26 lentelė) ir finansinių ekonominių (3.27 lentelė), rodiklių lentelės.

3.26 lentelė. Ekonominio vertinimo rodikliai

Rodikliai	Reikšmės
Diskontuotas atsipirkimo laikas, metai	1,75
Grynoji esamoji vertė (GEV), tūkst. Eur	2434,48
Vidinė pelno norma (IRR), %	99,36
Modifikuota vidinė pelno norma (MIRR), %	62,09
Pelningumo indeksas (PI)	6,88

3.27 lentelė. Finansiniai ekonominiai rodikliai

Rodikliai	Reikšmės
Produkcijos pardavimo apimtis, tonomis brandos stadijoje:	10000
Pardavimų pajamos, tūkst. Eur	4787,54
Įmonės personalas, žmonės:	22
· iš kurių darbininkai	12
Darbo našumas, tūkst. Eur:	
· dirbančiojo	217,62
· darbininko	398,96
Vidutinis metinis darbo užmokestis, Eur	
· dirbančiojo	14866,01
· darbininko	16054,35
Gamybos kaštai, tūkst. Eur	3349,68
Gaminio pilnoji savikaina, Eur	368,27
Grynasis pelnas, Eur	970,30
Investicijų apimtis, tūkst. Eur	335,00

3.27 lentelės tęsinys

Bendrasis pelningumas, %	30
Veiklos pelningumas, %	23
Grynasis pelningumas, %	20
Investicijų grąža, %	75
Veiklos rentabilumas, %	30
Apyvartų skaičius per metus	3
Apyvartos trukmė, dienomis	120
Produkcijos imlumas apyvartinėms lėšoms, Eur	0,07
Projekto kapitalo kaštai, %	10,21
Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas, metais	1,75
Projekto grynoji esamoji vertė, Eur.	2434,48
Vidinė pelno norma, %	99,36
Modifikuota vidinė pelno norma, %	62,09
Pelningumo indeksas	6,88

Naudojantis ankstesniais skaičiavimais, sudaromas projekto finansinis balansas (3.28 lentelė), kuriame nurodyti pinigų srautai atskirais gamybos veiklos metais.

3.28 lentelė. Projekto finansinis balansas, tūkst. Eur

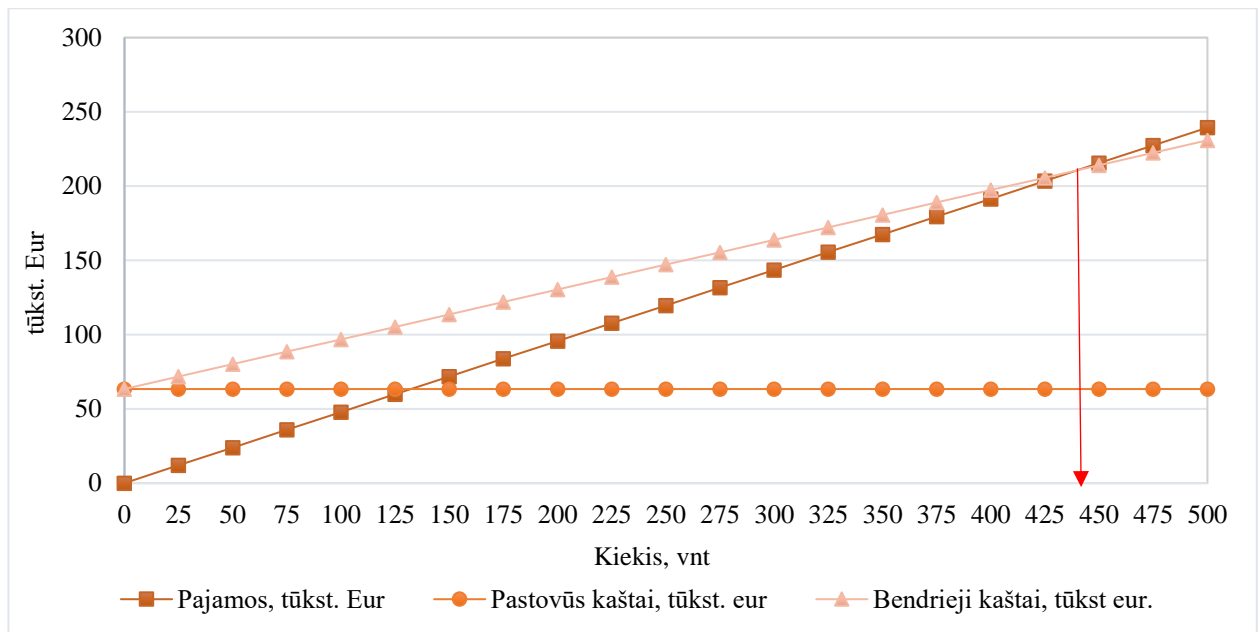
Gamybos veiklos metai	0	1	2	3	4	5
0	-413,97	-413,97	-413,97	-413,97	-413,97	-413,97
1		61,62	61,62	61,62	61,62	61,62
2			578,32	578,32	578,32	578,32
3				954,42	954,42	954,42
4					1211,47	1211,47
5						1272,11
Numatomi GPS	-413,97	-352,34	225,97	1180,39	2391,86	3663,97

Naudojantis ankstesniais skaičiavimais, apskaičiuojamas lūžio taškas, kuris nurodo reikiamą produkcijos kiekį, kurį pagaminus ir pardavus būtų padengtos visos projekto išlaidos. Gauti rezultatai pateikti 3.29 lentelėje.

3.29 lentelė. Lūžio taško skaičiavimo rezultatai

Rodikliai	Reikšmės
Pastoviųjų kaštų suma, Eur	63375
Galutinio produkto kaina, Eur	478,75
Galutinio produkto kintamieji kaštai, Eur	334,97
Lūžio taškas, t	440,76
Pardavimų planas, t	10000

Sudaroma kontroliuojamo veikimo dangos su įterptais mikroelementais padengtų karbamido granulių lūžio taško diagrama (3.6 pav.).



3.6 pav. Padengtų karbamido granulių lūžio taškas

Remiantis gautais ekonominio skaičiavimo rezultatais ir sudaryta lūžio taško diagrama, galima teigti, kad pagaminus 441 toną kontroliuojamo veikimo danga su įterptais mikroelementais padengtų karbamido granulių būtų padengtos visos technologinio proceso modifikacijos projekto išlaidos.

3.10. Aplinkosauginis vertinimas

3.10.1. Bendrieji duomenys

Įmonės, užsiimančios cheminių junginių gamybą dideliu mastu, privalo atsižvelgti į aplinkos apsaugos faktorius, siekdamas gamybą vykdyti kiek įmanoma tvaresniais būdais. Karbamido sintezės proceso metu gaunamas karbamido lydalas, iš kurio gautos karbamido granulės padengiamos kontroliuojamo veikimo danga su įterptais mikroelementais. Per mėnesį siekiama pagaminti iki 850 tonų padengtų karbamido granulių.

Karbamido sintezei naudojami dideli kiekiai anglies dioksido dujų bei skysto amoniako, kurie gaunami kituose įmonėje veikiančiuose cechuose. Karbamido granulių padengimui naudojama melasa, kuri yra šalutinis cukrinių runkelių apdirbimo proceso produktas, ir sulfatinių mikroelementų mišinys. Technologinio proceso įrenginiams aušinti ir šildymui naudojamo vandens garo gamybai yra naudojamas vanduo iš Neries upės, kuris pirmiausiai yra siurbliais tiekiamas į vandens gerinimo stotelę, esančią įmonės teritorijoje. Duomenys apie karbamido granulių gamyboje naudojamas žaliavas yra pateikiami 3.30 lentelėje [29].

3.30 lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavą bei produktą

Žaliavos ar produkto pavadinimas	Kiekis per mėnesį, t	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklavimas		
		Kategorija	Pavojaus nuoroda	Rizikos frazės
Amoniakas	210	2	H221 H280 H314 H318 H331 H400 H411	Degios dujos; Turi slėgio veikiamų dujų, kaitinant gali sprogti;; Smarkiai nudegina odą ir pažeidžia akis; Smarkiai pažeidžia akis; Toksiška įkvėpus; Labai toksiška vandens organizmams; Toksiška vandens organizmams, sukelia ilgalaikius pakitimus.
Anglies dioksidas	550	-	H280 H281	Turi slėgio veikiamų dujų, kaitinant gali sprogti; Turi atšaldytų dujų, gali sukelti kriogeninius nušalimus arba pažeidimus“ (tik izoterminiams, kriogeniniams indams bei rezervuarams).
Karbamidas	833	-	H302 H334 H335	Kenksminga prarijus; Įkvėpus gali sukelti alerginę reakciją, astmos simptomus arba apsunkinti kvėpavimą; Gali dirginti kvėpavimo takus;
„APC Mikro Forte 13“ sulfatinės formos mikroelementų mišinys	42	-	H335 H373 H413 EUH 071	Gali dirginti kvėpavimo takus; Gali pakenkti organams, jeigu medžiaga veikia ilgai arba kartotinai; Gali sukelti ilgalaikį kenksmingą poveikį vandens organizmams; Ėsdina kvėpavimo takus.
Melastos tirpalas	83	-	H302 H413	Kenksminga prarijus; Gali sukelti ilgalaikį kenksmingą poveikį vandens organizmams.

Įmonėje didžioji dalis elektros energijos yra sunaudojama medžiagų transportavimo įrenginių variklių darbui. Naudojami tokie įrenginiai, kaip juostiniai transporteriai, išcentriniai siurbliai, plunžeriniai siurbliai, išcentriniai kompresoriai ir stūmokliniai kompresoriai. Šie įrenginiai didžiąją dalį elektros energijos gauna iš įmonės teritorijoje esančios elektros energijos jėgainės, kurioje elektra gaminama generatoriais, kuriuos išsuka išsiskiriančių dujų bei dūmų srautai. Mažesnę dalį elektros energijos įrenginiai gauna iš saulės modulių, įdiegtų laisvuose teritorijos plotuose bei ant administracinių ir sandėliavimo pastatų stogų. Trūkstamas elektros energijos kiekis yra tiekiamas iš energetikos įmonės UAB „Ignitis“. Sunaudojamos, pagaminamos ir papildomai tiekiamos energijos kiekiai yra nurodyti 3.31 lentelėje [30].

3.31 lentelė. Sunaudojamos bei pagaminamos elektros energijos kiekis per metus

Energetinis išteklius	Sunaudojamas kiekis per metus, MWh	Pagaminamas kiekis per metus, MWh	Energijos tiekėjas	Iš tiekėjo gaunamas energijos kiekis per metus, MWh
Elektros energija	1520	793,8	UAB „Ignitis“	726,2

Lentelėje pateikti duomenys nurodo, jog įmonė, naudodamasi saulės moduliais ir elektros jėgaine, pasigaminami daugiau nei 50 % visos per metus sunaudojamos elektros energijos.

3.10.2. Atliekos

Karbamido gamybai naudojama technologija su anglies amonio druskų reciklu atgal į sintezės koloną. Dėl šios priežasties yra sumažinami susidarančių atliekų kiekiai, kadangi technologija yra pritaikyta tarpinius produktus papildomai konvertuoti į karbamidą.

Proceso metu susidaro kietos būsenos atliekos, kurios iš pagrindinio bei šalutinių technologinio proceso srautų yra atskiriamos naudojantis filtrais. Šie filtrai yra keičiami reguliariai, dažnumas priklauso nuo gamybos apimtys bei filtro diferencinio slėgio skirtumo parametrų, nurodančių filtrų užterštumą.

Technologinių įrenginių aptarnavimo metu ar kas 2-3 metus vykstančių didelio masto remonto darbų katalizinių procesų įrenginiuose yra keičiamos katalizatorių medžiagos. Panaudotas katalizatorius yra laikomas atlieka, kuri toliau yra perdirbama cheminių atliekų tvarkymo įmonėse.

Visos susidariusios pavojingos atliekos yra laikomos specialiai tam pritaikytoje vietoje, iš jūrinių konteinerių padarytuose sandėliuose, kurie yra izoliuoti nuo aplinkos bei sumontuoti specialiai tam skirtose vietose, kuriose įrengti nubėgimai, esant avarinėms situacijoms. Šios atliekos yra reguliariai, kas 1-2 savaites, išvežamos naudojantis UAB „Toksika“ įmonės pavojingų atliekų šalinimo paslaugomis. Informacija apie susidarančių atliekų šaltinius bei kiekius yra nurodyta 3.32 lentelėje [33,36].

3.32 lentelė. Gamybos metu susidarančių atliekų šaltiniai, kodai, kiekis ir apdorojimo metodas

Pavojingos atliekos	Atliekas išskiriantis įrenginys	Atliekos kodas	Susidarančių atliekų kiekis per metus, t	Atliekų apdorojimo metodas
Katalizatorių atliekos	Katalizinio tipo įrenginiai	16 08 07	< 800	Pavojingos atliekos išvežamos naudojantis UAB „Toksika“ paslaugomis
Procese panaudoti filtrai	Įvairiuose proceso etapuose naudojamos filtravimo technologijos įrenginiai	07 04 10	< 400	Pavojingos atliekos išvežamos naudojantis UAB „Toksika“ paslaugomis

3.10.3. Oro tarša

Pagrindinė aplinkos oro tarša yra iš išlakų, susidarančių karbamido gamybos metu. Šios išlakos yra dujinės fazės. Proceso metu dujinės fazės separatoriuose atskiriamos dujos, susidedančios iš dujinio amoniako bei anglies dioksido. Jos yra nukreipiamos į dujų aušintuvus ir kondensatorius, siekiant iš dujų išgryninti nesureagavusį amoniaką bei grąžinti jį į karbamido sintezės koloną. Karbamido lydalo granuliavimo, padengimo bei džiovavimo etapuose yra šalinamas oras, kuriame yra amoniako, karbamido dulkių bei kitų kietųjų dalelių, kurios yra atskiriamos filtrais. Likusios dujos bei užterštas panaudotas oras yra tiekiamas į dujų iškaitinimo etapą, kuriame esant aukštai temperatūrai ir vario-cinko katalizatoriui, didžioji dalis pavojingų junginių skylą į aplinkai nepavojingus junginius. Išsiskiriantys teršalai, jų susidarymo vietos bei kiekiai yra nurodyti 3.33 lentelėje [31].

3.33 lentelė. Teršalų susidarymo šaltinis, kiekis bei apdorojimo metodas

Teršalai	Taršos šaltiniai	Susidarančių teršalų kiekis per metus, t	Teršalų apdorojimo metodas
Sudėtyje amoniako turinčios dujos	Pirmojo ir antrojo laipsnių distiliacijos dujinės fazės separatoriai, granuliavimo bokštas, amoniako kondensatoriai	< 300	Dujų katalizinis iškaitinimas
Karbamido dulkės	Karbamido granuliavimo bokštas, pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginys, būgninio tipo rotacinė džiovykla	< 500	Kietųjų dalelių atskyrimas filtrais

Dujų valymo etape nepavyksta pašalinti visų aplinkai pavojingų cheminių junginių bei dulkių. Karbamido gamybos proceso metu į aplinką yra pašalinami išvalytų dujų srautai, kurių didžiąją dalį sudaro anglies dioksido dujos bei vandens garai. Dideli anglies dioksido dujų kiekiai turi neigiamą poveikį nuolat didėjančiam šiltnamio efektui. Pagal AB „Achemos“ įmonės internetinėje svetainėje pateiktus duomenis, įmonėje anglies pėdsakas neviršija 3,997 tonų ekvivalentinio anglies dioksido kiekio, pagaminant vieną toną azoto [32].

3.10.4. Vandens sunaudojimas ir nuotekų valymas

Technologiniuose procesuose, tokiuose kaip: įrenginių aušinimas, pašildymui naudojamų vandens garų gamyba yra naudojamas vanduo iš Neries upės. Pradžioje upės vanduo siurbliais yra transportuojamas į vandens gerinimo įrenginius esančius įmonės teritorijoje vandens paruošimo stotelėje. Vanduo čia yra išvalomas nuo kietųjų dalelių ir mikroorganizmų, taip pat papildomai yra dezinfekuojamas [34, 36].

Panaudotas vanduo yra transportuojamas į vandens nuotekų valymo įrenginius, kurie yra įmonės teritorijoje vandens nuotekų valymo stotelėje. Iš vandens kietosios dalelės yra pašalinamos filtravimo ir nusodinimo etapuose. Pavojingi cheminiai junginiai iš vandens yra pašalinami filtravimo, distiliavimo bei atvirkštinio osmoso etapuose [35, 36].

Po valymų vanduo su atitinkančiomis aplinkosauginių parametrų reikšmėmis yra tiekiamas į Neries upę. Vandens nuotekų valymo procese gautas dumblas yra surenkamas ir transportuojamas į Jonavos nuotekų tvarkymo įmonę UAB „Jonavos Vandenyš“ tolimesniems apdorojimo, pūdymo ir metano dujų gamybos procesams [32, 35].

Geriamas vanduo į virtuves, persirengimo patalpose esančius dušus ir tualetus yra tiekiamas iš AB „Achema“ įmonės teritorijoje esančio požeminio vandens gręžinio, iš kurio vanduo yra papildomai paruošiamas įmonės vandenvietėje esančiais vandens gerinimo įrenginiais [32].

Lentelėje (3.34 lentelė) pateikiami AB „Achema“ įmonės internetinėje svetainėje pateikti duomenys susiję su 2024 metų balandžio mėnesio Neries upės vandens paėmimo ir gražinimo, geriamo vandens iš gręžinio, bei tiekiamo į Jonavos miesto vandens nuotekų tvarkymo punktą kiekiais [32, 36].

3.34 lentelė. Sunaudojamo ir pašalinamo įmonės vandens kiekiai per 2024 metų balandžio mėn.

Paimtas Neries upės vandens kiekis, tūkst. m ³	Paimtas požeminio vandens kiekis iš gręžinio, tūkst. m ³	Į Neries upę išleistas paviršinių lietaus nuotekų kiekis, tūkst. m ³	Į Jonavos miesto vandens valymo įmonę išduotas vandens kiekis, tūkst. m ³
1215,437	5,854	764,319	47,562

3.10.5. Aplinkosauginio vertinimo apibendrinimas

Karbamido granulių gamybos technologija yra pritaikyta tvariai karbamido sintezei, kadangi susidarantys šalutiniai bei nesureagavę tarpiniai produktai yra papildomai perdirbami ir konvertuojami į karbamidą, siekiant išskirti kuo įmanoma mažesnę proceso metu susidarantių atliekų kiekį, o tuo pačiu metu padidinti gaminamo produkto, karbamido granulių, kiekį.

Prie aplinkos apsaugos yra prisidedama prie karbamido gamybos proceso papildomai pridedant karbamido granulių padengimo etapą, kuriame yra naudojama melasa, šalutinis cukraus gamybos proceso produktas. Padengtomis kontroliuojamo veikimo danga granulėmis patrešus dirvožemį, iš jo į gruntinius vandenius išsiplauna žymiai mažesni kiekiai sudėtyje esančių medžiagų, kurios yra skirtos augalams pasisavinti, siekiant pagerinti augalo vystymąsi bei padidinti derliaus kiekius.

Sumažėjęs išsiplaunančių medžiagų kiekis sumažina eutrofikacijos efektą, dėl kurio natūraliai susiformavę vandens telkiniai ilgai neišgyvena. Šis procesas yra žalingas ne tik aplinkai, bet taip pat ir joje gyvenantiems organizmams. Dėl to su karbamido granulių padengimu kontroliuojamo veikimo danga netiesiogiai prisidedama prie neigiamo aplinkos poveikio, sukeliama dėl žemės tręšimo karbamido trąšomis, sumažinimo.

Proceso metu pagrindinės susidaranti atliekos yra panaudoti ir užteršti katalizatoriai bei panaudoti filtrai. Šiomis pavojingomis atliekomis pasirūpina įmonė UAB „Toksika“. Į aplinkos orą tiekiamos dujos pagrįdai susideda iš vandens garų ir anglies dioksido dujų, gautų iš išlakų atskyrus amoniaką.

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

Šiame projekto skyriuje yra analizuojami darbuotojų saugos ir sveikatos klausimai.

4.1. Projektuojamo objekto charakteristika

Karbamido granulių gamybos technologijoje papildomas kontroliuojamo veikimo danga su įterptais mikroelementais dengimo procesas yra diegiamas AB „Achema“ įmonės teritorijoje esančiame karbamido gamybos ceche. Karbamido sintezės etape yra naudojamos anglies dioksido dujos bei skystas amoniakas. Karbamido granulių padengimui yra naudojamas melasos tirpalas bei „APC Mikro Forte 13“ sulfatinių mikroelementų mišinys. Technologinio proceso įrenginiams vėsinti yra naudojamas aušinamasis cirkuliuojantis vanduo, aukštos temperatūros bei slėgio vandens garas naudojamas įrenginių šildymui. Įrenginiuose su besisukančiais mechanizmais taip pat cirkuliuoja aukštos temperatūros alyva.

Vykdamas padengtų karbamido granulių gamybą darbuotoją gali paveikti šie faktoriai:

- Vamzdynuose bei kituose įrenginiuose esančių aukštos temperatūros bei slėgio dujų sukiamas pavojus nusideginti;
- Naudojamų žaliavų – amoniako ir anglies dioksido, sukiamas pavojus sveikatai;
- Didelio garso triukšmo, sukiamo kompresorių bei siurblių, sukiamas pavojus klausai.

Remiantis Lietuvos respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatyme pateiktoje „Gamybinių objektų sanitarinės apsaugos zonų dydis“ lentelės 25 eilutės „Pagrindinių chemikalų, trąšų ir azoto junginių, pirminių plastikų ir pirminio kaučiuko gamyba“ duomenimis, nustatytas projektuojamo objekto sanitarinės apsaugos zonos dydis yra 500 metrų [37].

4.2. Profesinės rizikos vertinimas

Atliekant profesinės rizikos vertinimą (4.1 lentelė) yra įvertinami esami ar galimi profesiniai pavojai, į kuriuos atsižvelgus galima numatyti priemones, kurios leistų išvengti kylančių pavojų ar sumažinti jų rizikas. Profesinės rizikos vertinimą rekomenduojama atlikti veiklos vykdymo pradžioje, projektuojant naujas darbo vietas, modifikuojant esamas technologines linijas ar įdiegiant naujas. Šią procedūrą organizuoja darbdavį atstovaujantis arba darbdavio įgaliotas asmuo [38, 41].

Profesinės rizikos vertinimas yra atliekamas keliais etapais: parengiamieji darbai, rizikos veiksnių bei jų dydžio nustatymas, rizikos pašalinimas ar sumažinimas bei rizikos stebėjimas. Šių etapų metu yra nustatomi rizikos veiksniai ir įdiegiamos prevencinės priemonės, dėl kurių gali kilti pavojus darbuotojų saugumui ir sveikatai [38].

Rengiant profesinės rizikos vertinimą būtina įvertinti įmonės teritorijos, bei pastatų dydžius, taip pat vykdomų gamybos procesų vietą, kadangi galimi skirtingi pavojai, priklausomai nuo to ar įrenginys pastatytas pastato viduje ar išorėje [38].

Karbamido trąšų gamybos ceche dirbantys darbuotojai gali susidurti su cheminių, fizinių, fizikinių, ergonominių bei psichosocialinių grupių rizikos veiksniais [38, 44].

4.1 lentelė. Profesinės rizikos veiksniai ir prevencinės priemonės

Rizikos veiksnys, keliantis pavojų darbuotojų saugumui ir sveikatai	Rizikos veiksnio veikimo vieta	Rizikos veiksnio dydis, matavimo vienetas	Ribinės vertės	Prevencinės priemonės
Cheminiai veiksniai				
Amoniakas	Karbamido sintezės distiliacijos, forišgarinimo ir išgarinimo zonos	Iki 15 mg/m ³	IPRD – 14 mg/m ³ TPRD – 36 mg/m ³	Filtruojančios dujų kaukės, apsauginiai akiniai, apsauginės pirštinės.
Anglies dioksidas	Karbamido sintezės distiliacijos, forišgarinimo ir išgarinimo zonos	Iki 8500 mg/m ³	IPRD – 9000 mg/m ³ TPRD – 18000 mg/m ³	Izoliuojančios dujų kaukės, deguonies kiekio matavimo įrenginiai
Fiziniai veiksniai				
Statinės elektros iškrova	Siurblinė, kompresorinė, karbamido granulių transportavimo įrenginiai, sandėliavimo patalpos	-	-	Darbinė apranga, antistatiniai drabužiai, specialūs darbiniai batai su guminiiais padais, žemėjimas
Aukštas slėgis	Karbamido sintezės, distiliacijos, forišgarinimo, išgarinimo, granuliavimo bei padengimo zonos	Iki 20 bar įrenginiuose ir vamzdynuose	-	Apsauginės konstrukcijos, medžiagos pritaikytos aukšto slėgio procesams, parametrų fiksavimas manometrais bei apsauginių vožtuvų ir membranų įdiegimas
Karšti vandens garai	Karbamido sintezės distiliacijos, forišgarinimo ir išgarinimo zonos	Iki 200 °C įkaistantys įrenginių paviršiai ir vamzdynai	Iki 40 °C	Darbinė apranga, apsauginės pirštinės, apsauginis šalmas
Fizikiniai veiksniai				
Šiluminė aplinka	Karbamido gamybos cecho patalpos, kompresorinė	Nuo 18 iki 25 °C	Nuo 18 iki 27 °C	Rizika priimtina
Temperatūra	Karbamido sintezės, distiliacijos, forišgarinimo ir išgarinimo zonos	Iki 195 °C įrenginio viduje	Šiltuoju metu - nuo 19 iki 23 °C; Šaltuoju metu – nuo 18 iki 20 °C	Sumontuojamas šilumos izoliacijos sluoksnis

4.1 lentelės tęsinys

Triukšmas	Technologiniai įrenginiai (siurbliai, kompresoriai ir pan.)	90 dBA	87 dBA	Apsauginės ausinės bei ausų kištukai
Apšvietimas	Procesų valdymo patalpos, operatorinė, pagalbinės patalpos	300 lx	200 lx	Rizika priimtina
Ergonominiai veiksniai				
Darbo poza	Proceso valdymo ir priežiūros pultas laboratorija	> 50 % darbo laiko sudaro sėdimas darbas	Sėdimas darbas < 25 % viso darbo laiko	Papildomos pertraukos darbo metu po 10 min kas 2 val., mankšta
Psichosocialiniai veiksniai				
Darbo grafikas, darbas 12 val. pamainomis, darbas naktį	Karbamido gamybos patalpos, proceso priežiūros punktas, operatorinė	-	-	Papildomos pertraukos kas valandą laiko praėjus 8 val. nuo darbo pradžios

Pagal gamybos procese naudojamų medžiagų tipus yra priskiriamos pavojingumo kategorijos, kurios nurodo galimą įrenginių pritaikymą prie tam tikrų zonų bei tinkamą apsauginių priemonių parinkimą saugiam darbo atlikimui. Žemiau pateiktoje 4.2 lentelėje nurodytos gaisro ir sproginimo atveju pavojingumo zonos [39, 45].

4.2 lentelė. Karbamido gamybos procese naudojamų pavojingų žaliavų gaisrinio pavojingumo rodikliai

Medžiagos pavadinimas	Pavojingumo kategorija	Apatinė sproginimo riba, %	Viršutinė sproginimo riba, %	Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C
Amoniakas	2	16	25	650

Amoniakas gali smarkiai nudeginti odą ir pažeisti akis, didelės amoniako koncentracijos gali pažeisti centrinę nervų sistemą, patekus didesniai kiekiui amoniako į organizmą gali prasidėti traukuliai. Įkvėpus amoniako, jis gali stipriai sudirginti kvėpavimo organus [39].

Anglies dioksido dujos yra pavojingos tuo, jog plaučiuose yra lengviau pasisavinamos nei deguonis, dėl to organizme sumažėja deguonies koncentracija. Jei aplinkoje yra stipriai padidėjęs anglies dioksido kiekis, žmogus gali pajusti dirginimą akyse, sukilusį spaudimą galvos srityje, padidėjusį širdies ritmą, taip pat žmogus pradeda stipriai prakaituoti. Anglies dioksidas turi ilgalaikį poveikį žmogaus organizmui, kadangi turi narkotinių savybių, kenkiančių centrinei nervų sistemai [40].

Žemiau pateiktoje 4.3 lentelėje nurodomos padengtų karbamido granuliu gamybos proceso etapų zonos, kuriose naudojamos medžiagos gali sukelti sproginimą arba pavojų darbuotojo sveikatai [46].

4.3 lentelė. Karbamido granulių gamybos pavojingos zonos ir kategorijos

Zonos pavadinimas	Parametras, nulemiantis kategoriją pavojingoje zonoje	Pavojingumo kategorija	Užsidegimo temperatūra, °C
Amoniako transportavimo, karbamido sintezės, 1-ojo ir 2-ojo laipsnių distiliacijos etapų zonos	Technologiniuose įrenginiuose yra degios medžiagos, užsidegančios deguonies aplinkoje	C _g	>500
Karbamido forišgarinimo ir išgarinimo etapų zonos	Technologiniuose įrenginiuose yra karštos nedegios medžiagos	D _g	-
Karbamido granuliavimo, padengimo ir džiovavimo etapų zonos	Technologiniuose įrenginiuose yra nekarštos ir nedegios medžiagos	E _g	-

4.3. Saugi gamyba

Kadangi karbamido granulių gamyboje yra naudojamos pavojingos medžiagos, būtina sudaryti tinkamas proceso vykdymo sąlygas su kiek įmanoma mažesniu neigiamu poveikiu darbuotojui. Tokias sąlygas turi užtikrinti darbdavys – darbo aplinkoje turi būti sumažinti arba visai panaikinti pavojai galintys sukelti darbuotojui sveikatos problemų [41].

Darbuotojui apsisaugoti nuo pavojingų veiksnių yra nemokamai suteikiamos asmeninės bei kolektyvinės apsaugos priemonės, kuriomis darbuotojas privalo naudotis atlikdamas pavojingus darbus. Šios priemonės sumažina tikimybę įvykti nelaimingam atsitikimui ar sukelti darbuotojui profesinę ligą. Darbuotojai taip pat turi būti mokomi ir instruktuojami kaip saugiai atlikti įvairius technologinio proceso priežiūros bei aptarnavimo darbus, taip pat periodiškai turi būti tikrinamos darbuotojo profesinės žinios, jeigu darbuotojas neišlaiko žinių patikrinimo egzamino, jam gali būti suteikti papildomi instruktavimai ar mokymai [41].

Siekiant užtikrinti saugias darbo sąlygas, privaloma laikytis šių reikalavimų:

- Pavojingų įrenginių parametrus fiksuojantys sensoriai bei signalą apdorojanti automatikos įranga turi veikti sklandžiai, tam privaloma atlikti periodines patikras, o esant poreikiui remontą vykdyti nedelsiant;
- Mechaniniai proceso apsaugos prietaisai, tokie kaip apsauginiai vožtuvai turi būti periodiškai patikrinami, įsitikinant, kad viskas veikia tvarkingai;
- Praėjimo ir evakuacijos praėjimai privalo būti lengvai praeinami, taip pat evakuacijos praėjimuose turi būti instaliuoti papildomi apšvietimo įrenginiai, kurie veiktų avarijos atveju praradus elektros tiekimą;
- Privaloma naudotis tvarkingomis elektrinėmis darbo priemonėmis, kurios gedimo atveju nesukeltų kibirkščių, galinčių uždegti netoliese esančias pavojingas, sprogias medžiagas;
- Privaloma užtikrinti sklandžiai veikiančią ventiliacijos sistemą, siekiant išvengti didėjančios dulkių koncentracijos patalpose, dėl ko gali įvykti sproginimas;
- Procese įdiegtos sklendės, įrenginių valdymo skydai, gesintuvai turi būti lengvai prieinami;

- Aukšto slėgio vamzdynuose privaloma įmontuoti hidraulinio smūgio slopintuvus, siekiant sumažinti riziką vamzdyno konstrukcijos deformavimuisi, kuris gali sukelti didžiulį neigiamą poveikį ne tik gamybos procesui, bet ir darbuotojo sveikatai ar gyvybei. Šiuose vamzdynuose taip pat yra labai svarbu sumontuoti apsauginius vožtuvus, hidraulinės užtvaras bei trūkusias membranas. Visus slėginių indų priežiūros bei remonto darbus privaloma vykdyti remiantis patvirtintomis ir galiojančiomis slėginių indų naudojimo taisyklėmis [43,44].

4.4. Darbo higiena

Darbo higiena yra sudaryta iš kelių atskirų faktorių: apšvietimo, triukšmo, šiluminės aplinkos bei kolektyvinių ir asmeninių apsaugos priemonių. Komfortiškas darbo sąlygas užtikrina darbdavys ar darbdavio įgaliotas asmuo [41, 42].

Siekiant darbuotojui suteikti komfortiškas darbo sąlygas, įmonėje turi būti įrengtos persirengimo patalpos su dušais, papildomos poilsio vietos, virtuvės bei tualetai. Patalpos šiltuoju metų laikotarpiu turi būti gerai vėdinamos, o šaltuoju metu – šildomos. Gamybinės ir pagalbinės patalpos bei praėjimai turi būti gerai apšviesti, dienos metu stengiantis išnaudoti natūralų apšvietimą, o tamsiuoju paros metu – dirbtinį apšvietimą [42].

Darbuotojui turi būti užtikrintos papildomos asmeninės apsaugos priemonės: tinkamo dydžio darbinių drabužių komplektai, patogūs, sutvirtintais priekiais bei neslidžiais padais darbiniai batai, apsauginis šalmas su integruotomis apsauginėmis ausinėmis nuo triukšmo, bei kitos asmeninės apsaugos priemonės [42].

Darbo aplinkoje privaloma užtikrinti temperatūros viršutinę bei apatinę ribas – patalpose temperatūra turi būti nedidesnė nei 23 °C bei nemažesnė nei 18 °C. Ventiliacijos sistemos turi būti sklandžiai veikiančios, taip pat turi būti užtikrintas švaraus oro tiekimas į patalpas. Gamybinių bei pagalbinių patalpų grindys turi būti plaunamos bent 1 kartą per dieną, o poreikiu atsiradus patalpos turi būti dezinfekuojamos [42].

Gamybinės patalpos nuo poilsio patalpų turi būti atskirtos su garsą izoliuojančiomis medžiagomis, siekiant, kad darbuotojų poilsio metu nebūtų aukštas garso lygis, kurį sukelia technologiniai įrenginiai, tokie kaip išcentriniai siurbliai ar stūmokliniai kompresoriai.

Darbuotojai baigę įvairius priežiūros ar remonto darbus privalo susitvarkyti, nepalikti ant grindų besimėtančių dalių, skudurų ar chemikalų, už kurių kitas darbuotojas galėtų užkliūti, paslysti ir susižeisti.

Darbinėje aplinkoje papildomai turi būti matuojami ir užtikrinami santykinis oro drėgnis, šiluminė spinduliuotė, oro judėjimo greitis, dulkių, dūmų bei kitų pavojingų junginių koncentracijos ore. Santykinio oro drėgnio, oro judėjimo greičio bei šilumos parametrus galima valdyti prie ventiliacijos sistemų papildomai įmontuojant šiluminius rekuperatorius. Dulkių, dūmų ir pavojingų junginių koncentracijų matavimai yra sujungti su signalizacijos sistema, kuri esant poreikiui automatiškai įjungia vandens gesinimo purkštukus, sumontuotus ant patalpų lubų [42].

Žemiau pateiktoje 4.4 lentelėje nurodomi pagrindiniai darbinės aplinkos parametrai, kuriuos kontroliuojant yra užtikrinamos komfortinės darbo sąlygos visiems patalpose dirbantiems darbuotojams.

4.4 lentelė. Komfortinės darbo aplinkos sąlygos

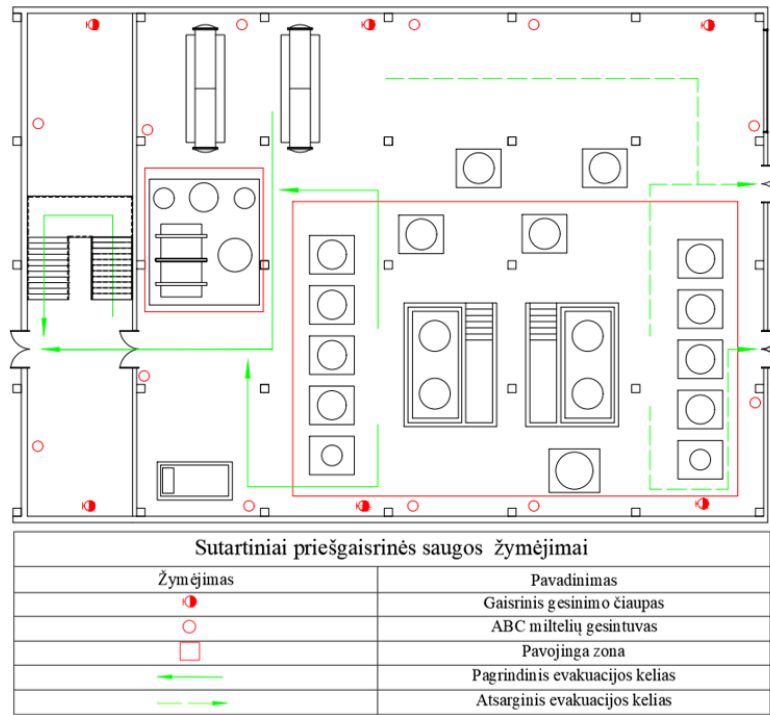
Metų sezonas	Aplinkos oro temperatūra	Santykinis oro drėgnumas	Oro judėjimo greičio viršutinė riba
Šiltasis	19-23 °C	40-60 %	0,1 m/s
Šaltasis	18-20 °C	40-60 %	0,2 m/s

4.5. Gaisrinė sauga

Karbamido gamybos ceche pagrindinės naudojamos medžiagos galinčios sukelti gaisrą yra dujinė arba skystos būsenos, dėl to gali kilti C ir B klasių gaisrai. Gaisrus klasifikuojamus C klase galima gesinti naudojant tik ABC tipo miltelinius gesintuvus, tuo tarpu B klasės gaisrus – ABC tipo milteliniais bei putų gesintuvais. [47]

Projektuojant padengtų karbamido granulių gamybos liniją yra įdiegiamos šios, darbuotoją galinčios apsaugoti, priemonės: lengvai prieinami ABC miltelių bei putų gesintuvai, nedegaus audėklo dėžės, automatinė gesinimo sistema su lubose įmontuotais purkštukais bei gesinimo čiaupai. Aplink karbamido granulių gamybos cechą teritorijoje yra sumontuoti vandens hidrantai, šalia kurių yra dėžės su gesinimo žarnomis bei antgaliais, taip pat smėlio dėžės. [46]

Pastato viduje bei išorėje yra sumontuojamos avarinės sirenos bei garsiakalbiai, kuriais naudojantis yra pranešama apie kilusį pavojų. Įmonės darbuotojai yra iš anksto apmokyti kaip elgtis kilus avarinei situacijai. Pagalbinėse patalpose turi būti tvarkingi ir užpildyti deguonies balionai bei dujokaukės, kurios yra naudojamos itin kritiniais atvejais, kada kilus gaisrui, reikia atkirsti pavojingų, sprogių medžiagų tiekimo linijas. Kiekvienas darbuotojas instruktavimo metu yra supažindinamas su evakuacijos eiga bei evakuacijos planu (4.1 pav.). Avarijos metu svarbu tinkamai pasirinkti evakuacijos kelią, kadangi iš projektuojamų patalpų yra du išėjimai [47].



4.1 pav. Projektuojamų karbamido granulių gamybos patalpų evakuacijos planas

Pateiktame evakuacijos plane nurodomas žmonių evakuacijos kelias projektuojamo karbamido granulių gamybos cecho pastato dalies pirmame aukšte. Šioje patalpoje yra numatyti 12 vienetų 20 kg ABC miltelių tipo gesintuvai bei 6 gesinimo čiaupai. Išskirtos dvi patalpų pavojingos zonos: pirmą pavojingą zoną yra aplink distiliacijos, forišgarinimo ir išgarinimo įrenginius, kita - aplink pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginį bei būgninio tipo rotacinę džiovyklą.

Išvados

1. Išanalizavus literatūros šaltinius išsiaiškintas karbamido poreikis, panaudojimas, tradicinio ir kontroliuojamo veikimo granuliuoto karbamido gamybos technologijos ir joje naudojamos įrangos.
2. Tiriamojoje dalyje nustatyta efektyviausia kontroliuojamo veikimo dangos su mikroelementais sudėtis: 64 % distiliuoto vandens; 16 % melasos ir 20 % sulfatinių mikroelementų mišinio. Danga paruošiama dviem etapais: melasos tirpinimas distiliuotame vandenyje palaikant 40 °C temperatūrą ir mikroelementų tirpinimas melasos tirpale palaikant 60 °C temperatūrą.
3. Padengimo procesui naudojamas pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginys, kurio pagrindiniai parametrai: dangos tirpalo ir nedengtų karbamido granulių kiekio santykis dengimui – 1:25, sunaudoto dangos tirpalo kiekis 100 g nedengtų granulių padengimui – 4 g, įrenginio darbinė temperatūra – 55 °C, granulių išbuvimo įrenginyje laikas ~10 min.
4. Remiantis tiriamosios dalies bei technologinių skaičiavimų rezultatais sukurta padengtų karbamido granulių gamybos technologinė schema ir detaliai išanalizuotas granulių padengimo kontroliuojamo veikimo danga etapas.
5. Apskaičiuoti pagrindiniai padengimo procese naudojamo pseudo-verdančio sluoksnio įrenginio parametrai: sunaudojamo tirpalo kiekis – 40kg (tirpalo)/1000kg (padengtų granulių), našumas – 800 kg/h, tūrinis tiekiamo oro srauto debitas – 1,71 m³/s, perforuotos plokštės plotas – 1,36 m², separacinės zonos aukštis – 17 cm, maksimalus pseudo-verdančio sluoksnio greitis – 1,8 m/s, granulių išbuvimo įrenginyje laikas – 8 min. Taip pat sudarytas padengimo etapo medžiagų balansas bei apskaičiuotas karbamido granulių korpusinio šilumokaičio-pašildytuvo šilumokaitos plotas, kuris yra 23,44 m².
6. Atlikus detalius statybinius ir ekonominius skaičiavimus buvo nustatyta, kad projekto įgyvendinimui reikia skirti 335 tūkstančių eurų, o numatomas atsipirkimas yra po 1,75 metų arba pagaminus bei pardavus 441 tonas padengtų karbamido granulių.
7. Remiantis galiojančia darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymine tvarka buvo sudarytas profesinės rizikos vertinimas, įvertinta saugi gamyba, darbo higiena bei gaisrinė sauga su suprojektuotu pastato evakuacijos planu.
8. A1 formatu pateikti padengtų karbamido granulių gamybos technologinė schema, pseudo-verdančio sluoksnio dengimo įrenginio brėžinys, karbamido granulių gamybos sklypo plano ir projektuojamo gamybinio pastato brėžiniai.

Literatūros sąrašas

1. REILL, Sally. *A guide to understanding fertilizers*. 2019m. [žiūrėta 2024-02-12] Prieiga per: <https://extension.oregonstate.edu/gardening/techniques/guide-understanding-fertilizers>
2. Cropnuts. *Understanding the Big Three: Nitrogen, Phosphorus, and Potassium*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-02-12] Prieiga per: <https://cropnuts.com/nitrogen-phosphorus-potassium-npk-fertilizers/>
3. Saskatchewan. *Micronutrients in Crop Production*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-02-12] Prieiga per: <https://www.saskatchewan.ca/business/agriculture-natural-resources-and-industry/agribusiness-farmers-and-ranchers/crops-and-irrigation/soils-fertility-and-nutrients/micronutrients-in-crop-production>
4. Britanica duomenų bazė. *Urea, Chemical compound*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-02-12] Prieiga per: <https://www.britannica.com/science/urea>
5. DING, Jie; YE, Runping; HE, Yanghe; HE, Timing; WU, Ye; ZHANG, Yulong; ZHONG, Qin. *Direct synthesis of urea from carbon dioxide and ammonia, 2023 m. liepos 31 d.* [žiūrėta 2024-02-17] Prieiga per: <https://www.nature.com/articles/s41467-023-40351-5>
6. MANAKA, Yuichi; NAGATSUKA, Yuki; MOTOKURA, Ken. *Organic bases catalyze the synthesis of urea from ammonium salts derived from recovered environmental ammonia, 2020 m. vasario mėn.* [žiūrėta 2024-02-17] Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/339335552_Organic_bases_catalyze_the_synthesis_of_urea_from_ammonium_salts_derived_from_recovered_environmental_ammonia
7. SAIPEM. *The snamprogetti urea technology, 2019 m. kovo mėn.* [žiūrėta 2024-02-17] Prieiga per: https://www.saipem.com/sites/default/files/2019-03/spm_UREAri_L02_14_01_10.pdf
8. FPO. *Synthesis of urea*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-02-17] Prieiga per: <https://www.freepatentsonline.com/4365089.html>
9. TOYO-ENG. *Energy-saving Urea Synthesis Technology: ACES21*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-02-25] Prieiga per: <https://www.toyo-eng.com/jp/en/solution/energy/>
10. *Urea synthesis with pool condenser (Stamicarbon Urea 2000plus™ technology)*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-02-20] Prieiga per: <https://www.thyssenkrupp-uhde.com/en/products-and-technologies/fertilizer-technologies/urea-plants/urea-synthesis-with-pool-condenser>
11. PRAKASH, Girish; BROUWER, Mark; BABBOO, Prem. *The comparison of stamicarbon and saiper urea technology, 2016 m. rugsėjo mėn.* [žiūrėta 2024-02-20] Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/309385422_The_Comparison_of_Stamicarbon_and_Saipem_Urea_Technology
12. THE CHEMICAL COMPANY. *UREA*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-02-27] Prieiga per: <https://thechemco.com/chemical/urea/>
13. BRITANNICA. *Urea, chemical compound*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-02-20] Prieiga per: <https://www.britannica.com/science/urea>
14. Statista. *Production of urea worldwide from 2009 to 2022. 2024 m. vasario mėn.* [žiūrėta 2024-03-09] Prieiga per: <https://www.statista.com/statistics/1287028/global-urea-production/>
15. *China: Floodscand Landslides, 2016 m. birželio mėn.* [žiūrėta 2024-03-09] Prieiga per: <https://reliefweb.int/disaster/fl-2016-000044-chn>
16. IEA. *Production, consumption and trade of urea in selected countries and regions, 2020*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-03-09] Prieiga per: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/production-consumption-and-trade-of-urea-in-selected-countries-and-regions-2020>
17. Statista. *Consumption of nitrogenous fertilizers worldwide in 2021, by product*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-03-09] Prieiga per: <https://www.statista.com/statistics/1288255/global-consumption-of-nitrogen-fertilizer-by-product/>

18. CAPITAINE, Shane Le; CARLSON, Carrie. *Coating Paves the Way in Transforming Traditional Fertilizer into Specialty products*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-02-17] Prieiga per: <https://feeco.com/coating-paves-the-way-in-transforming-traditional-fertilizers-into-specialty-products/>
19. IPNI Nutrient Source Specifics No. 25. *Urease Inhibitors*. Interaktyvus [žiūrėta 2024-02-27] prieiga per: [http://www.ipni.net/publication/nss.nsf/0/EA265C5FE184D4F285257C8300753585/\\$FILE/NS-S-25%20Urease%20Inhibitors.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss.nsf/0/EA265C5FE184D4F285257C8300753585/$FILE/NS-S-25%20Urease%20Inhibitors.pdf)
20. RAJAN, Maya; CHANDRAN, Vinaya; MATHEW, Linu. *Chapter 3 – Controlled Release of fertilizers – concept, reality, and mechanism, 2021 m.* [Žiūrėta 2024-02-20] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128195550000030>
21. GOOGLE PATENTS. DETRICK, H. John. *Process for producing sulfur-coated urea slow release fertilizers*. [Žiūrėta 2024-02-17] Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/EP0730565B9/en>
22. EL-GHAMRY, Ayman; EL-NAGGAR, El-Sayed; ELGORBAN, M. Abdallah. *Double coating as a novel technology for controlling urea dissolution in soil: a step toward improving the sustainability of nitrogen fertilization approaches, 2021 m. rugsėjo 27 d.* [žiūrėta 2024-02-20] Prieiga per: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/19/10707>
23. GOOGLE PATENTS. WHITEHURST, M. Brooks; WHITEHURST, B. garnett. *Phosphate coated urea*. [Žiūrėta 2024-02-17] Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/US6030659A/en>
24. FAGERIA, Nand Kumar; MORAES, Milton; FERREIRA, Endrerson; KNUPP, Adriano Moreira. *Biofortification of Trace Elements in Food Crops for Human Health, 2012 m. vasario mėn.* [žiūrėta 2024-03-22] Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/248702340_Biofortification_of_Trace_Elements_in_Food_Crops_for_Human_Health
25. *Europos parlamento ir tarybos reglamentas (ES) 2019/1009, 2019 m. birželio 5d.* Spausdintas dokumentas
26. AHMED, Nazir; ZHANG, Baige; CHACHAR, Zaid; LI, Juan; XIAO, Gengsheng. *Micronutrients and their effects on Horticultural crop quality, productivity and sustainability. 2024 m. sausio 1 d.* [žiūrėta 2024-03-22] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304423823006805>
27. Geoportal svetainė. *Valstybinės žemės duomenys*. Interaktyvus. [žiūrėta 2024-05-07] Prieiga per: <https://www.geoportal.lt/map/>
28. *Dėl darboviečių įrengimo bendrųjų nuostatų patvirtinimo, 2019 m. liepos 9 d.* [žiūrėta 2024-05-07] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.55826?jfwid=>
29. UAB „Aplinkos Vadyba“. *CLP reglamente patvirtintos pavojeingumo frazės*. Interaktyvus. [Žiūrėta 2024-05-14] Prieiga per: <https://www.aplinkosvadyba.lt/index.php/reach/klasifikavimas-ir-zenklinimas/103-clp-reglamente-patvirtintos-pavojeingumo-frazes->
30. AB „Achema“. *Elektros energijos vartojimo efektyvumas, 2024 m.* [žiūrėta 2024-05-14] Prieiga per: <https://www.achema.lt/energijos-vartojimas/>
31. KLEIJNE, Kiane de; JAMES, Jebin; HANSSSEN, Steef V.; ZELM, Rosalie van. *Environmental benefits of urea production from basic oxygen furnace gas. 2020 m. liepos 15 d.* [žiūrėta 2024-05-14] Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920306310>
32. AB „Achema“. *Aplinkos kokybės stebėseną. 2024 m.* [žiūrėta 2024-05-14] Prieiga per: <https://www.achema.lt/aplinkosauga/>

33. UAB „Toksika“. *Pavojingų atliekų šalinimas*. [žiūrėta 2024-05-14] Prieiga per: <https://toksika.lt/paslaugos/pavojinguju-atlieku-salinimas/>
34. UAB „Ecoranga“. *Vandens gerinimas*, [žiūrėta 2024-05-14] Prieiga per: <https://www.ecoranga.com/produktai/vandens-gerinimas/>
35. UAB „Ecoranga“. *Nuotekų valymas*, [žiūrėta 2024-05-14] Prieiga per: <https://www.ecoranga.com/produktai/nuoteku-valymas/>
36. *Dėl atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo, 2023 m. liepos 25 d.* [žiūrėta 2024-05-14] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.84302/asr>
37. *Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymas, 2024 m. sausio 1 d.* [žiūrėta 2024-05-05] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/46c841f290cf11e98a8298567570d639>
38. *Dėl profesinės rizikos vertinimo bendrųjų nuostatų patvirtinimo, 2022 m. rugpjūčio 1 d.* [žiūrėta 2024-05-20] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.435935/asr>
39. *Saugos duomenų lapas, Amoniakas, bevandenis, 2013 m. sausio 16 d.* [žiūrėta 2024-05-20] Prieiga per: https://www.linde-gas.lt/lt/images/Amoniakas_bevandenis_R717_2.2_LT_tcm619-551645.pdf
40. *Saugos duomenų lapas, Anglies Dioksidas, 2021 m. balandžio 30 d.* [žiūrėta 2024-05-20] Prieiga per: <https://cdn.achemosgrupe.lt/media/media/f9/8e/b6/1678884798/Karbodino%20E290%20saugos%20duomen%C5%B3%20lapas.pdf>
41. *Darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas I dalis, 2023 m. liepos 1 d.* [žiūrėta 2024-05-20] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalActPrint/lt?jfwid=kbatvk29x&actualEditionId=lZecgAvBKS&documentId=TAIS.215253&category=TAD>
42. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 "Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai" patvirtinimo, 2003 m. gruodžio 24d.* [žiūrėta 2024-05-20] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
43. *Hidrauliniai smūgiai ir kaip sumažinti jų poveikį, 2020 m. lapkričio 5 d.* [žiūrėta 2024-05-20] Prieiga per: <https://siurbliai.lt/ufaqs/kas-yra-hidraulinis-smugis-vamzdyje-ir-kokia-galima-apsauga-nuo-jo/>
44. *Dėl slėginių indų naudojimo taisyklių DT 12-02 patvirtinimo, 2002 m. lapkričio 15d.* [žiūrėta 2024-05-21] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.196494>
45. *Dėl Lietuvos Respublikos darbo kodekso įgyvendinimo, 2017 m. birželio 21 d.* [žiūrėta 2024-05-21] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/5a07b6715b4711e7a53b83ca0142260e>
46. *Dėl gaisrinės saugos pagrindinių reikalavimų patvirtinimo, 2024 m. balandžio 24 d.* [žiūrėta 2024-05-20] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.388658/asr>
47. *Dėl bendrųjų gaisrinės saugos taisyklių patvirtinimo, 2005 m. vasario 18 d.* [žiūrėta 2024-05-21] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.250714/asr>

Priedai

- 1 priedas.** Atsakingo dėstytojo patvirtinimas dėl „Statybiniai sprendimai“ dalies;
- 2 priedas.** Atsakingo dėstytojo patvirtinimas dėl „Ekonominiai skaičiavimai“ dalies;
- 3 priedas.** Atsakingo dėstytojo patvirtinimas dėl „Aplinkosauginis vertinimas“ dalies;
- 4 priedas.** Atsakingo dėstytojo patvirtinimas dėl „Darbuotojų sauga ir sveikata“ dalies;
- 5 priedas.** Padengtų karbamido granulių gamybos technologinė schema;
- 6 priedas.** Pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginio brėžinys;
- 7 priedas.** Pastato brėžinys su pjūviu, 1:200;
- 8 priedas.** Karbamido gamybos teritorijos planas, 1:400;
- 9 priedas.** Pastato evakuacijos planas, 1:200.

Re: Patvirtinimas

Odeta Viliūnienė <odeta.viliuniene@ktu.lt>

2024-05-30, Kt 11:03

Kam: Justas Grinkevičius <justas.grinkevicius@ktu.edu>

Studento **Justo Grinkevičiaus** baigiamojo magistro projekto „**Biriosios azoto trąšos su mikroelementais**“ skyrius „**Statybiniai sprendimai**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantė **lekt. Odeta Viliūnienė**

Tvirtinimui: Magistro baigiamasis projektas „Biriosios azoto trąšos su mikroelementais“, aplinkosauginė dalis “: Aplinkosaugos vertinimo dalis

Gintaras Denafas <gintaras.denafas@ktu.lt>

2024-05-21, An 13:10

Kam: Justas Grinkevičius <justas.grinkevicius@ktu.edu>

Studento **Justo Grinkevičiaus** baigiamojo magistro projekto „**Biriosios azoto trąšos su mikroelementais**“ skyrius „**Aplinkosauginis vertinimas**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **prof. dr. Gintaras Denafas**

Pagarbiai / Sincerely

Prof. dr. Gintaras Denafas
Kauno technologijos universitetas / Kaunas University of Technology
Cheminės technologijos fakultetas / Faculty of Chemical Technology
Aplinkosaugos technologijos katedra / Department of Environmental Technology
Radvilėnų pl. 19, LT-50254, Kaunas, Lietuva / Lithuania
Tel. / mob. +370-698-70760
Fax. +370-37-300152
E-mail: gintaras.denafas@ktu.lt
<https://fct.ktu.edu/department-of-environmental-technologies/>



Ekonominių skaičiavimų patvirtinimas

Irena Pekarskienė <irena.pekarskiene@ktu.lt>

2024-05-24, Pn 19:36

Kam: Justas Grinkevičius <justas.grinkevicius@ktu.edu>

Laba diena,

Šiuo laišku patvirtinu, kad studento *Justo Grinkevičiaus* baigiamojo magistro projekto „*Biriosios azoto trąšos su mikroelementais*“ skyrius „*Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai*“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas *dr. Irena Pekarskienė*

Pagarbiai! Best regards

dr. Irena Pekarskienė

Profesorė | Professor

Kauno technologijos universitetas | Kaunas university of technology

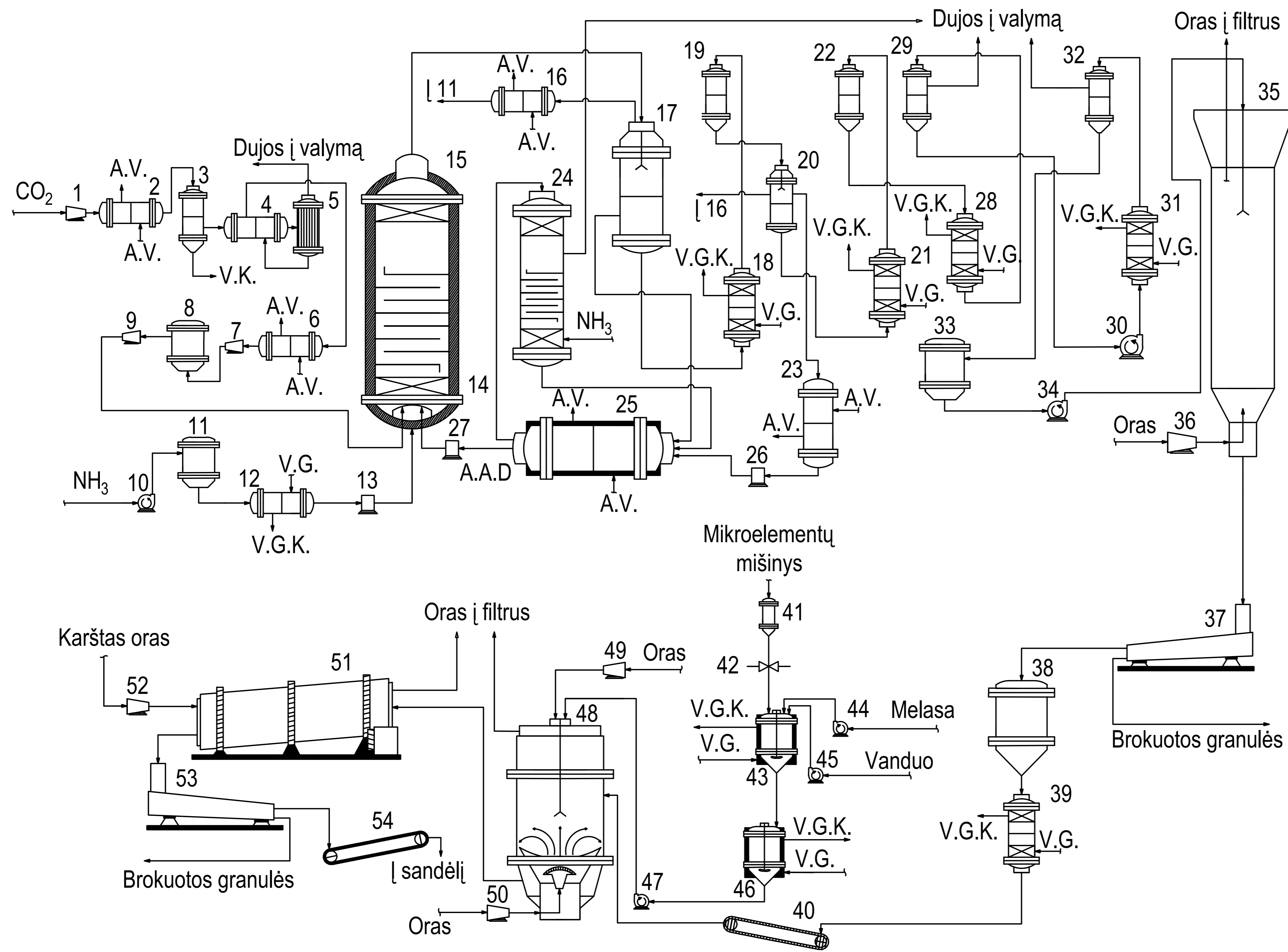
Ekonomikos ir verslo fakultetas | School of Economics and Business

Gedimino g. 50-507, LT-44239 Kaunas

irena.pekarskiene@ktu.lt | evf.ktu.edu

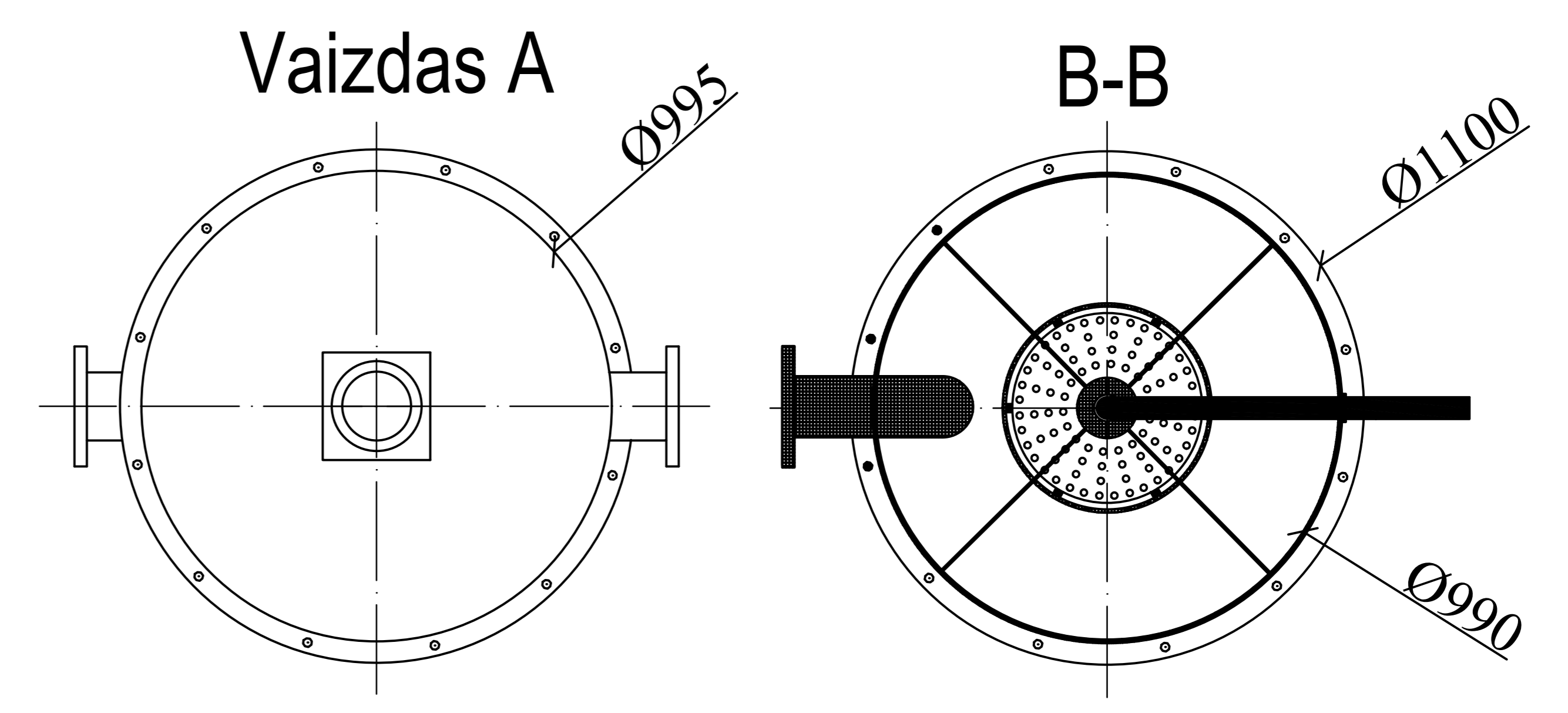
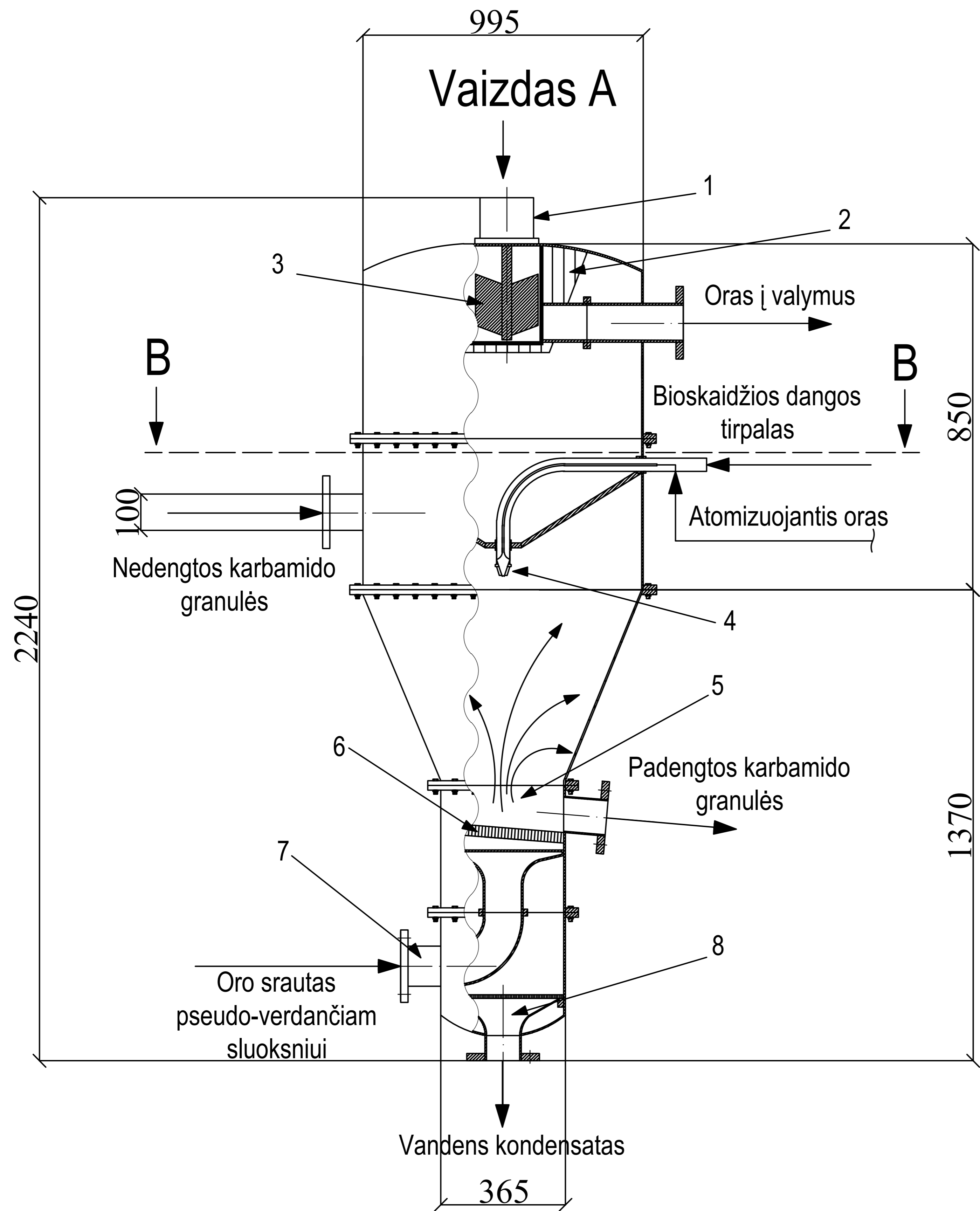
Studento *Justo Grinkevičiaus* baigiamojo magistro projekto „*Biriosios azoto trąšos su mikroelementais*“ skyrius „*Darbuotojų sauga ir sveikata*“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas *doc. dr. Dalia Nizevičienė*



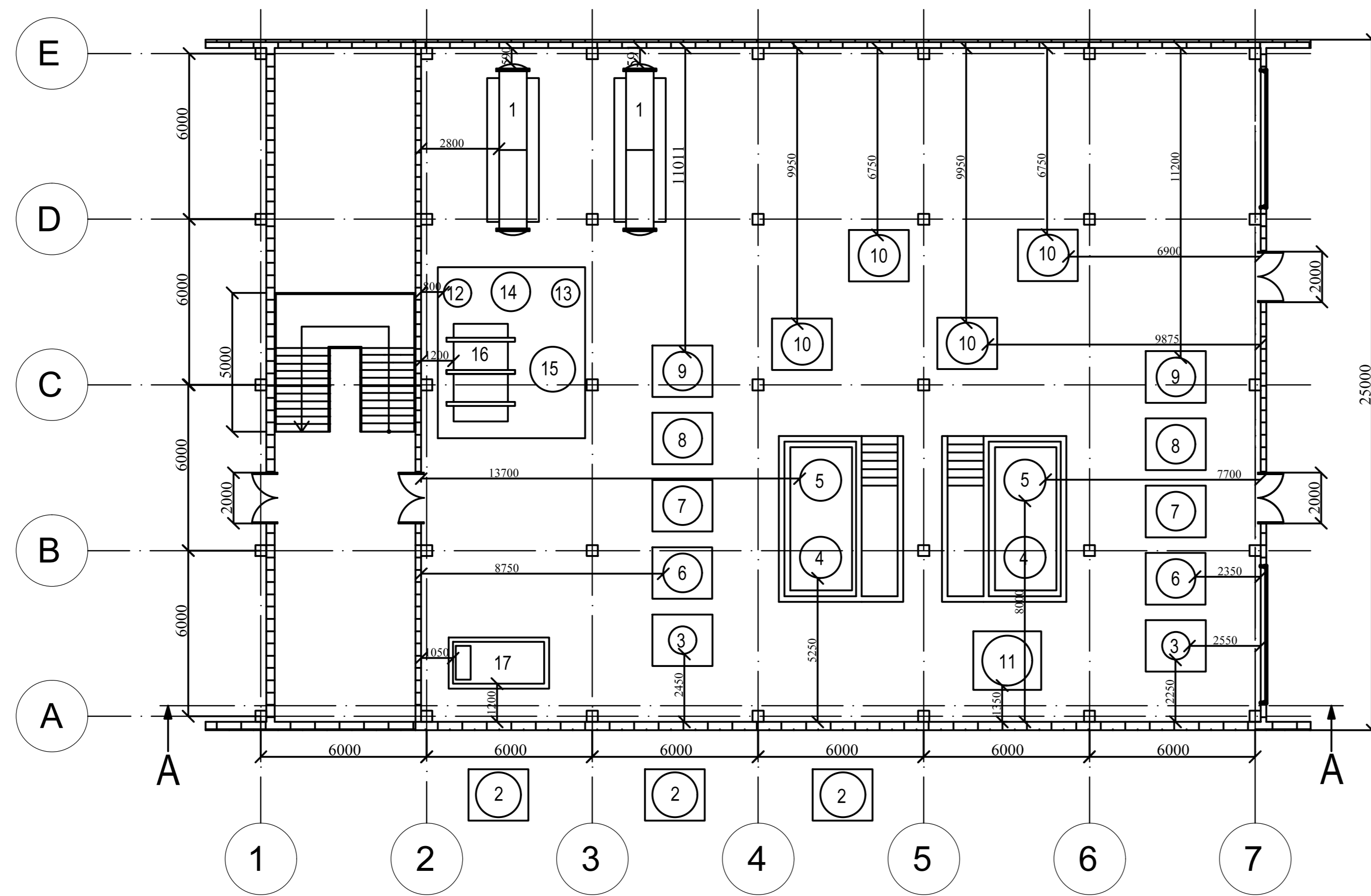
Technologinių įrengimų pavadinimai			
Žymėjimas	Įrenginio pavadinimas	Žymėjimas	Įrenginio pavadinimas
1	Stūmoklinis kompresorius	31	Korpusinis išgarinimo šilumokaitis
2	Korpusinis šilumokaitis	32	Dujinės fazės separatorius
3	Dujinės fazės separatorius	33	Karbamido lydalo buferinė talpa
4	Šilumokaitis-rekuperatorius	34	Išcentrinis siurblys
5	Kontaktinis aparatas	35	Granuliavimo bokštas
6	Korpusinis šilumokaitis	36	Stūmoklinis kompresorius
7	Stūmoklinis kompresorius	37	Karbamido granulių vibrosietas
8	Anglies dioksido dujų buferinė talpa	38	Karbamido granulių buferinė talpa
9	Stūmoklinis kompresorius	39	Granulių korpusinis šilumokaitis pašildytuvas
10	Išcentrinis siurblys	40	Juostinis transporteris
11	Skysto amoniako buferinė talpa	41	Mikroelementų mišinio talpa
12	Korpusinis šilumokaitis	42	Peilinė sklendė
13	Plunžerinis siurblys	43	Dangos paruošimo talpa
14	Sintezės kolonos žaliavų sumaišymo zona	44	Išcentrinis siurblys
15	Sintezės kolona	45	Išcentrinis siurblys
16	Amoniako kondensatorius	46	Dangos tirpalo buferinė talpa
17	1-o laipsnio distiliacijos kolona	47	Išcentrinis siurblys
18	Korpusinis šilumokaitis	48	Pseudo-verdančio sluoksnio padengėjas
19	Dujinės fazės separatorius	49	Išcentrinis kompresorius
20	2-o laipsnio distiliacijos kolona	50	Išcentrinis kompresorius
21	Korpusinis šilumokaitis	51	Būgninė rotacinė džiovyklė
22	Dujinės fazės separatorius	52	Išcentrinis kompresorius
23	Vertikalus dujų kondensatorius	53	Granulių vibrosietas
24	Praplovimo kolona	54	Juostinis transporteris
25	Barbotažo įrenginys	CO2	Anglies dioksido dujos
26	Plunžerinis siurblys	NH3	Skystas amoniakas
27	Plunžerinis siurblys	V.G.	Vandens garai
28	Korpusinis forišgarinimo šilumokaitis	V.G.K.	Vandens garų kondensatas
29	Dujinės fazės separatorius	A.V.	Cirkuliuojantis aušinimo vanduo
30	Išcentrinis siurblys	A.A.D.	Anglies amonio druskos

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Baigiamasis magistro projektas	
TMC-2	Studentas	Justas Grinkevičius	2024-05-10	
	Vadovė	doc. dr. Rasa Štiklėnė	2024-05-10	
	Reaizentas	asist. dr. Andrius Jaskūnas	2024-05-10	
BMP	Fizikinės ir Neorganinės Chemijos Katedra, Radvilėnų pl. 19, Kaunas	2024-BMP-FNCHK	Lapas	Lapų
			1	5

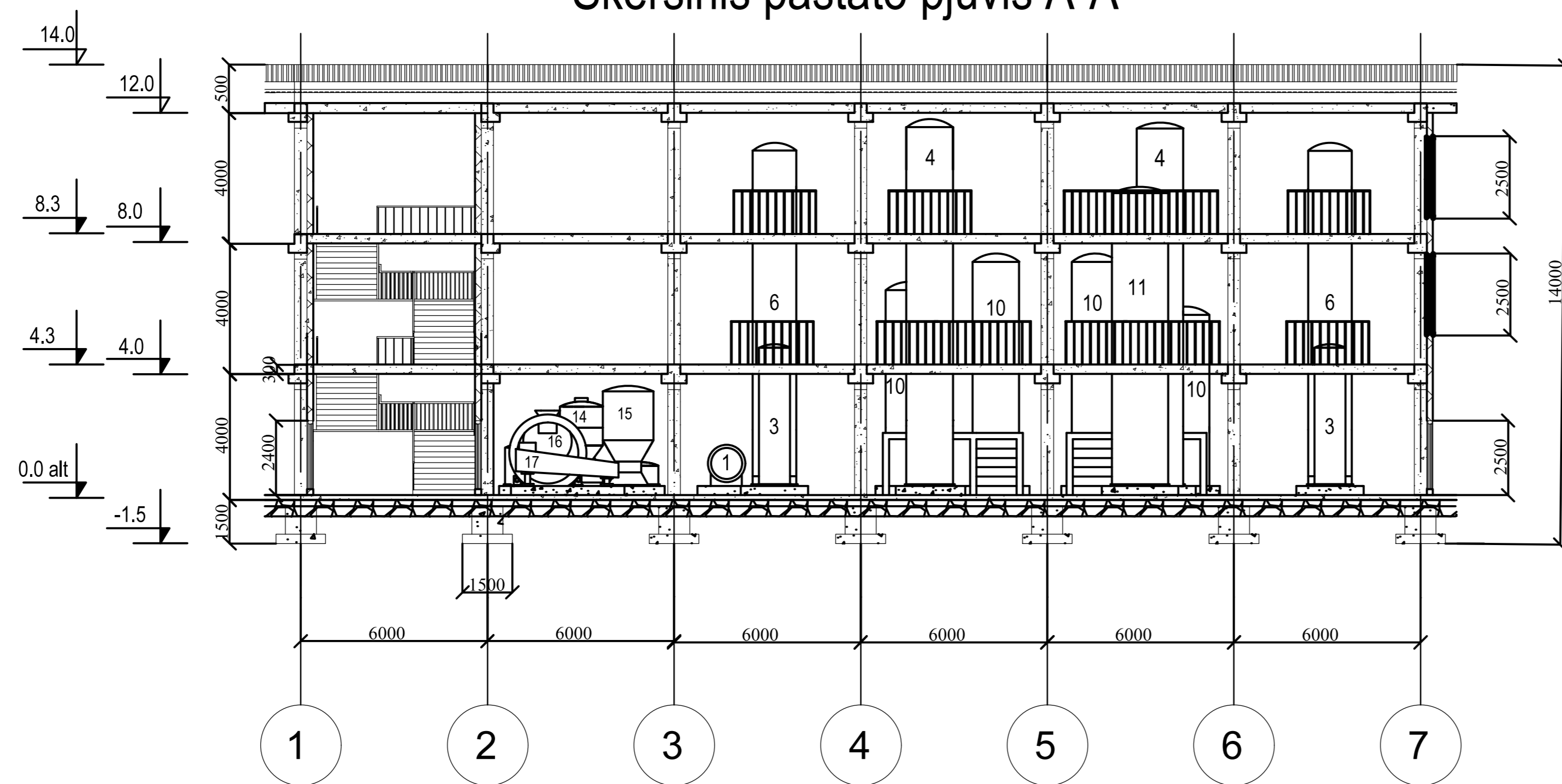


Pseudo-verdančio sluoksnio padengėjo dalys			
Žymėjimas	Dalies pavadinimas	Žymėjimas	Dalies pavadinimas
1	Pašalinamo oro ventiliatoriaus motoras	5	Pseudo-verdančio granulių sluoksnis
2	Pašalinamo oro srauto filtras	6	Perforuota plokštė oro srauto paskirstymui
3	Pašalinamo oro ventiliatorius	7	Suslėgto oro tiekimo atvamzdis
4	Dangos tirpalo purškukas	8	Kondensato surinkimo zona

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Baigiamasis magistro projektas	
TMC-2	Studentas	Justas Grinkevičius	2024-05-10	Biriosis azoto trašos su mikroelementais
	Ydovė	doc. dr. Rasa Štikienė	2024-05-10	
	Recomenzė	asist. dr. Andrius Jasikinas	2024-05-10	
				Pseudo-verdančio sluoksnio padengimo įrenginio brėžinys
BMP	Fizikinės ir Neorganinės Chemijos Katedra, Radvilėnų pl. 19, Kaunas		2024-BMP-FNCHK	Lapas 2 / Lapų 5



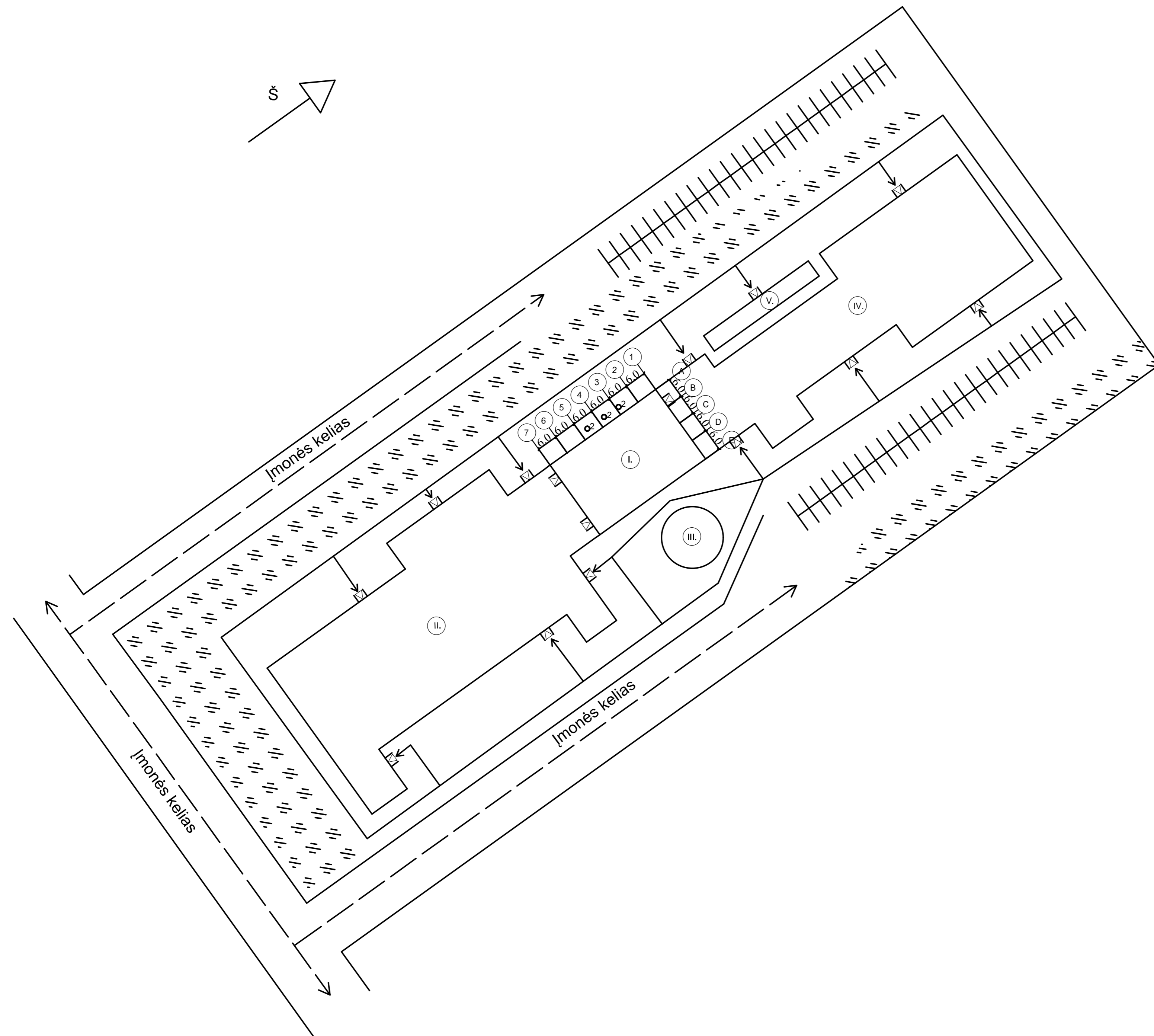
Skersinis pastato pjūvis A-A



Sutartiniai ženklai		
Žymėjimas	Kiekis	Pavadinimas
1	2	Kondensato šaldytuvas
2	3	Sintezės kolona
3	2	Praplovimo kolona
4	2	1-o laipsnio distiliacijos kolona
5	2	2-o laipsnio distiliacijos kolona
6	2	1-o laipsnio separatorius
7	2	1-o laipsnio šildytuvas
8	2	2-o laipsnio distiliacijos separatorius
9	2	2-o laipsnio distiliacijos šildytuvas
10	4	1-o ir 2-o laipsnio distiliacijos kondensatoriai
11	1	Absorbicijos kolona
12	1	Melamos talpa
13	1	Mikroelementų mišinio talpa
14	1	Dangos tirpalo paruošimo talpa
15	1	Pseudo-verdančio sluoksnio padengėjas
16	1	Būginė rotacinė džiovykla
17	1	Vibrosietas

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Baigiamasis magistro projektas
TMC-2	Studentas	Justas Grinkevičius	2024-05-10
	Vadovė	Rasa Štikienė	2024-05-10
	Recenzentas	Andrius Jankūnas	2024-05-10
	Konsultantas	Odeta Vilčienė	2024-05-10
			Pastato brėžinys su pjūviu, 1:200
			Laidas
BMP	Fizikinės ir Neorganinės Chemijos Katedra, Radvilėnų pl. 19, Kaunas	2024-BMP-FNCHK	Lapas 3 Lapų 5

Sklypo planas

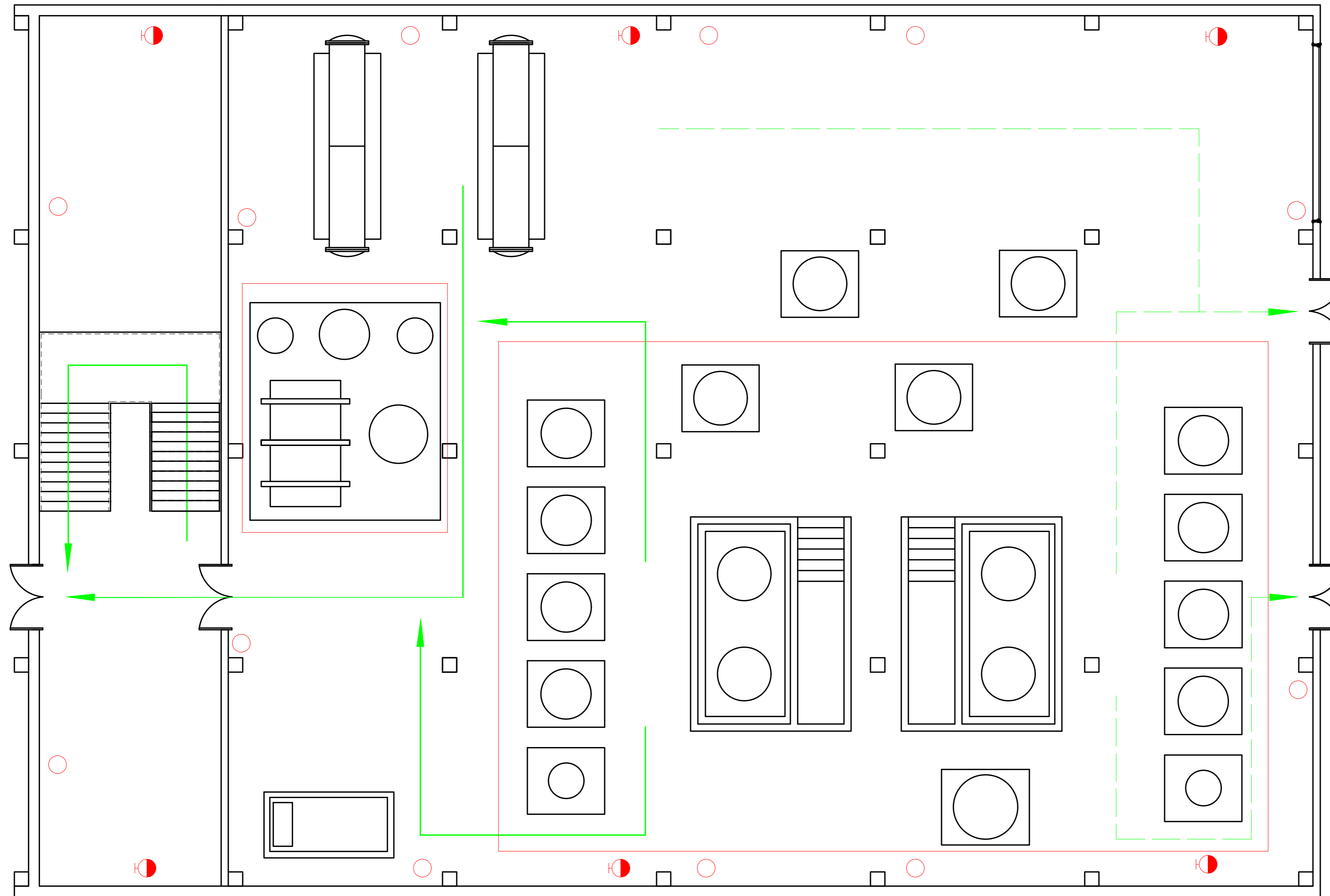


Situacijos planas



Sutartiniai teritorijos plano žymėjimai					
Žymėjimas	Pavadinimas	Žymėjimas	Pavadinimas	Žymėjimas	Pavadinimas
	P		Automobilių stovėjimo aikštelė		Zalavių laikymo patalpos
	I		Projektuojamos patalpos		Pagalbinės patalpos
	II		Produkcijos sandėlys		Sintezės kolona
	III		Granuliavimo bokštas		

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Baigiamasis magistro projektas	
TMC-2	Studentas	Justas Grinkevičius	2024-05-10	Biosios azoto trąšos su mikroelementais
	Vadovė	Rasa Štiklėnė	2024-05-10	
	Recomzentas	Andrius Jaskūnas	2024-05-10	
	Konsultantas	Odeta Vilimienė	2024-05-10	
				Karbamido gamybos teritorijos planas, 1:400
BMP	Fizikinės ir Neorganinės Chemijos Katedra, Radvilėnų pl. 19, Kaunas		2024-BMP-FNCHK	Lapas 4
				Lapų 5



Sutartiniai priešgaisrinės saugos žymėjimai			
Žymėjimas	Pavadinimas		
●	Gaisrinis gesinimo čiapas		
○	ABC miltelių gesintuvas		
□	Pavojinga zona		
→	Pagrindinis evakuacijos kelias		
- - - →	Atsarginis evakuacijos kelias		

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Baigiamasis magistro projektas	
TMC-2	Studentas	Justas Grinkevičius	2024-05-10	Biriosios azoto trašos su mikroelementais
	Yatovė	Rasa Štiklėnė	2024-05-10	
	Recomentis	Andrius Jankūnas	2024-05-10	
	Konsultantas	Odeta Vilkonienė	2024-05-10	
	Pastato evakuacijos planas, 1:200			Laidas
BMP	Fizinės ir Neorganinės Chemijos Katedra, Radvilėnų pl. 19, Kaunas		2024-BMP-FNCHK	Lapas Lapų 5 5