



Kauno technologijos universitetas
Cheminės technologijos fakultetas

Dujų valymo nuo CO₂ agregato technologinis įvertinimas
Baigiamasis magistro projektas

Rokas Kondratavičius
Projekto autorius

Lekt. dr. Andrius Jaskūnas
Vadovas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Dujų valymo nuo CO₂ agregato technologinis įvertinimas

Baigiamasis magistro projektas

Studijų programa 621EX020 Chemijos inžinerija

Konsultantai

Statybiniai sprendimai

Lekt. O. Viliūnienė

Ekonominiai skaičiavimai

Prof. dr. I. Pekarskienė

Darbuotojų sauga ir sveikata

Doc. dr. D. Nizevičienė

Aplinkosauginis vertinimas

Prof. dr. G. Denafas

Rokas Kondratavičius

Projekto autorius

Lekt. dr. Andrius Jaskūnas

Vadovas

Prof. dr. Saulius Kitrys

Recenzentas

Kaunas, 2020



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Rokas Kondratavičius

Dujų valymo nuo CO₂ agregato technologinis įvertinimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Roko Kondratavičiaus, baigiamasis projektas tema „Dujų valymo nuo CO₂ agregato technologinis įvertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

(parašas)



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:
Cheminės technologijos fakulteto dekanas
prof. dr. K. Baltakys

Suderinta:
Fizikinės ir neorganinės chemijos katedros
vedėja prof. dr. I. Ancutienė

Dekano potvarkis Nr. ST18-F-02-03, 2020–04–22

2020 m. balandžio mėn. 20 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema Dujų valymo nuo CO₂ agregato technologinis įvertinimas

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – išanalizuoti pramonėje naudojamų dujų valymo nuo CO₂ būdus, žinomus technologinius sprendimus, įvertinti nagrinėjamos technologijos tobulinimo galimybes.

Darbo uždaviniai:

atlikti pramonėje naudojamų dujų valymo nuo CO₂ būdų literatūros apžvalgą techniniais ir ekonominiais aspektais;

atlikti technologinio proceso analizę ir vertinimą taikant pasirinktą skaičiavimo/modeliavimo/analizės metodiką ir pateikti technologijos tobulinimo galimybių vertinimą;

pateikti gamybinio proceso vykdymo technologinę schemą ir pagrindinio aparato brėžinį;

pateikti statybinius sprendimus, finansinius ir ekonominius skaičiavimus, aplinkosauginį vertinimą bei reikalavimus dėl darbuotojų saugos ir sveikatos.

Reikalavimai ir sąlygos

Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanu 2019 m. kovo 28 d. potvarkiu Nr. V25-02-02 patvirtintuose „Pirmosios pakopos Cheminė technologija ir inžinerija ir antrosios pakopos Chemijos inžinerija studijų programų baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodiniuose reikalavimuose“.

Vadovas

lekt. dr. Andrius Jaskūnas

2020–03–04

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau:

Rokas Kondratavičius

(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Kondratavičius, Rokas. Dujų valymo nuo CO₂ agregato technologinis įvertinimas. Magistro baigiamasis projektas / Lekt. dr. Andrius Jaskūnas; Kauno technologijos universitetas, cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: CO₂, absorbcija, valymas, šalinimas, regeneracija, MDEA, technologija.

Kaunas, 2020. 78 p.

Santrauka

Magistrinio darbo literatūrinėje apžvalgoje aptarti anglies dioksido fizikiniai ir cheminiai pagrindai, minėto junginio svarba bei įtaka gyvybei, aplinkai bei pramonei. Taipogi apžvelgtos pramonėje naudojamos įvairios dujų valymo nuo CO₂ technologijos, jų techniniai rodikliai.

Tiriamojame bei inžinerinėje dalyse įvertinama nagrinėjama konvertuotų dujų valymo nuo anglies dioksido MDEA tirpalu technologija, eksploatuojama AB "Achema" amoniako gamybos ceche. Pateikiamas jos aprašymas, tobulinimo galimybės, schemos brėžinys A1 formatu, taipogi pateikiami skaičiavimai bei proceso modelis Aspen HYSYS aplinkoje.

Statybinėje dalyje aprašomi technologijai projektuojamo statinio ir sklypo statybiniai inžineriniai sprendimai, į technologinę liniją įdiegus promdesorberio aparatą, pateikiami brėžiniai A1 formatu.

Finansinių ir ekonominių skaičiavimų dalyje ekonominiais aspektais bei skaičiavimais išnagrinėjama inovacijos projektavimo ir įdiegimo efektyvumas.

Aplinkosauginio vertinimo dalyje aptariamos technologijoje naudojamos žaliavos bei produktai, technologinio proceso metu susidaranti atliekos bei nuotekos, oro tarša, sudaromas sklaidos sklaidos grafikas.

Darbuotojų saugos ir sveikatos dalyje atliekamas profesinės rizikos vertinimas atsižvelgiant į visus identifikuotus pavojus, aptariama elektroauga, darbo higiena, saugi gamyba ir priešgaisrinė apsauga, suprojektuotas evakuacijos planas.

Kondratavičius, Rokas. Technological Assessment of CO₂ Removal Unit. Master's Final Degree Project / supervisor Lec. dr. Andrius Jaskūnas; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: CO₂, removal, absorption, regeneration, MDEA, technology

Kaunas, 2020. 78 pages.

Summary

Literature survey of Master's Final Project thesis discusses carbon dioxide physical and chemical properties, its importance and effect on living organisms, environment and industry. Furthermore, an overview is given on various carbon dioxide treatment technologies used in chemical industry

Research and Engineering parts analyse the technology of CO₂ removal from converted gas stream used in AB "Achema" ammonia production plant, ways to improve it. Comprehensive description of improved technological line is provided accompanied by mass balance calculations, scheme drawing and process model in Aspen HYSYS.

In the construction part a description of designed building and territory plan is given together with drawings.

Financial and economical calculations are carried out to assess investment efficiency and profitability of reconstructed technological line, determining it as a beneficial investment lowering production costs and yielding additional profit.

An environmental assessment is based on used raw and other chemical materials, products, wastewater, solid waste and air pollution.

In the Work Safety section major work environment hazards are identified to carry out occupational risk, job hygiene and fire safety assessment. A drawing of evacuation plan for designed building is provided.

Turinys

LENTELIŲ SĄRAŠAS	9
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS	10
SANTRUMPŲ IR TERMINŲ SĄRAŠAS	11
IVADAS	12
1. LITERATŪROS APŽVALGA	13
1.1. Fizikinės – cheminės savybės	13
1.2. Anglies dioksido paplitimas ir panaudojimas	14
1.3. Dujų srautų valymo nuo anglies dioksido principas	14
1.4. Anglies dioksido valymo technologijos ir apžvalga	16
2. BENDRAS DARBO APIBŪDINIMAS IR PAGRINDINIAI RODIKLIAI	26
2.1. Pradinė padėtis	27
2.2. Žaliavų zonos charakteristika ir materialinio aprūpinimo pagrindas	28
2.3. Gamybinio pajėgumo ir gamybinės programos pagrindimas	28
2.4. Statybos aikštelės charakteristika ir pagrindimas	28
3. TIRIAMOJI DALIS	29
3.1. Medžiagų balanso skaičiavimai absorberiui ir regeneratoriui be promdesorberio.	29
3.2. Medžiagų balanso skaičiavimai absorberiui ir regeneratoriui su promdesorberiu.....	33
4. INŽINERINĖ DALIS	36
4.1. Konvertuotų dujų valymo nuo CO ₂ technologinis procesas	36
4.1.1. Konvertuotų dujų aušinimas	36
4.1.2. CO ₂ absorbcija MDEA tirpalu iš konvertuotų dujų.....	36
4.1.3. MDEA tirpalo regeneracija.....	37
4.1.4. Regeneruoto MDEA tirpalo tiekimas į absorberį	37
4.1.5. CO ₂ dujų atskyrimas	38
4.2. Technologiniai sprendimai.....	38
4.3. Statybiniai sprendimai.....	44
4.3.1. Bendroji dalis.....	44
4.3.2. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai.....	45
4.4. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai	47
4.4.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė: ekonominių ir organizacinių problemų nustatymas	47
4.4.2. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai.....	47
4.4.3. Ilgalaikio turto vertė.....	48
4.4.4. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinosios pajamos	48
4.4.5. Tiesioginiai gamybos kaštai.....	49
4.4.6. Netiesioginiai gamybos kaštai	51
4.4.7. Veiklos kaštai.....	53
4.4.8. Finansinės ir investicinės sąnaudos	53
4.4.9. Gaminio kainos skaičiavimas	54
4.4.10. Projekto pelnas ir pinigų srautai	54
4.4.11. Gryųjų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas rekonstrukcijos atveju	56
4.4.12. Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai	57
4.4.13. Vidinė pelno norma	58
4.4.14. Pelningumo indeksas	58
4.4.15. Lūžio taškas	59
4.4.16. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai.....	59
4.5. Darbuotojų sauga ir sveikata.....	61
4.5.1. Projektuojamo objekto charakteristikos.....	61
4.5.2. Profesinės rizikos vertinimas	61
4.5.3. Saugi gamyba.....	63
4.5.4. Elektrosauga.....	64
4.5.5. Darbo higiena.....	64
4.5.6. Gaisrinė sauga.....	66

4.6.	Aplinkosauginis vertinimas.....	69
4.6.1.	Bendroji dalis.....	69
4.6.2.	Oro tarša.....	70
4.6.3.	Susidarančios nuotekos.....	71
4.6.4.	Atliekos.....	72
IŠVADOS.....		74
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....		75
PRIEDAI.....		78

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Anglies dioksido fizikinės – cheminės savybės.....	13
2 lentelė. CO ₂ šalinimo technologijų techniniai rodikliai	16
3 lentelė. Projekto pagrindiniai rodikliai	27
4 lentelė. Absorberio medžiagų balansas	31
5 lentelė. Regeneratoriaus medžiagų balansas	32
6 lentelė. Absorberio medžiagų balansas	34
7 lentelė. Regeneratoriaus medžiagų balansas	35
8 lentelė. Išvalytų dujų sudėtis	40
9 lentelė. Absorberio medžiagų srauto duomenys.....	40
10 lentelė. Išvalytų dujų sudėtis po rekonstrukcijos.....	42
11 lentelė. Absorberio medžiagų srauto duomenys po rekonstrukcijos	42
12 lentelė. Bendrieji projektuojamo statinio techniniai rodikliai	44
13 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai	48
14 lentelė. Ilgalaikio turto vertė.....	48
15 lentelė. Produkcijos gamybos planas ir pajamos	49
16 lentelė. Tiesioginės išlaidos žaliavoms.....	49
17 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui	50
18 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai	50
19 lentelė. Tiesioginės išlaidos šiluminei energijai	51
20 lentelė. Tiesioginės ir netiesioginės gamybos išlaidos	52
21 lentelė. Priemonių nusidėvėjimas (amortizacija)	52
22 lentelė. Amoniako gaminio gamybos kaštų sąmata	52
23 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos gražinimo planas	54
24 lentelė. Gaminio kaina.....	54
25 lentelė. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai.....	55
26 lentelė. Rekonstrukcijos sąnaudų pasikeitimas	56
27 lentelė. Projekto grynujų pinigų srautų skaičiavimas.....	57
28 lentelė. Vidutinių svertinių kapitalo kaštų skaičiavimo rezultatai.....	58
29 lentelė. Lūžio taško skaičiavimo duomenys.....	59
30 lentelė. Pagrindinių projekto ekonominių rodiklių ataskaita.....	60
31 lentelė. Rizikos veiksniai ir įvertinimas	62
32 lentelė. Naudojamų cheminių medžiagų gaisrinio pavojingumo ir toksiškumo savybės.....	66
33 lentelė. Pastatų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų, pavojingų vietų zonas	67
34 lentelė. Duomenys apie produkciją	69
35 lentelė. Energijos vartojimas	69
36 lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavą, chemines medžiagas ar preparatus.....	70
37 lentelė. Tarša į aplinkos orą.....	70
38 lentelė. Stacionarių taršos šaltinių fiziniai duomenys	71
39 lentelė. Duomenys apie nuotekų šaltinius ir ar išleistuvus.....	72
40 lentelė. Susidarančių atliekų duomenys	72

Paveikslų sąrašas

1 pav. Anglies dioksido molekulinis modelis	13
2 pav. Sauso oro dujinė sudėtis	14
3 pav. Principinė absorbcijos-desorbcijos schema	15
4 pav. Shell ADIP principinė technologinė schema	17
5 pav. Principinė Benfield technologijos schema	18
6 pav. Benfield LoHeat patobulinimo technologinė schema	19
7 pav. HiPure technologinio proceso schema	20
8 pav. FLUOR tirpiklio principinė technologinė schema	21
9 pav. Rectisol technologijos principinė technologinė schema	22
10 pav. Shell Sulfinol principinė technologinė schema	24
11 pav. Konvertuotų dujų valymo nuo CO ₂ technologinės linijos modelis Aspen HYSYS aplinkoje	39
12 pav. Patobulintas konvertuotų dujų valymo nuo CO ₂ technologinės linijos modelis Aspen HYSYS aplinkoje.....	41
13 pav. MDEA siurblinės pastato evakuacijos planas.....	68
14 pav. Anglies monoksido sklaidos grafikas	71

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

Dr. – mokslinio laipsnio daktaras;

Lekt. – lektorius;

Prof. – profesorius;

CO₂ – anglies dioksidas;

CO – anglies monoksidas;

N₂ – azotas;

H₂ – vandenilis;

NH₃ – amoniakas;

MDEA – metildietanol aminas;

Ivadas

Anglies dioksidas – paprastas cheminis darinys, plačiai paplitęs mus supančioje atmosferoje, sudarytas iš vieno anglies bei dviejų deguonies atomų, tačiau turintis nepaprastą reikšmę mus supančiai aplinkai, gyviems organizmams ir pramonei.

XXI amžius yra tituluojamas kaip technologinio proveržio amžius. Nesustojanti technologijų plėtra įvairiais būdais nuolat keičia civilizaciją ir jos gyvenamąją aplinką, tuo pat metu iškeldama į paviršių įvairias problemas. Vienas iš XXI amžiaus opių skaudulių yra anglies dioksidas. Nors šis junginys yra vienas iš esminių sudedamųjų dalių augalams atliekant pirminio mitybos grandinės nario funkciją fotosintezės metu ir įgalinant gyvybę žemėje, tiek pat jis yra ir destruktivus [1].

Dar XIX amžiuje Nobelio laureatas, švedų fizikas ir chemikas Svante Arrhenius apskaičiavo ir nustatė tiesioginį ryšį tarp aplinkos temperatūros ir anglies dioksido koncentracijos ore, kuriam suteiktas šiltnamio efekto terminas. Prieš prasidedant pramonės perversmui ore anglies dioksido buvo 280 ppm, tačiau šiuo metu skaičius perkopė 410 ppm ribą ir jam kylant neišvengiamai susidursime su stichinėmis katastrofomis, žemės plotų tvindymu, gyvybės įvairovės nykimu [2, 3].

Pramonėje anglies dioksidas sutinkamas įvairiuose suskystintų dujų, kriogeniniuose, deginimo ar amoniako gamybos procese. Anglies dioksido reikšmė gali varijuoti nuo žaliavos iki nuodo katalizatoriams. Azotinių trąšų gamyboje sintetinant amoniaką ir tam pasitelkiant geležies katalizatorius anglies dioksido šalinimas iš sintezės dujų yra svarbus žingsnis. Egzistuoja įvairios dujų srautų valymo nuo anglies dioksido technologijos [4].

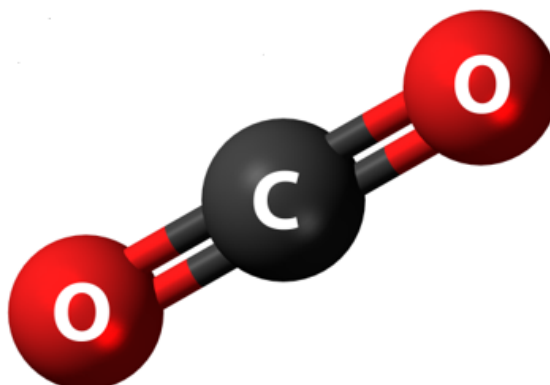
Darbo tikslas – išanalizuoti pramonėje naudojamų dujų valymo nuo CO₂ būdus, žinomus technologinius sprendimus, įvertinti nagrinėjamos technologijos tobulinimo galimybes.

Darbo uždaviniai:

1. atlikti pramonėje naudojamų dujų valymo nuo CO₂ būdų literatūros apžvalgą techniniais ir ekonominiais aspektais;
2. atlikti technologinio proceso analizę ir vertinimą taikant pasirinktą skaičiavimo, modeliavimo, analizės metodiką ir pateikti technologijos tobulinimo galimybių vertinimą;
3. pateikti gamybinio proceso vykdymo technologinę schemą ir pagrindinio aparato brėžinį;
4. pateikti statybinius sprendimus, finansinius ir ekonominius skaičiavimus, aplinkosauginį vertinimą bei reikalavimus dėl darbuotojų saugos ir sveikatos.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

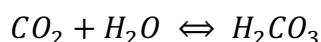
Anglies dioksidas yra cheminė medžiaga, kurios molekulėje kovalentiniais dvigubaisiais ryšiais yra sujungta vienas anglies ir du deguonies atomai.



1 pav. Anglies dioksido molekulės modelis [5]

1.1. Fizikinės – cheminės savybės

Anglies dioksidas yra bespalvės, sąlyginai bekvapės dujos atmosferiniame slėgyje ir temperatūroje. Sąlyginai netoksiškos ir nedegios dujos. Kuomet anglies dioksido koncentracija ore daug didesnė nei įprastai, burnoje sukelia rūgštų nemalonų pojūtį bei aštrų dilgų pojūtį nosyje bei gerklėje. Anglies dioksido dujos sunkesnės už orą ir gali sukelti asfiksiją išstumiant orą, tuo pat metu išstumiant gyvybiniams procesams reikalingą deguonį. Anglies dioksidas tirpus vandenyje, sudaro angliarūgštę [6, 7]:



1 lentelė. Anglies dioksido fizikinės – cheminės savybės, 25 °C ir 100 kPa [5, 6]

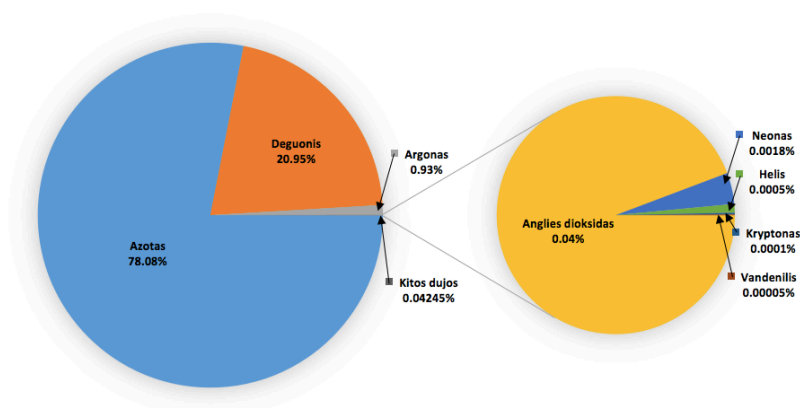
Cheminė formulė	CO ₂
Molekulinė masė	44,009
Tankis	1,600 g/l kieta, 771 g/l skysta, 1,98 g/l dujinė
Lydimosi temperatūra	-56,6 °C (5,185 bar)
Virimo temperatūra	-78,5 °C (sublimuoja)
Tirpumas vandenyje	1,45 g/l
Rūgštingumas (pK _a)	6,35 ir 10,33
Klampa	0,07 cP (-78 °C)

Anglies dioksidas normaliomis sąlygomis esti dujinėje fazėje. Jis taipogi gali būti dar dvejose agregatinėse būsenose. Žemesnėje nei -78,5 °C temperatūroje ir atmosferiniame slėgyje anglies

dioksidas yra kietoje fazėje, vadinamoje sausu ledu. Aukštesniame nei 5,1 atmosferų slėgyje ir -56,6 °C temperatūroje anglies dioksidas skystas.

1.2. Anglies dioksido paplitimas ir panaudojimas

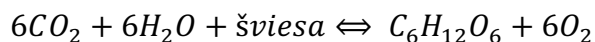
Anglies dioksidas yra lengvai prieinama medžiaga, jos paprasčiausiai yra ore, kuriuo kvėpuojame. Tai gyvybės ciklui reikalinga cheminė medžiaga, ją išskiria į orą visi gyvi kvėpuojantys organizmai. Pagal užimamą tūrinį procentą atmosferoje šios dujos yra ketvirtos. Ore anglies dioksido buvo apie 280 ppm (dalelių milijone) prieš prasidedant pramonės perversmui, o šiuo metu šis skaičius jau virš 410 ppm ir tai yra šių dienų nuolat eskaluojama opi problema [3].



2 pav. Sauso oro dujinė sudėtis [8]

Anglies dioksidas yra be galo universali medžiaga, panaudojama maisto, metalurgijos, chemijos, farmacijos, statybų, sveikatos apsaugos ir kitose srityse [9].

Viena iš svarbiausių anglies dioksido savybių yra dalyvavimas fotosintezės procese, kuomet chlorofilo turintys augalai savinasi šį dujų junginį iš atmosferos, ar kitokia sudėtinga forma ištirpusį vandenyje, ir vykstant sudėtingiems cheminiams procesams šviesos energijos pagalba anglies dioksidas konvertuojamas į naudingas gyvybei medžiagas [10].



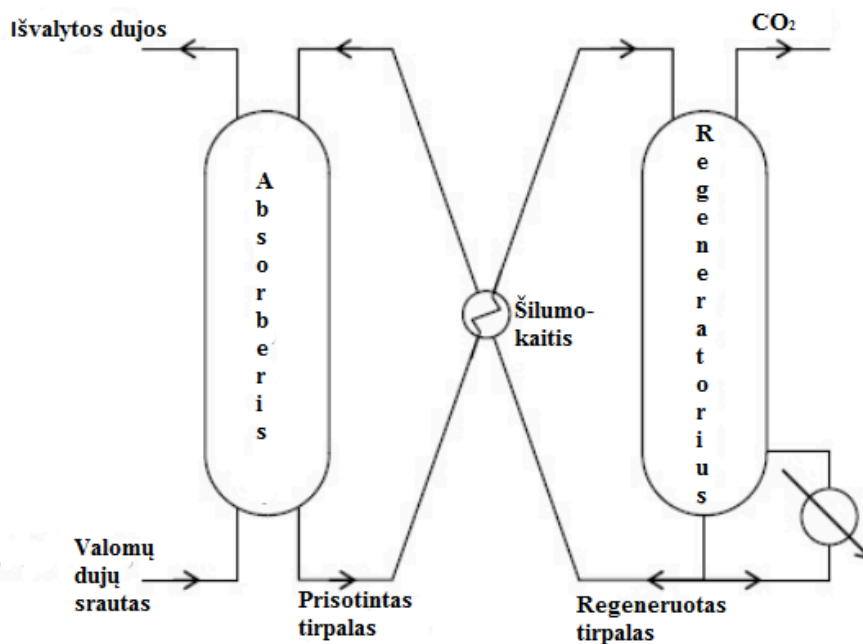
Ši fotosintezės reakcija įgalina gyvybę žemėje aprūpindama gyvus organizmus reikalingu deguoniui bei pirminiu energijos šaltiniu – angliavandeniais.

1.3. Dujų srautų valymo nuo anglies dioksido principas

Cheminiėje pramonėje technologinės dujos valomos nuo įvairių junginių dėl visokiausių priežasčių – technologinių reikalavimų, aplinkosauginių, ekonominių, techninių ir kitų reikalavimų. Anglies dioksido šalinimas yra svarbus žingsnis daugumai cheminės pramonės procesų. Kalbant apie anglies dioksidą dujų sraute, galima išskirti tai, kad CO₂ yra rūgštinės dujos, todėl terpeje esant vandeniui galimai bus sukeliama įrangos ir vamzdynų korozija. Gamtinių dujų sudėtyje anglies dioksidas mažina gamtinių dujų koringumą, dujotiekio naudingas pajėgumas mažėja. CO₂ būtina šalinti suskystintų dujų gamyklose ar terminaluose norint išvengti užšalimo žematemperatūrinuose

šaldytuvuose ar išvengti veikimo problemų kriogeninėje kolonoje. Amoniako gamybos technologijoje anglies dioksidas yra nuodas sintezės katalizatoriams [11, 12].

Dujų srautų valymo nuo anglies dioksido technologijų esti įvairių, pagrinde išskiriamos fizikine arba chemine sorbcija pagrįstos technologijos, ar jų hibridinės sistemos. Dalis pasiteisinusių ir tebenaudojamų valymo technologijų šiandieninėje cheminėje pramonėje pateikiamos 2 lentelėje. Dažniausiai naudojamas technologinis principas CO₂ valymui yra paremtas absorbcijos-desorbcijos proceso pagrindu, kuris supaprastintai pavaizduotas 4 pav.



3 pav. Principinė absorbcijos-desorbcijos schema [12]

Nevalytas, rūgščių dujų srautas tiekiamas į absorberio kolonos apačią, kur pradeda kontaktuoti su tirpikliu – absorbuojančiu tirpalu. Absorberyje palaikomas didelis slėgis ir žema temperatūra. Absorbuojantis tirpalas paprastai teka priešinga kryptimi tiekiamoms dujoms, todėl absorbentas tiekiamas į kolonos viršų, kur juo kolona laistoma [13].

Tekant skysčiui kolona žemyn šis nuosekliai įsotinamas vis didesniu kiekiu CO₂, iki kol pasiekiamas pilnas prisotinimas. Toks prisotintas anglies dioksidu tirpalas nukreipiamas per absorberio kolonos apačią, o iš absorberio kolonos viršaus išteka išvalytos dujos, kurios gali būti apdorojamos tolimesniuose technologiniuose etapuose. Prisotintas tirpalas prieš patekdamas į regeneratorių pašildomas šilumokaityje priešprieša tekančio karšto regeneruoto tirpalo šiluma. Prisotintas tirpalas papildomai kaitinamas šalia regeneratoriaus įrengtame kaitintuve [13].

Regeneratoriuje vyksta CO₂ dujų desorbcija aukštoje temperatūroje ir žemesniame nei absorberyje slėgyje. Tirpalas regeneruojamas, teka iš regeneratoriaus apatinės dalies, atvėsintas ir yra paruoštas naujam absorbcijos ciklui, o per regeneratoriaus viršutinę dalį nukreipiamos desorbuotos CO₂ dujos. CO₂, kuris yra šalutinis produktas, kaip žaliava yra tinkamas naudoti karbamido, metanolio gamybai, sausam ledui ir kitoms reikmėms [13].

2 lentelė. CO₂ šalinimo technologijų techniniai rodikliai [14]

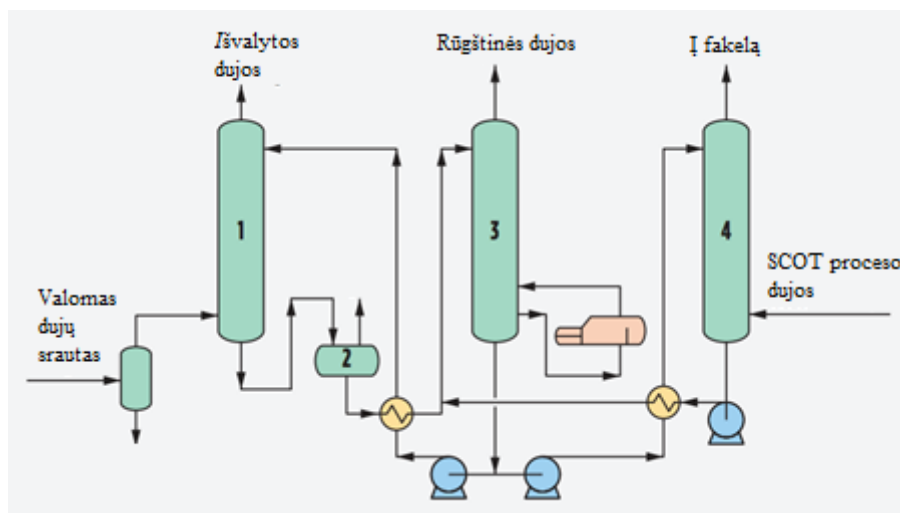
Proceso pavadinimas	Tirpiklis/reagentas + priedai	CO ₂ kiekis išvalytose dujose (ppm)
<i>Fizikinės absorbcijos sistemos</i>		
Purisol	N-metil-2-pirolidonas	Mažiau nei 50
Rectisol	Metanolis	Mažiau nei 10
Fluorsolv	Propileno karbonatas	Priklauso nuo slėgio
Selexol	Polietilen glikol dimetil eteris	Priklauso nuo slėgio
<i>Sistemos su cheminiais reagentais</i>		
MEA	Vanduo/monoetanolaminas (20 %)	Mažiau nei 50
Benfield	Vanduo/K ₂ CO ₃ (25-30 %) + DEA	500-1000
Vetrocoke	Vanduo/K ₂ CO ₃ + As ₂ O ₃ + glicinas	500-1000
Catacarb	Vanduo/K ₂ CO ₃ (25-30 %) + priedai	500-1000
Lurgi	Vanduo/K ₂ CO ₃ (25-30 %) + priedai	500-1000
Carsol	Vanduo/K ₂ CO ₃ + DEA	500-1000
Flexsorb HP	Vanduo/K ₂ CO ₃ aminai promotorinama	500-1000
Alkazid	Vanduo/K ₂ -metilaminpropionatas	Pagal poreikį
DGA	Vanduo/diglikolaminas (60 %)	Mažiau nei 100
MDEA	Vanduo/metil dietanolaminas (40 %) + priedai	100-500
<i>Hibridinės sistemos</i>		
Sulfinol	Sulfonai/DIPA	Mažiau nei 100
TEA-MEA	Trietanolaminai/monoetanolaminai Vanduo/sulfolanai/MDEA	Mažiau nei 50

1.4. Anglies dioksido valymo technologijos ir apžvalga

Shell ADIP technologija. Ši regeneracinė aminų technologija tinkama valyti gamtinių dujų, naftos perdirbimo dujų, sintezės dujų srautus nuo CO₂, COS, H₂S pašalinant jų didžiąją dalį arba visiškai išvalant. Pagrindinė pritaikymo sritis yra dujos, kurioms nėra nustatyti reikalavimai organinių sieros junginių pašalinimui. Šiuo metu, siūlomi du procesai. Pirmasis yra atrankus ADIP procesas ADIP/Claus/SCOT procesų sekoje, omet kombinuojamas priešsroviniš atrankusis H₂S šalinimas

kartu su SCOT valymo technologija Claus proceso išmetamoms dujoms. Antrasis yra paspartintas ADIP-X procesas skirtas išvalyti didžiąją dalį arba pilnai CO₂, COS, H₂S [15, 16].

ADIP procesuose naudojami vandeniniai aminių tirpalai: antrinis aminas di-isopropanol aminas (DIPA) arba tretinis aminas metil dietanol aminas (MDEA). ADIP-X procese taipogi naudojamas piperazino priedas, kuris yra proceso spartintojas moderniausio lygio technologijose. Aminių koncentracija tipiškai siekia iki 50 %, tačiau tiksli tirpiklio sudėtis yra pritaikoma pagal individualius kliento pageidavimus [15].

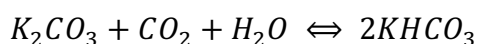


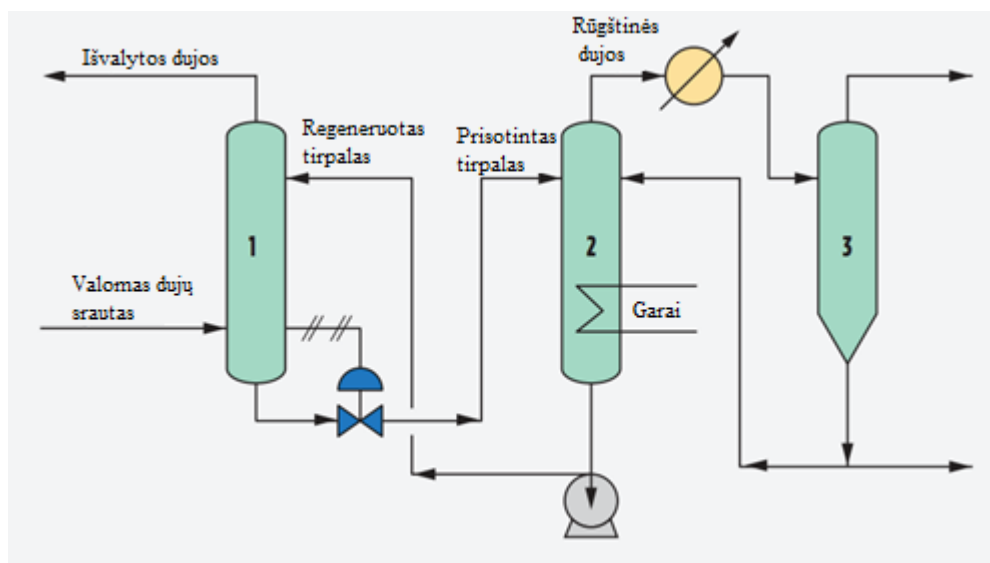
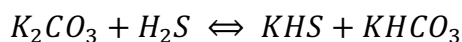
4 pav. Shell ADIP principinė technologinė schema. 1 – absorberis; 2 – slėgio mažinimo aparatas; 3 – regeneratorius; 4 – SCOT proceso dujų absorberis [15]

Atskiriems aminių absorberiams dažniausiai pritaikomas bendras regeneratorius, o pats regeneracijos procesas susideda iš kelių etapų, nes panaudojami papildomi įrenginiai garų stripingo ar slėgio numetimo metodams. Šiuo atveju, absorberyje (1) bendrai absorbuoti angliavandeniliai iš prisotinto tirpalo, numetant slėgį (2), pašalinami ir pašalintos dujos gali būti naudojamos kaip kuras. Prisotintas tirpalas iš absorberio (1) ir SCOT proceso absorberio (4) yra sumaišomas ir nukreipiamas į bendrą regeneratorių. Regeneruotas tirpalas ištekantis iš regeneratoriaus yra padalijamas ir nukreipiamas į abu absorberius. Agregatai yra pastatyti įvairioms dujų srautų teršalų koncentracijoms, klimatų zonose nuo dykumų iki arkties, įvairiom tiekiamų valyti dujų srauto slėgio ir temperatūros sąlygoms, taipogi ir tirpiklio temperatūrai. H₂S išvalymo specifikacija gali būti pasiekta iki 1 ppm, o CO₂ iki 50 ppm. Pasaulyje veikia per 400 ADIP technologijos agregatų gamtinių bei suskystintų dujų gamyklose, naftos perdirbimo bei chemijos pramonės įmonėse. Etaloninės gamyklos valo dujų srautus, kuriuos sudaro iki 25 mol % H₂S ir iki 50 mol % CO₂ [15].

Benfield technologija. Benfield technologinis procesas taikomas CO₂ ir H₂S dujų valymui iš gamtinių dujų ir sintezės dujų srautų. Šis procesas dažniausiai naudojamas šalinti CO₂ iš amoniako arba vandenilio sintezės dujų [15, 17].

Rūgštinės dujos iš tiekiamo valyti dujų srauto praplaunamos absorberio kolonoje (1) naudojant kalio karbonatą su Benfield priedais, kad būtų pagerinami valymo rodikliai ir išvengiama korozijos. Vyksta reakcijos [15]:

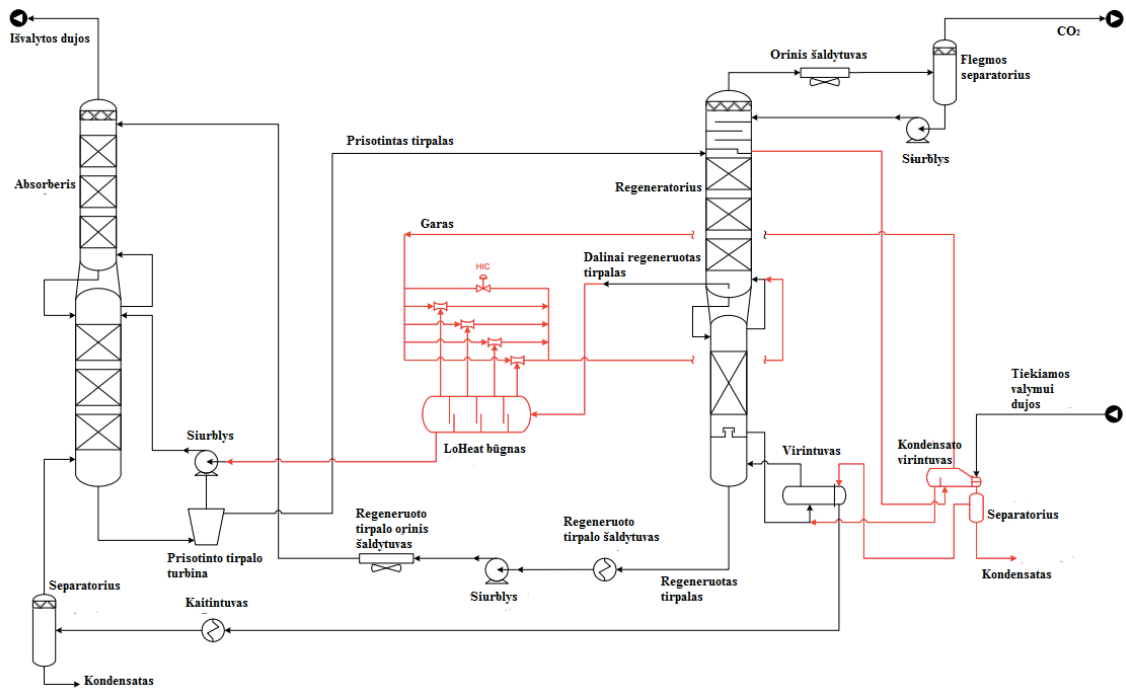




5 pav. Principinė Benfield technologijos schema. 1 – absorberis; 2 – regeneratorius; 3 – separatorius [15]

Valomo dujų srauto temperatūra gali būti 15-130 °C, o rūgštinių dujų kiekis gali svyruoti nuo 5 % iki 35 %. Jei dujų srauto temperatūra aukšta, ji panaudojama regeneracijos procesui. Sunkieji angliavandeniliai yra lengvai suvaldomi ir sutvarkomi. Jei valomame dujų sraute nėra H₂S, kelių procentų deguonies kiekis nėra žalingas, yra lengvai suvaldomas be tirpiklio degradacijos. CO₂ valomas absorberyje esant 10-124 bar slėgiui, valomų dujų srautą praplaunant 40 % K₂CO₃ tirpalu esant 120 °C temperatūrai. Išvalytas dujų srautas išteka per absorberio viršutinę dalį, o prisotintas CO₂ tirpalas nukreipiamas į regeneratorių (2), kur regeneruojamas žemesniame slėgyje ir esant aukštesnei nei 230 °C temperatūrai, kaitinant tirpalą gyvatuku garų pagalba. Regeneruotas tirpalas paruoštas naujam absorbcijos ciklui, o per regeneratoriaus viršutinę dalį išteka CO₂ dujos. Aparatai ir įrengimai gaminami iš nerūdijančio plieno, korozijai mažinti procese naudojamos vanadžio ir arseno druskos. Procesas pasižymi mažomis garų sąnaudomis ir suderinamumu su katalizatoriais [15, 17].

Viename iš Benfield technologijos atnaujinimų, Benfiel ACT-1 technologijoje, kartu su kalio karbonato tirpalu naudojama aktyvatoriai – monoetanolaminas (MEA) ar dietanolaminas (DEA), kurių tirpale yra iki 3 %. Dėl šios priežasties CO₂ išvalytose dujose lieka 25-85 % mažiau, 5-15 % sumažinamas regeneracijai reikalingas energijos kiekis ir 5-15 % sumažinama reikalinga tirpiklio cirkuliacija. Tačiau naudojant MEA, DEA priedus pasireiškia amino molekulių degradacija – susidaro nepageidaujami šalutiniai produktai, kaip kalio formiatai bei tam tikros karboksirūgščių druskos. Kai kurie aminų degradacijos produktai pagreitina koroziją. Maža susidariusių nepageidaujamų produktų koncentracija ypatingo poveikio technologiniam procesui neturi, tačiau peržengus 5 % koncentracijos ribą neigiamai veikia valymo proceso rodiklius, pasikeičiant karbonatinio tirpalo savybėms. 2000 metais daugiau nei 700 agregatų veikė pagal Benfield technologiją [15, 17].



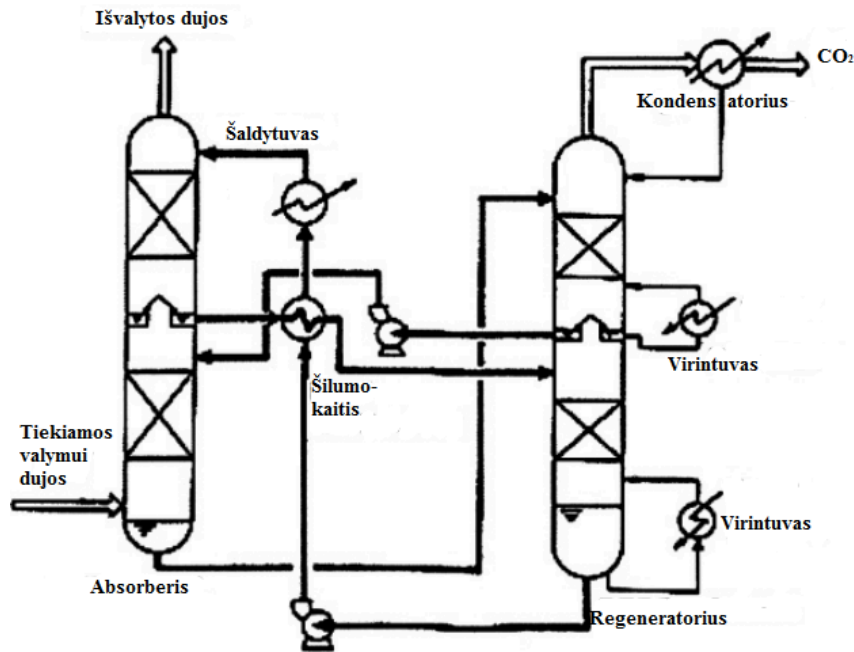
6 pav. Benfield LoHeat patobulinimo technologinė schema [18]

Kitas patobulinimas Benfield procesui yra **LoHeat** technologija. Šioje technologijoje energetiniai poreikiai sumažinami rekuperuojant daugiau energijos, įdiegiant papildomą karšto dalinai regeneruoto K_2CO_3 tirpalo srautą iš regeneratoriaus [18].

Iš vidurinės regeneratoriaus kolonos dalies dalinai regeneruotas K_2CO_3 tirpalas nukreipiamas į LoHeat būgną. Būgne tirpalui tekant per daug atskirų kamerų darbinis slėgis nuosekliai mažinamas būgno viršutinėje dalyje sumontuotais garų ežektoriais. Kondensato virintuve, panaudojant technologinių dujų šilumą, pagaminami reikalingi garai ežektoriams [18].

Taip didinamas tirpalo absorbcinis našumas panaudojant daugiastadijinį slėgio mažinimą, kuris leidžia pašalinti CO_2 iš tirpalo. Išsiskyres CO_2 ir garai nukreipiami į vidurinę regeneratoriaus kolonos dalį. LoHeat būgne slėgio mažinimu regeneruotas tirpalas siurblių pagalba tiekiamas į absorberio koloną. Procesas yra energetiškai naudingesnis ir našesnis nei paprasta Benfield technologija, nereikalinga papildoma išorinė energija garams pagaminti. Patobulinimas sumažina energijos sąnaudas apie 15-40 %, leidžia pasiekti 2720 kJ/m^3 reikalingą energijos kiekį valomoms dujoms [15, 18].

Dar vienas Benfield proceso patobulinimas yra **HiPure** technologija, pavaizduota 17 paveiksle. Ši technologija paremta praplovimu karštu kalio karbonato tirpalu dvejose stadijose. Tiekiamas valymui dujų srautas taip išvalomas iki ne daugiau 5 ppm H_2S ir 50 ppm CO_2 [15, 18].



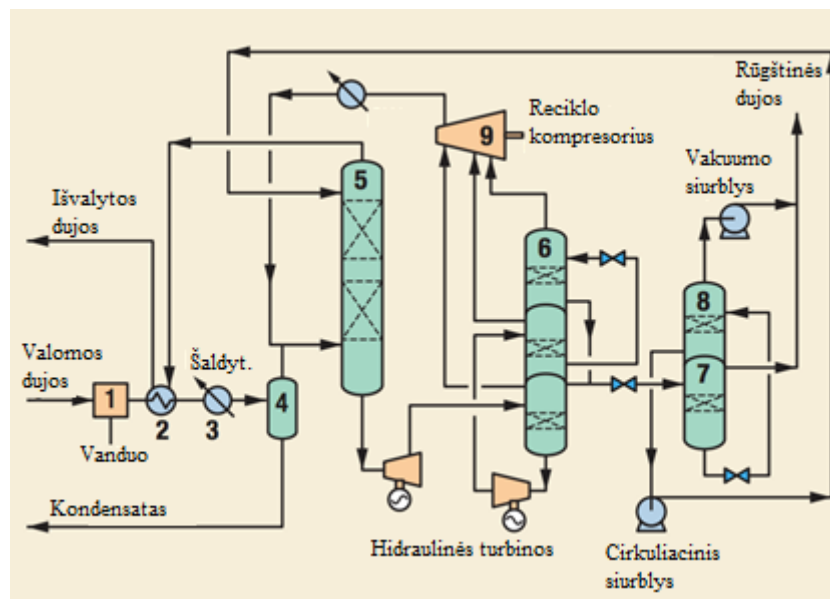
7 pav. HiPure technologinio proceso schema [17]

FLUOR tirpiklio technologija. Fluor tirpiklio procesas skirtas valyti technologines bei gamtines dujas nuo anglies dioksido. Dujų srautas valomas naudojant FLUOR tirpiklį propileno karbonatą. Procesas paremtas anglies dioksido didžiausiu tirpumu propileno karbonate lyginant su kitomis dujomis [15, 19].

Valymui tiekiamas dujų srautas yra išdžiovinamas (1) džiovintuve ir atšaldomas (2, 3) šaldytuvuose, pašalinant sunkiuosius angliavandenilius. Susidarę skysčiai yra šalinami separatoriuje (4), o dujos patenka į absorberį (5). Valomos dujos kontaktuoja su FLUOR tirpikliu ir propileno karbonatu, taip absorbuojant rūgštines dujas iš valomo dujų srauto [15].

Rūgštinių dujų desorbcija vyksta be papildomo kaitinimo. Prisotintas rūgštinėmis dujomis tirpalas tiekiamas pro trijų stadijų slėgio mažinimo procesą – pirmą slėgio sumažinimą (6), atmosferinį (7) ir galiausiai vakuuminį (8). Dujos iš pirmos stadijos slėgio numetimo (6) turi nemažą kiekį angliavandenilių, yra suspaudžiamos (9) ir gražinamos į absorberį. Hidraulinės turbinos, esančios tarp absorberio ir pirmos stadijos slėgio mažinimo bei tarp pirmos ir antros stadijos slėgio mažinimo etapų, rekuperuoja dalį energiją ir sumažina šaldymo procesui reikalingos energijos kiekį [15].

Kadangi tirpiklio absorbcijos efektyvumas didėja temperatūrai mažėjant, FLUOR tirpiklio technologijoje absorberyje palaikomas aukštas slėgis bei žema temperatūra (žemiau $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$), be to, anglies dioksidui tirpstant sukuriamas aušinant, endoterminis, efektas. Regeneruotam tirpalui pilnai atvėsinti šio efekto nepakanka, reikalingas tam tikras kiekis išorinio aušinimo [15].



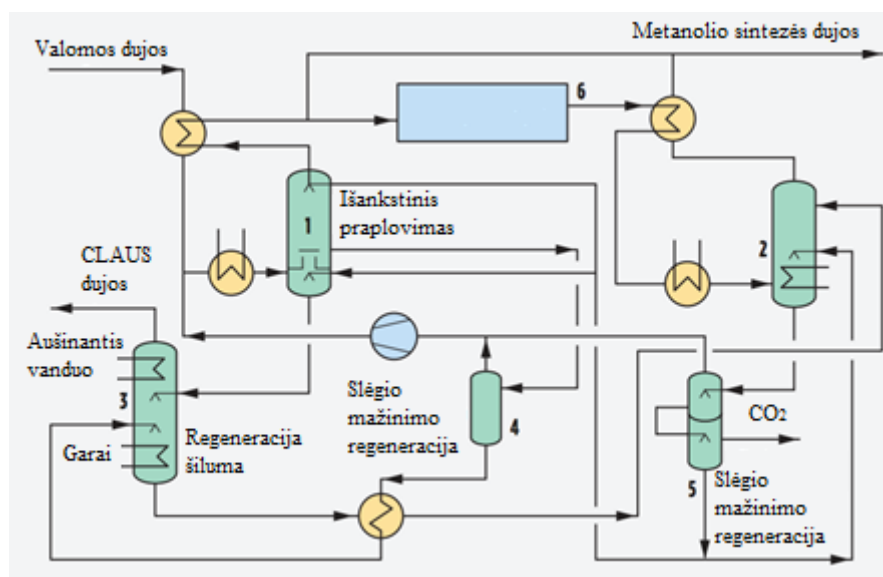
8 pav. FLUOR tirpiklio principinė technologinė schema. 1 – džiovinuvas; 2, 3 – šaldytuvai; 4 – separatorius; 5 – absorberis; 6, 7, 8 – regeneratoriai, 9 – kompresorius [15]

Technologijos privalumas yra tai, kad tirpalo regeneracijai nereikia naudoti papildomos išorinės energijos tirpalui kaitinti, viso labo užtenka mažinti slėgį regeneracijos etape. Taip sumažinus slėgį anglies dioksidas iš tirpalo pasišalina. Dalis energijos susigrąžinama panaudojant turbinas, kurios besiplečiant dujoms gamina elektros energiją [15].

Anglies dioksido dujos iš regeneratoriaus gali būti išleidžiamos ir nesumažinus slėgio, palaikant jį 0,7 - 1,4 MPa, jeigu dujos toliau naudojamos karbamido gamyboje. Tirpiklis nėra toksiškas, biologiškai suskylantis ir užšalantis esant $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, todėl technologija tinkama itin atšiauriems klimatams, pritaikoma net Arktuje. Procesą sukūrė FLOUR korporacija 1958 metais ir yra patentuota Fluor Daniel vardu, veikia 13 šios technologijos agregatų (8 gamtinių dujų, 2 amoniako, 1 sintezės dujų, 2 vandenilio dujų gamyklose) [15, 17, 19].

Catacarb technologija. Catacarb technologija paremta adsorbcijos principu, o dujų srautas valomas karštu kalio karbonato tirpalu. Anglies dioksido šalinimas šiame procese yra aktyvuotas, tirpale įdėti tam tikri patentuoti katalizatoriai. “Eickmeyer and Associates” yra kompanija, kuri sukūrė ir užpatentavo šį procesą, tyrimams panaudojusi Amerikos valstijų kasybos biuro duomenis. Daugiau nei 100 licenzijuotų sistemų veikė pagal šią technologiją 1997 metais [17, 20].

Rectisol technologija. Ši technologija skirta amoniako, metanolio, Fischer-Tropsch sintezės dujų, gamtinių dujų, naftos gavybos dujų srautų valymui nuo anglies dioksido ir vandenilio sulfido. Taipogi išvalomi ir HCN, NH_3 , BTX, merkaptanų ir karbonilų priemaišos. Technologijoje valymui naudojamas metanolis, procesas paremtas fizikine rūgštinių dujų absorbcija jas praplaunant metanolium aukštame slėgyje ir žemoje temperatūroje (žemiau $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Procesas labiausiai tinkamas esant aukštam tiekiamų valymui dujų srauto slėgiui bei aukštai rūgštinių dujų koncentracijai [15, 21].



9 pav. Rectisol technologijos principinė technologinė schema. 1, 2 – absorberiai; 3, 4, 5 – regeneratoriai, 6 – CO konvertorius [15]

Tiekiamos valymui dujos yra atvėsintos ir teršalų priemaišų likučiai pirmiausiai pašalinami išankstiniame praplovime (1), po to vykdomas sieros šalinimas (2). Paskutinis žingsnis viršutinėje absorberio kolonos dalyje yra anglies dioksido šalinimas. Atliekamas grubus plovimas slėgio numetimu regeneruotu metanoliumi (5) iki 3-5 % anglies dioksido koncentracijos, o tolimesnis anglies dioksido šalinimas iki pageidaujamo sintezės dujų grynumo vykdomas ataušintu regeneruotu metanolio tirpalu (7). Nepilnas slėgio sumažinimas (4) nulemia absorbuotų H₂S ir CO₂ dujų išsiskyrimą iš metanolio tirpalo. H₂S dujomis prisotintas metanolis galiausiai valomas re-absorberyje rūgštinių dujų išgryninimui – slėgis dar labiau žeminamas taipogi naudojant N₂ dujas prapūtumui. Anglies dioksidas yra išvalytas nuo sieros ir gali būti naudojamas kaip produktas ar žaliava arba išleidžiamas į atmosferą. Kadangi procesas pasižymi žema darbine temperatūra, jis puikiai dera su kriogeninėmis technologijomis. Procesas yra tinkamas technologijoms, kuriose reikalingas didelis dujų išvalymo laipsnis, kadangi pasiekiamas dujų grynumas – žemiau 10 ppm [15].

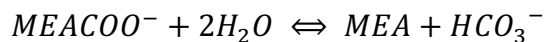
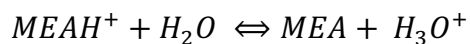
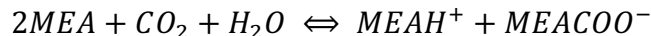
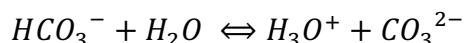
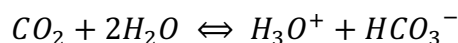
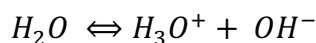
Pagrindiniai Rectisol technologijos privalumai: CO₂ ir sieros dujų desorbcija skirtingose technologijos vietose, pigus ir lengvai prieinamas tirpiklis – metanolis, lengvas proceso parametrų valdymas, ganėtinai mažos energijos išlaidos, itin grynus išvalytas dujas. Procesą kartu sukūrė Lurgi ir Linde kompanijos. Pirmą kartą Rectisol procesas pritaikytas Pietų Afrikoje, SAOL anglies sudujinimo gamykloje, Lurgi kompanijos iniciatyva. 1968 metais, po tolimesnių Linde kompanijos patobulinimų, technologija įdiegta Los Anžele naftos gavyboje dujų gryninimui Texaco kompanijai. Veikia ar statomi daugiau nei per 100 Rectisol technologijos agregatų [15].

Giammarco-Vetrocoke technologija. Egzistuoja dvi skirtingos Giammarco-Vetrocoke technologijos, skirtos valyti dujų srautams. Viena iš jų yra skirta valyti anglies dioksidui iš sintezės dujų ar gamtinių dujų, o kita skirta valyti vandenilio sulfidui iš sintezės dujų ar koksų deginamų krosnių. Degimo procesų metu po sudėtingų reakcijų sekos išskiriama elementinė sierą. Technologijose rūgščios dujos absorbuojamos naudojant kalio ar natrio karbonatų vandeninius tirpalus, kuriuose yra arsenito aktyvatoriaus. Arsenitą, kuris aktyvuoja kalio karbonato tirpalą, galima pakeisti glicinu. Nurodoma, kad procesas nepasižymi korozingumu. Tinkamai suregulius procesą pasiekiamas 99 procentų grynumo išskiriamas CO₂ dujų srautas [17].

Selexol technologija. Technologija skirta valyti rūgštinėms dujoms atrankios absorbcijos būdu panaudojant polietilenglikoldimetilo eterį (DMPEG). Technologija paremta dujų tirpumo DMPEG priklausomybe nuo slėgio. Absorbicija atliekama absorberijoje, aukštame slėgyje, kolonoje vykdomas priešpriešinis srautų judėjimas. Dažniausiai į sistemą tiekiamos 20-140 atm slėgio valomos dujos, jose CO₂ koncentracija gali siekti nuo 5 % iki 60 %. DMPEG tirpalas geba absorbuoti CO₂, H₂S, COS ir merkaptanus. Regeneratoriuje tirpalas regeneruojamas mažinant slėgį ar jį prapučiant inertinėmis dujomis. Priklausomai nuo pritaikymo ir proceso sureguliuavimo dujos išvalomos iki milijoninių ar procentinių dalių [15, 17, 22].

Vienas iš DMPEG privalumų yra jo cheminis inertiškumas, be to, šis junginys nėra linkęs degraduoti ir pasižymi mažu korozingumu. Taigi, dėl inertiškų cheminių savybių bei mažo korozingumo, tam tikra dalis Selexol technologijos įrangos gali būti gaminama iš anglinio plieno, kas sumažina kaštus [15, 17].

Aukšto slėgio MEA technologija. Technologija skirta sintezės dujų valymui nuo anglies dioksido dujų. Rūgščiosios dujos absorbuojamos pritaikant MEA (monoetanolamino), kaip ir kitų aminų, silpnas bazinės savybes. Tiekiamų dujų srautas valomas nuo anglies dioksido jas praplaunant absorberijoje aukštame slėgyje, naudojant 30 % koncentracijos MEA vandeninį tirpalą. Vykstančios reakcijos [17]:

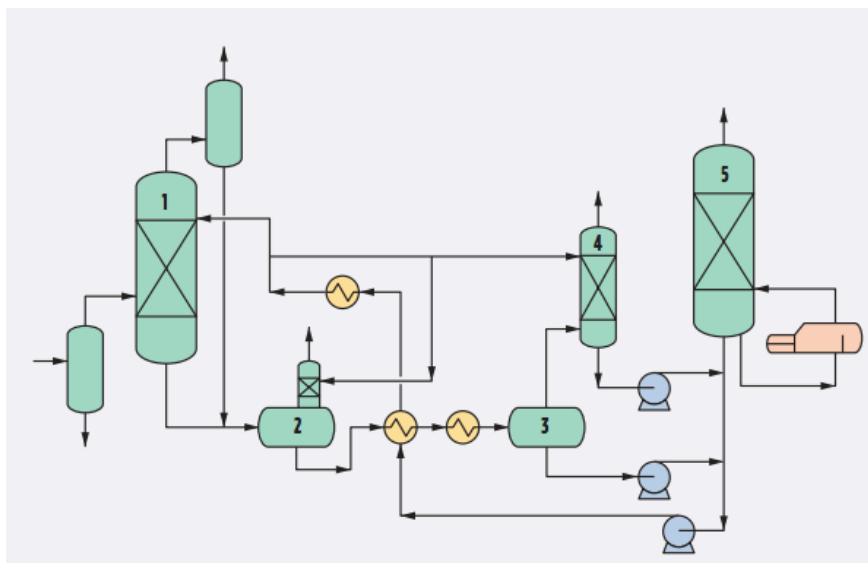


Prisotintas tirpalas nukreipiamas į regeneratorių, kur sumažinamas slėgis ir tirpalas kaitinamas aukštoje temperatūroje taip atpalaiduojant anglies dioksidą. Regeneruotas tirpalas vėsina ir vėl panaudojamas dujų valymui. Procesas pasižymi aukšta CO₂ absorbcija net mažame slėgyje, bet reikalauja didelių energijos sąnaudų regeneruoti prisotinam tirpalui, kas apriboja technologijos panaudojimą. MEA technologijoje susiduriama su putojimu, dėl šios priežasties atsiranda poreikis antiputokšliams. Taipogi MEA pasižymi korozingumu ir termine degradacija, todėl šiems dalykams sušvelninti į tirpalą dedama inhibitorių [17]:

Shell Sulfinol technologija. Technologiją sukūrė Shell kompanija 1960 metais, šis regeneracinis hibridinis aminų procesas pritaikytas visiškam arba dideliems kiekiams CO₂, COS, H₂S ir organinių sieros junginių teršalų valymui iš sintezės dujų, naftos perdirbimo ir kitų dujų srautų. Anglies dioksidas gali būti išvalomas arba praleidžiamas. Šiuo metu yra siūlomi trys Sulfinol procesų variantai. Pirma – Sulfinol-M, kuomet reikalingas atrankus H₂S valymas, pilnas ar pagrindinis kiekis CO₂, H₂S. Antra – Sulfinol-D. Trečia – Sulfinol-X išvalyti giliai ar pagrindiniam kiekiui CO₂, COS, H₂S. Priklausomai nuo proceso veikimo sąlygų, visuose trijuose procesuose, galimas pilnas merkaptanų, COS ir kitų anglies junginių išvalymas. Valomas dujų srautas praplaunamas diisopropanolaminu, ištirpintu sulfolano (C₄H₈SO₂) ir vandens mišinyje. 1977 metais veikė ar buvo statomi per 200 Shell Sulfinol technologijos valymo agregatų [15, 16, 17].

Shell Sulfinol procesas gali būti pritaikomas vienos stadijos CO₂ ir kitų dujų valymui pasiekiant gerus ekonominius rodiklius. Procese naudojami įvairūs absorbentų mišiniai. Sulfinol-M ir Sulfinol-X procesai naudoja tretinio amino metil dietanolamino (MDEA) ir sulfolano mišinį. Sulfinol-X tirpale naudojamas piperazino priedas, kuris yra naudojamas kaip proceso aktyvatorius moderniausiose valymo technologijose. Sulfinol-D procesas naudoja antrinio amino di-isopropanolamino (DIPA) ir sulfolano mišinį. Tirpalo sudėtis yra pritaikoma pagal individualius kliento poreikius. Priešingai Sulfinol-D (pirmos kartos Sulfinol procesas) procesui, naudojant Sulfinol-M ir Sulfinol-X (abu yra antros kartos Sulfinol procesai) procesą nesusidaro oksazolidonų, kuriuos būtina valyti regeneruojant tirpalą. Dažniausiai pasitaikantis absorbentas Shell Sulfinol technologijoje yra sudarytas iš 40 % sulfolano, 40 % DIPA ir 20 % vandens. Toks absorbentas geba absorbuoti 1,5 molio rūgščių dujų 1 moliui absorbento [15, 17].

Technologijose gali būti panaudotas labai įvairus aparatų išdėstymas. 10 paveiksle pavaizduota atrankios absorbcijos pavyzdinė supaprastinta schema. Absorberyje (1) prisotintas rūgštinėmis dujomis tirpalas yra nukreipiamas į slėgio mažinimo indą (2), kur angliavandeniliai desorbuojasi. Tirpalas pakaitinamas ir nukreipiamas į kitą indą (3), kur dėl šilumos ir slėgio mažinimo dujos vėl desorbuojasi. Desorbuotos CO₂ dujos yra nukreipiamos į selektyvų absorberį (4), kuriame pašalinamas likęs H₂S kiekis, o tirpalas iš selektyvaus absorberio sumaišomas su prisotintu tirpalu ir nukreipiamas į regeneratorių (5). Šie papildomi regeneracijos žingsniai leidžia pasiekti žymiai didesnę rūgštinių dujų išvalymo laipsnį lyginant su tradiciniais absorbcijos-desorbcijos procesais [15, 17].



10 pav. Shell Sulfinol principinė technologinė schema. 1, 4 – absorberiai; 2 – slėgio mažinimo indas; 3, 5 – regeneratoriai [15]

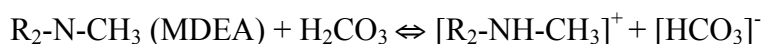
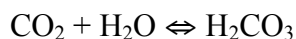
Shell Sulfinol technologija yra pranašesnė už tradicines aminų valymo technologijas dėl įvairių priežasčių [15, 16]:

- Energijos sąnaudos regeneracijai mažesnės;
- Sorbento absorbcinė geba didesnė, kas lemia mažesnę tirpiklio cirkuliaciją;
- Mažesnis korozingumas;
- Sorbentas linkęs mažiau putoti;
- Shell Sulfinol geba išvalyti tiek rūgštines, tiek sieros darinių dujas;
- Investicinės išlaidos įrenginiams mažesnės;

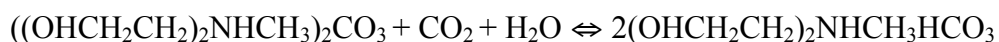
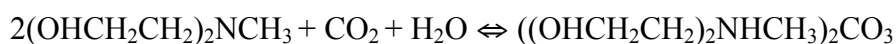
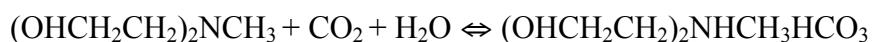
- Sorbentą sudarantys cheminiai junginiai lengvai įsigijami rinkoje.

Pagrindinis technologijos trūkumas yra DIPA degradacija, papildomo aparato poreikis DIPA šalutinių produktų šalinimui. Shell Sulfinol technologijoje reikalingi mažesni įrengimai nei konkurentų, nes tirpiklis įsotina didesnę kiekį rūgštinių dujų, absorbento cirkuliacijos poreikis mažėja, absorbentas mažiau linkęs putoti. Dėl įvairių išvardintų priežasčių Sulfinol procesui reikia mažesnių investicinių išlaidų technologinių įrenginių gamybai, jų priežiūrai, lyginant su kitomis aminų alkoholiais paremtomis valymo technologijomis. Technologija pasižymi mažomis garų sąnaudomis regeneracijai didele CO₂ absorbcija aukštame slėgyje. Pasaulyje veikia ar statomi daugiau nei per 220 Sulfinol agregatų, naudojamų gamtinių ar suskystintų dujų gamyklose, naftos perdirbimo ar chemijos pramonės įmonėse. Etaloniškos gamyklos valo dujų srautus, kurių sudėtis yra iki 15 mol% H₂S ir iki 33 mol% CO₂ [15, 17].

Aktyvuoto MDEA technologija. Technologija skirta gamtinių dujų ar sintezės dujų valymui nuo anglies dioksido, šį absorbuojant aktyvuotu metil dietanolamino (MDEA) tirpalu aukštame slėgyje. MDEA tirpalas aktyvuojamas į tirpalą pridėjus piperazino. Absorberyje vykdomas priešpriešinasis srautas - tiekiamas dujų srautas patenka iš apačios ir yra praplaunamas iš viršaus tekančiu MDEA tirpalu, ko pasekoje anglies dioksidas yra absorbuojamas ir tirpalas prisotinamas. Per absorberio viršutinę dalį išteka švari dujų frakcija, o prisotintas tirpalas iš absorberio apačios tiekiamas regeneracijai į regeneratorių. Jame slėgis mažesnis ir tirpalą kaitinant desorbuojasi anglies dioksido dujos. Vykstančios reakcijos [15, 17]:



kur R- grupė HOCH₂CH₂, R' - grupė NH(CH₂CH₂)₂



BASF korporacija sukūrė MDEA valymo technologiją, o pirmasis agregatas paleistas Vokietijoje 1971 metais. Technologija susilaukė pasisekimo dėl gerų rezultatų, buvo gana lengvai perdaroma ir pritaikoma iš panašių technologijų, todėl 2002 metais dujų srautai aktyvuoto MDEA technologija buvo valomi daugiau nei 140 gamyklose ir dar per 20 agregatų buvo statoma. Apie 75 iš šių gamyklų yra modifikuotos ar modifikuojamos į MDEA iš buvusių Benfield, DEA, ir t.t. dujų valymo technologijų [15, 17].

2. BENDRAS DARBO APIBŪDINIMAS IR PAGRINDINIAI RODIKLIAI

Atliekamas konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ agregato įvertinimas ir rekonstrukcija, eksploatuojamo AB "Achema" įmonėje, kuri įsikūrusi Jonalaukio kaime, Jonavos rajone. Amoniakos ceche konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologija yra vienas iš daugelio amoniako gamybos etapų. Kadangi minėtas cechas egzistuoja, nėra būtinybės projektuoti ir spręsti atitinkamų komunikacinių sistemų atvedimo, žaliavų tiekimo, kitų skyrių pastatų projektavimo, produkcijos realizavimo, transportavimo klausimų. Renovacija atliekama tame pačiame MDEA valymo skyriuje, kuriame technologiniai įrengimai jau yra išdėstyti ir eksploatuojami. Dėl šios priežasties įdiegiant naujus įrenginius ir technologinius sprendimus, bet išlaikant senąjį išdėstymą, nereikia nuo pat pagrindų perprojektuoti technologinę liniją.

Konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologijos paskirtis yra MDEA tirpalu išvalyti po II laipsnio CO konvertoriaus tiekiamą dujų srautą, taip pašalinant nepageidaujamą ir žalingą katalizatoriams anglies dioksidą, ruošiant išvalytas dujas amoniako sintezei.

Amoniakas yra kertinis cheminis junginys gaminant azoto rūgštį bei daugelį azotinių trąšų, tokias kaip amonio nitratas, karbamidas, kalcio amonio nitratas, skystą karbamido ir amonio salietros tirpalą (KAS) ar gaminant AdBlue. Konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ procese prie pagrindinių naudojamų žaliavų priskiriamas nevalytas konvertuotų dujų srautas, MDEA ir piperazino tirpalas, garai. Technologijos tikslinis produktas yra išvalytos dujos, o šalutinis produktas anglies dioksidas naudojamas kaip žaliava karbamido gamyboje.

Esminis tikslas modernizuojant valymo technologiją yra cirkuliuojančio MDEA tirpalo srauto mažinimas, kurio kiekis atsispindi šiluminės energijos poreikiui ir kaštams. Konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ procesas paremtas absorbcijos-desorbcijos principu, kuomet atsižvelgiant į dujų tirpumo ypatybes absorbcija vykdoma mažoje temperatūroje ir dideliame slėgyje, o desorbcija atvirkščiai - aukštoje temperatūroje ir mažame slėgyje. Desorbcija vykdoma regeneroriuje, MDEA tirpalą regeneruojant aukštoje temperatūroje, taip desorbuojantis iš tirpalo CO₂ dujoms. Šis regeneracijos etapas reikalauja didelių šiluminės energijos kiekių tirpalui kaitinti iki reikiamos temperatūros, kuri gaunama rekuperuojant karštą konvertuotų dujų srauto šiluminę energiją, o likusi pagrindinė dalis šiluminės energijos gaunama garų pavidalu. Gamtinės dujos, kurios yra esminė žaliava amoniako gamyboje vandeniliui išskirti, taipogi panaudojamos kaip šiluminės energijos išgavimo šaltinis gaminant garus. Dėl šios priežasties priimtas sprendimas renovuoti technologiją įdiegiant promdesorberio aparatą bei optimizuojant MDEA tirpalo sudėtį, kuri leidžia sumažinti MDEA tirpalo srauto kiekį, tuo pačiu metu išlaikant reglamentines išvalyto dujų srauto normas ir sumažinti šiluminės energijos kaštus.

Renovuojant konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologinę liniją remtasi eksperimentiniais duomenimis ir tyrimais, proceso modeliavimu. Atliekant darbą buvo įvertinami opūs aplinkosauginiai aspektai, statybiniai sprendimai, darbuotojų saugos ir sveikatos klausimai, finansiniai projekto aspektai. Atlikus finansinių ir ekonominių skaičiavimų dalį nustatytas palankus ir efektyvus projekto finansinių investicijų tikslas, o pagrindiniai projekto prieš ir po renovacijos rodikliai pateikiami 3 lentelėje.

3 lentelė. Projekto pagrindiniai rodikliai

Rodikliai	<i>Prieš rekonstrukciją</i>	<i>Po rekonstrukcijos</i>	Pokytis
Pardavimo apimtis, t	545000	545000	-
Pardavimų pajamos, mln. Eur	300,64	299,79	0,85
Įmonės personalas, žmonėmis			
Iš to skaičiaus darbininkai	12	12	-
Darbo našumas, mln. Eur			
Darbininko	0,76	0,76	-
Gamybos kaštai, mln. Eur	246,84	232,02	14,82
Gaminio pilnoji savikaina, Eur	551,65	550,07	1,58
Grynasis pelnas, mln. Eur	12,17	26,03	13,86
Papildomas pelnas, gautas įgyvendinus projektinius sprendimus		13,90	13,90
Investicijų apimtis, mln.Eur		1,15	1,15
Produkcijos pelningumas, %	5	11	6
Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas, metais	-	1,56	1,56
Kapitalo kaštai, %	-	7,27	7,27
Vidinė pelno norma, %	-	79,1	79,91
Pelningumo indeksas	-	9,48	9,48

2.1. Pradinė padėtis

Projektas atliekamas jau egzistuojančiam ir eksploatuojamam AB “Achema” agregatui amoniako ceche. Pertvarkoma konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologinė linija. Pagrindinis tikslas atliekant technologijos renovaciją yra sumažinti regeneracijai reikalingos šiluminės energijos kiekį. Sumažinamas cirkuliuojančio MDEA tirpalo srautas, tačiau išlaikomi valomo dujų srautų reglamentiniai reikalavimai, kadangi sekančiame amoniako gamybos etape vykstanti metanavimo reakcija yra stipriai egzoterminė ir išvalytų dujų sudėtyje viršijant CO ir CO₂ normas reakcija gali tapti nebesuvaldoma.

Renovacija atliekama į technologinę liniją įdiegiant promdesorberį, kuriame atliekama dalinė tirpalo regeneracija slėgio numetimo būdu, bei optimizuojama MDEA tirpalo sudėtis siekiant pagerinti absorbcines ir desorbcines tirpalo savybes. Inžineriniai sprendimai leidžia sumažinti cirkuliuojančio tirpalo kiekį, jam kaitinti reikia mažiau šiluminės energijos, todėl proporcingai krenta gamtinių dujų, kaip šiluminės energijos šaltinio, poreikis ir sumažinami tiesioginiai kaštai šiluminei energijai. Taipogi mažėja MDEA tirpalo siurblio apkrovimas, sutaupant elektros energijos.

2.2. Žaliavų zonos charakteristika ir materialinio aprūpinimo pagrindas

Konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologijoje naudojamos žaliavos yra nevalytas konvertuotų dujų srautas, MDEA ir piperazino tirpalas. Šiluminė energija skaičiuojama per gamtinių dujų išraišką. Ši technologija naudojama amoniako gamyboje, susidedančioje iš daugelio etapų, iš kurių viename susidaro konvertuotos dujos. Kadangi kiekvienas etapas glaudžiai siejasi tarpusavyje, konvertuotų dujų valymo CO₂ technologijos materialinio aprūpinimo ekonominių skaičiavimų įvertinimui priskiriamas amoniako gamyboje naudojamas gamtinių dujų kiekis, kad būtų galima palyginti projekto įtaką produktui.

2.3. Gamybinio pajėgumo ir gamybinės programos pagrindimas

Technologinės linijos atnaujinimas numatomas išlaikant tokį patį valomų dujų našumą kaip ir prieš rekonstrukciją. MDEA tirpalo sunaudojimas yra mažas ir neesminis, todėl priimama, kad rekonstrukcija nėra orientuota į žaliavos sunaudojimo kiekį, tačiau tikslas yra sumažinti energetinį poreikį. Kadangi produkto nėra pagaminama daugiau, projektu ketinama gerinti tiesioginių išlaidų energetinėms reikmėms ekonomiją. Atlikus rekonstrukciją sukurti papildomas darbo vietas būtinybės nėra, todėl darbo užmokestis darbininkams išlieka toks pats. Cecho gamybinei programai per metus numatomos 344 nuolatinės gamybos dienos, o likusios 3 savaitės paskiriamos cecho remontui ir nenumatytoms prastovoms.

2.4. Statybos aikštelės charakteristika ir pagrindimas

MDEA valymo skyriaus technologinės linijos renovacija atliekama akcinėje bendrovėje “Achema”, amoniako ceche naudojamai technologijai. Įmonė įsikūrusi Jonalaukio kaime, Ruklos seniūnijoje, Jonavos rajone. Teritorija, kurioje įmonė įkurta, yra itin palankioje geografinėje vietoje įvairiais logistiniais, aplinkosauginiais, darbo išteklių, technologiniais ir kitais aspektais.

Teritorija nutolusi per 6 km į rytus nuo Jonavos miesto, kuriame potencialiai gyvena visi reikalingi darbuotojai gamyklai. Sklypas pakankamai nutolęs nuo miesto, kad nekeltų aplinkosauginių problemų, kita vertus dažniausiai vyrauja priešingas miesto kryptiniai vėjai, kuris nupučia ir neatitiktinius teršalų išmetimus leidimo ar stojimo metu. Gamyklai reikalingas dirbantis personalas taipogi gali būti pritrauktas iš antro pagal dydį Lietuvos miesto Kauno, kuris nuo gamyklos nutolęs per 30 km. Čia pat už 0,5 km, nuo įvažiavimo į teritoriją, driekiasi A6 magistralinis kelias, palengvinantis logistinius sprendimus. Įmonės teritorija taipogi išraizgyta geležinkelių bėgiais, leidžiančiais gabenti masyvius produkcijos kiekius. Įmonės teritorijoje įrengtos išasfaltuotos gatvės lengvajam ir sunkiajam transportui, taipogi 2 m pločio šaligatviai darbuotojams, kurie atitinkamą cechą turi pasiekti pėsčiomis. Sklypo reljefas nėra pelkėtas, o šalia teritorijos besidriekianti neries upė yra puikus visai gamyklai reikalingo vandens šaltinis.

3. TIRIAMOJI DALIS

Skaičiavimai atlikti pasinaudojus AB „Achema“ gamybiniais duomenimis, valomas iš II-o laipsnio CO konvertoriaus ištekantis dujų srautas nuo CO₂.

3.1. Medžiagų balanso skaičiavimai absorberiu ir regeneratoriui be promdesorberio.

Duomenys:

Konvertuotų dujų srautas V_{KD} : 203000 m³/h

Dujų srauto koncentracinė sudėtis: CO₂ – 17,55 %, CO – 0,55 %, N₂ – 19,76 %, H₂ – 61,58 %, CH₄ – 0,31 %, Ar – 0,3 %

Išvalytose dujose CO₂: 0,01 % ($c_{CO_2 po}$)

MDEA tirpalo sudėtis: c_{MDEA} =50 %, $c_{\text{piperazino}}$ =5 %, c_{H_2O} =45 %

MDEA tirpalo tankis $\rho_{MDEA \text{tirp}}$: 1,043 kg/l

MDEA tirpale be CO₂ taipogi ištirpsta: 36 m³/h CO bei 684 m³/h H₂ dujų

MDEA tirpalas prisotinamas iki: 75 g/l

MDEA tirpalas regeneruojamas iki: 1 g/l

Apskaičiuojame kiekvieno įtekančio komponento tūrinį debitą prieš valymą absorberioje $V_{\text{prieš}}$, pasinaudojant konvertuotų dujų srauto koncentracine sudėtimi.

$$V_{CO_2 \text{ prieš}} = \frac{V_{KD} \cdot c_{CO_2}}{100 \%} = \frac{203000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 17,55 \%}{100 \%} = 35626,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{CO \text{ prieš}} = \frac{V_{KD} \cdot c_{CO}}{100 \%} = \frac{203000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,55 \%}{100 \%} = 1116,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{N_2 \text{ prieš}} = \frac{V_{KD} \cdot c_{N_2}}{100 \%} = \frac{203000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 19,76 \%}{100 \%} = 40112,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{H_2 \text{ prieš}} = \frac{V_{KD} \cdot c_{H_2}}{100 \%} = \frac{203000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 61,58 \%}{100 \%} = 125007,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{CH_4 \text{ prieš}} = \frac{V_{KD} \cdot c_{CH_4}}{100 \%} = \frac{203000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,31 \%}{100 \%} = 629,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{Ar \text{ prieš}} = \frac{V_{KD} \cdot c_{Ar}}{100 \%} = \frac{203000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0,3 \%}{100 \%} = 507,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Komponentų tūrio debitai prieš valymą perskaičiuojami į masės debitus prieš valymą $G_{\text{prieš}}$.

$$G_{CO_2 \text{ prieš}} = V_{CO_2 \text{ prieš}} \cdot \frac{M_{CO_2}}{V_m} = 35626,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{44 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 69980,63 \text{ kg/h}$$

$$G_{CO \text{ prieš}} = V_{CO \text{ prieš}} \cdot \frac{M_{CO}}{V_m} = 1116,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{28 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 1395,63 \text{ kg/h}$$

$$G_{N_2 \text{ prieš}} = V_{N_2 \text{ prieš}} \cdot \frac{M_{N_2}}{V_m} = 40112,8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{28 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 50141 \text{ kg/h}$$

$$G_{H_2 \text{ prieš}} = V_{H_2 \text{ prieš}} \cdot \frac{M_{H_2}}{V_m} = 125007,4 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{2 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 11161,38 \text{ kg/h}$$

$$G_{CH_4 \text{ prieš}} = V_{CH_4 \text{ prieš}} \cdot \frac{M_{CH_4}}{V_m} = 629,3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{16 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 449,5 \text{ kg/h}$$

$$G_{Ar \text{ prieš}} = V_{Ar \text{ prieš}} \cdot \frac{M_{Ar}}{V_m} = 507,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{40 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 906,25 \text{ kg/h}$$

Skaičiuojame po absorbcijos pakitusius ištekančių dujų srauto komponentų tūrinius debitus V_{po} , įvertinant ištirpusių komponentų tūrius $V_{išt}$. Tam tikslui priimame, kad MDEA tirpale be CO_2 taipogi ištirpsta $684 \text{ m}^3/\text{h}$ H_2 dujų bei $36 \text{ m}^3/\text{h}$ CO . Ištekančiame sraute iš absorberio CO_2 lieka $0,01 \%$ ($c_{CO_2 po}$).

$$V_{CO po} = V_{CO \text{ prieš}} - V_{CO \text{ išt}} = 1116,5 \text{ m}^3/\text{h} - 36 \text{ m}^3/\text{h} = 1080,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{H_2 po} = V_{H_2 \text{ prieš}} - V_{H_2 \text{ išt}} = 125007,4 \text{ m}^3/\text{h} - 684 \text{ m}^3/\text{h} = 124323,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

Skaičiuojame visą ištekančią iš absorberio dujų srauto tūrinį debitą be CO_2 , kadangi apskaičiuojame pakitusius ištekančių dujų srauto komponentų tūrinius debitus po absorbcijos V_{po} .

$$V_{po \text{ be } CO_2} = V_{CO po} + V_{N_2 po} + V_{H_2 po} + V_{CH_4 po} + V_{Ar po} = 1080,5 + 40112,8 + 124323,4 + 629,3 + 507,5 = 166653,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Skaičiuojame išvalytų dujų sraute po absorbcijos likusį CO_2 tūrinį debitą.

$$V_{CO_2 po} = \frac{V_{po \text{ be } CO_2} \cdot c_{CO_2 po}}{100 - c_{CO_2 po}} = \frac{166653,5 \cdot 0,01}{100 - 0,01} = 16,67 \text{ m}^3/\text{h}$$

Perskaičiuojame išvalytų dujų komponentus į masės debitus iš nustatytų tūrinių debitų.

$$G_{CO_2 po} = V_{CO_2 po} \cdot \frac{M_{CO_2}}{V_m} = 16,67 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{44 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 32,74 \text{ kg/h}$$

$$G_{CO po} = V_{CO po} \cdot \frac{M_{CO}}{V_m} = 1080,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{28 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 1350,63 \text{ kg/h}$$

$$G_{N_2 po} = V_{N_2 po} \cdot \frac{M_{N_2}}{V_m} = 40112,8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{28 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 50141 \text{ kg/h}$$

$$G_{H_2 po} = V_{H_2 po} \cdot \frac{M_{H_2}}{V_m} = 124323,4 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{2 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 11100,3 \text{ kg/h}$$

$$G_{CH_4 po} = V_{CH_4 po} \cdot \frac{M_{CH_4}}{V_m} = 629,3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{16 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 449,5 \text{ kg/h}$$

$$G_{Ar_{po}} = V_{Ar_{po}} \cdot \frac{M_{Ar}}{V_m} = 507,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{40 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 906,25 \text{ kg/h}$$

MDEA tirpalo sudėtis masės procentais yra $c_{MDEA}=50\%$, $c_{\text{piperazino}}=5\%$, $c_{H_2O}=45\%$, o tirpalo tankis $\rho_{MDEA_{tirp}}=1,043 \text{ kg/l}$. Priimame, kad MDEA tirpalas po absorbcijos prisotinamas iki 75 g/l , o tirpale po regeneracijos lieka 1 g/l ištirpusių dujų. Galima apskaičiuoti MDEA tirpalo absorbuojamą CO_2 kiekį.

$$c_{CO_2 \text{ absorbuotas}} = c_{CO_2 \text{ po absorb}} - c_{CO_2 \text{ prieš absorb}} = 75 - 1 = 74 \text{ g/l}$$

Apskaičiuojamas reikalingas MDEA tirpalo kiekis pilnai absorbuoti valomų konvertuotų dujų srautui, žinant tirpalo absorbcinį pajėgumą.

$$G_{CO_2 \text{ absorbuotas}} = G_{CO_2 \text{ prieš}} - G_{CO_2 \text{ po}} = 69980,63 - 32,74 = 69947,89 \text{ kg/h}$$

$$V_{MDEA_{tirp}} = \frac{G_{CO_2 \text{ absorbuotas}}}{c_{CO_2 \text{ absorbuotas}}} \cdot 1000 = \frac{69947,89}{74} \cdot 1000 = 945242 \text{ l/h}$$

$$G_{MDEA_{tirp}} = V_{MDEA_{tirp}} \cdot \rho_{MDEA_{tirp}} = 945242 \cdot 1,043 = 985887 \text{ kg/h}$$

Toliau skaičiuojamas kiekvieno MDEA tirpalo komponento masės debitas bei koks kiekis ištirpusio CO_2 lieka po regeneracijos.

$$G_{MDEA} = \frac{G_{MDEA_{tirp}} \cdot c_{H_2}}{100\%} = \frac{985887 \cdot 50}{100\%} = 492944 \text{ kg/h}$$

Sudaromas absorberio medžiagų balansas iš apskaičiuotų įtekančių bei ištekančių srautų tūrio ir masės debitų duomenų.

4 lentelė. Absorberio medžiagų balansas

Įtekančias srautas				Ištekančias srautas			
Valomos dujos				Išvalytos dujos			
Komponentas	V, m ³ /h	G, kg/h	c, %	Komponentas	V, m ³ /h	G, kg/h	c, %
CO ₂	35626,50	69980,63	17,55	CO ₂	16,67	32,74	0,01
CO	1116,50	1395,63	0,55	CO	1080,50	1350,63	0,65
N ₂	40112,80	50141,00	19,76	N ₂	40112,80	50141,00	24,07
H ₂	125007,40	11161,38	61,58	H ₂	124323,40	11100,30	74,59
CH ₄	629,30	449,50	0,31	CH ₄	629,30	449,50	0,38
Ar	507,50	906,25	0,25	Ar	507,50	906,25	0,30
MDEA tirpalas prieš absorbciją				MDEA tirpalas po absorbcijos			
Komponentas	G, kg/h		c, %	Komponentas	G, kg/h		c, %
CO ₂	958,8		0,10	CO ₂	69947,89		6,62
MDEA	492944		49,95	CO	45,01		0,01
H ₂ O	443649		44,96	H ₂	61,08		0,01
Piperazinas	49294		5,00	MDEA	492944		45,67
				H ₂ O	443649		42,01
				Piperazinas	49294		4,67

$$G_{H_2O} = \frac{G_{MDEA_{tirp}} \cdot c_{H_2O}}{100 \%} = \frac{985887 \cdot 45}{100 \%} = 443649 \text{ kg/h}$$

$$G_{\text{piperazinas}} = \frac{G_{MDEA_{tirp}} \cdot c_{\text{piperazino}}}{100 \%} = \frac{736925,71 \cdot 5}{100 \%} = 49294 \text{ kg/h}$$

$$G_{CO_2 \text{ likęs}} = \frac{G_{MDEA_{tirp}} \cdot c_{CO_2 \text{ prieš absorb}}}{1000} = 985,8 \text{ kg/h}$$

Iš absorberio ištekančias srautas yra lygus srautui, įtekančiam į regeneratorių. Iš regeneratoriaus ištekančias MDEA tirpalo srautas lygus į absorberį įtekančiam. Priimame, kad regeneracijos metu pilnai desorbuojasi visi ištirpę komponentai MDEA tirpale, išskyrus CO₂. Skaičiuojame desorbuoto CO₂ kiekį. Taipogi priimame, kad regeneratoriuje nebus vandens bei MDEA tirpalo komponentų nuostolių.

$$G_{CO_2 \text{ desorbavo}} = G_{CO_2 \text{ absorbuotas}} - G_{CO_2 \text{ likęs}} = 69947,89 - 706,54 = 69241,35 \text{ kg/h}$$

$$V_{CO_2 \text{ desorbavo}} = G_{CO_2 \text{ desorbavo}} \cdot \frac{V_m}{M_{CO_2}} = 69241,35 \cdot \frac{22,4}{44} = 35250,14 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sudaromas regeneratoriaus įtekančių ir ištekančių srautų medžiagų balansas.

5 lentelė. Regeneratoriaus medžiagų balansas

Įtekančias srautas			Ištekančias srautas			
MDEA tirpalas prieš regeneraciją			MDEA tirpalas po regeneracijos			
Komponentas	G, kg/h	c, %	Komponentas	G, kg/h	c, %	
CO ₂	69947,89	6,62	CO ₂	958,8	0,10	
CO	45,01	0,01	MDEA	492944	49,95	
H ₂	61,08	0,01	H ₂ O	443649	44,96	
MDEA	492944	45,67	Piperazinas	49294	5,00	
H ₂ O	443649	42,01				
Piperazinas	49294	4,67				
Dujos prieš regeneratorių			Dujos po regeneratoriaus			
			Komponentas	V, m ³ /h	G, kg/h	c, %
			CO ₂	35250,14	69241,35	98,00
			CO	36,01	45,01	0,10
			H ₂	684,10	61,08	1,9

Po skaičiavimų matyti, kad išvalyti dujų srautą nuo CO₂ teoriškai reikės 945,2 m³/h cirkuliuojančio MDEA tirpalo visoms dujoms absorbuoti. Kaip bebūtų, tai yra teoriniai skaičiai, kurie realybėje dėl įvairių dinaminių sąlygų gali skirtis. Dėl šios priežasties, Amoniako cecho MDEA valymo skyriaus reglamentuose nurodomas maksimalus MDEA tirpalo cirkuliacinis kiekis, susumavus abu 450 bei 650 m³/h srautus, siekia 1100 m³/h.

Sumodeliavus technologiją Aspen HYSYS V9 aplinkoje analogiškais skaičiais, gaunamas 978,5 m³/h absorbcijai reikalingas MDEA tirpalo cirkuliacinis srautas, kurie nedaug skiriasi nuo teoriškai apskaičiuotų. Šį realų srautą kiek įmanoma labiau sumažinus būtų sutaupoma didelis kiekis energijos, reikalingos tirpalą kaitinti regeneracijos etape.

3.2. Medžiagų balanso skaičiavimai absorberiu ir regeneratoriui su promdesorberiu.

Norint apskaičiuoti medžiagų balansą į technologiją įdiegus promdesorberį, naudojama ta pati skaičiavimo metodika. Kadangi iš promdesorberio desorbavusi nešvari dujų frakcija nukreipiama į regeneratorių, priimama, kad medžiagų srautai neišsiskiria ir medžiagų balansas regeneratoriui skaičiuojamas bendras. Pasinaudojus žinynais ir eksperimentiniais duomenimis įvedami tam tikri duomenų pakeitimai absorbuojančio tirpalo savybėms gerinti, tačiau skaičiavimai atliekami identiška.

Duomenys su pakeitimais:

Išvalytose dujose CO₂: 0,02 % (c_{CO₂ po})

MDEA tirpalo sudėtis: c_{MDEA}=38 %, c_{piperazino}=10 %, c_{H₂O}=52 %

MDEA tirpalo tankis ρ_{MDEA tirp}: 1023 kg/l

MDEA tirpale be CO₂ taipogi ištirpsta: 1,16 m³/h CO bei 162,4 m³/h H₂ dujų

MDEA tirpalas prisotinamas iki: 100 g/l

MDEA tirpalas regeneruojamas iki: 1 g/l

Apskaičiavus įtekančių bei ištekančių srautų tūrio ir masės debitus, sudarome absorberio medžiagų balansą.

Kadangi ištekančiame sraute iš absorberio CO₂ lieka 0,02 % (c_{CO₂ po}), o MDEA tirpale be CO₂ taipogi ištirpsta 1,16 m³/h CO bei 162,4 m³/h H₂ dujų, atitinkami skaičiavimai:

$$V_{CO_{po}} = V_{CO_{prieš}} - V_{CO_{išt}} = 1116,5 \text{ m}^3/\text{h} - 1,16 \text{ m}^3/\text{h} = 1115,3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_{H_2_{po}} = V_{H_2_{prieš}} - V_{H_2_{išt}} = 125007,4 \text{ m}^3/\text{h} - 162,4 \text{ m}^3/\text{h} = 124845 \text{ m}^3/\text{h}$$

Apskaičiavus pakitusius ištekančių dujų srauto komponentų tūrinius debitus po absorbcijos V_{po}, skaičiuojame visą ištekančią iš absorberio dujų srauto tūrinį debitą be CO₂.

$$V_{po \text{ be } CO_2} = V_{CO_{po}} + V_{N_2_{po}} + V_{H_2_{po}} + V_{CH_4_{po}} + V_{Ar_{po}} = 1115,3 + 40112,8 + 124845 + 629,3 + 507,5 = 167209,9 \text{ m}^3/\text{h}$$

Skaičiuojame išvalytų dujų sraute po absorbcijos likusį CO₂ tūrinį debitą.

$$V_{CO_2_{po}} = \frac{V_{po \text{ be } CO_2} \cdot c_{CO_2_{po}}}{100 - c_{CO_2_{po}}} = \frac{167209,9 \cdot 0,02}{100 - 0,02} = 33,44 \text{ m}^3/\text{h}$$

Nustačius išvalytų dujų komponentų tūrinius debitus, juos perskaičiuojame į masės debitus.

$$G_{CO_2_{po}} = V_{CO_2_{po}} \cdot \frac{M_{CO_2}}{V_m} = 33,44 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{44 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 65,68 \text{ kg/h}$$

$$G_{CO_{po}} = V_{CO_{po}} \cdot \frac{M_{CO}}{V_m} = 1115,3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{28 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 1394,1 \text{ kg/h}$$

$$G_{H_2_{po}} = V_{H_2_{po}} \cdot \frac{M_{H_2}}{V_m} = 124845 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{2 \text{ kg/kmol}}{22,4 \text{ m}^3/\text{kmol}} = 11147 \text{ kg/h}$$

Žinodami MDEA tirpalo absorbcinį pajėgumą galima apskaičiuoti kokio kiekio MDEA tirpalo reikės pilnai absorbuoti valomų konvertuotų dujų srautui.

$$G_{CO_2 \text{ absorbuotas}} = G_{CO_2 \text{ prieš}} - G_{CO_2 \text{ po}} = 69980,63 - 65,68 = 69915 \text{ kg/h}$$

$$V_{MDEA \text{ tirp}} = \frac{G_{CO_2 \text{ absorbuotas}}}{C_{CO_2 \text{ absorbuotas}}} \cdot 1000 = \frac{69915}{99} \cdot 1000 = 706212 \text{ l/h}$$

$$G_{MDEA \text{ tirp}} = V_{MDEA \text{ tirp}} \cdot \rho_{MDEA \text{ tirp}} = 706212 \cdot 1,023 = 722455 \text{ kg/h}$$

Apskaičiavus absorbcijai reikalingo MDEA tirpalo masės debitą, toliau skaičiuojame kiekvieno MDEA tirpalo komponento masės debitą bei koks kiekis ištirpusio CO₂ lieka po regeneracijos.

$$G_{MDEA} = \frac{G_{MDEA \text{ tirp}} \cdot c_{H_2}}{100 \%} = \frac{722455 \cdot 38}{100 \%} = 274533 \text{ kg/h}$$

$$G_{H_2O} = \frac{G_{MDEA \text{ tirp}} \cdot c_{H_2O}}{100 \%} = \frac{722455 \cdot 52}{100 \%} = 375677 \text{ kg/h}$$

$$G_{\text{piperazinas}} = \frac{G_{MDEA \text{ tirp}} \cdot c_{\text{piperazino}}}{100 \%} = \frac{715444 \cdot 10}{100 \%} = 72245 \text{ kg/h}$$

$$G_{CO_2 \text{ likęs}} = \frac{G_{MDEA \text{ tirp}} \cdot c_{CO_2 \text{ prieš absorb}}}{1000} = 722,4 \text{ kg/h}$$

Sudaromas absorberio medžiagų balansas iš apskaičiuotų įtekančių bei ištekančių srautų tūrio ir masės debitų duomenų.

6 lentelė. Absorberio medžiagų balansas

Įtekantis srautas				Ištekantis srautas			
Valomos dujos				Išvalytos dujos			
Komponentas	V, m ³ /h	G, kg/h	c, %	Komponentas	V, m ³ /h	G, kg/h	c, %
CO ₂	35626,50	69980,63	17,55	CO ₂	33,44	65,68	0,02
CO	1116,50	1395,63	0,55	CO	1115,3	1394,1	0,67
N ₂	40112,80	50141,00	19,76	N ₂	40112,80	50141,00	23,98
H ₂	125007,40	11161,38	61,58	H ₂	124845	11147	74,65
CH ₄	629,30	449,50	0,31	CH ₄	629,30	449,50	0,38
Ar	507,50	906,25	0,25	Ar	507,50	906,25	0,30
MDEA tirpalas prieš absorbciją				MDEA tirpalas po absorbcijos			
Komponentas	G, kg/h		c, %	Komponentas	G, kg/h		c, %
CO ₂	722,4		0,10	CO ₂	69915		8,9
MDEA	274533		37,96	CO	1,45		0,01
H ₂ O	375677		51,95	H ₂	14,5		0,01
Piperazinas	72245		5,00	MDEA	274533		34,61
				H ₂ O	375677		47,36
				Piperazinas	72245		9,11

Analogiškai skaičiuojamas regeneratoriaus įtekančių ir ištekančių srautų medžiagų balansas, sudaroma lentelė.

$$G_{CO_2 \text{ desorbavo}} = G_{CO_2 \text{ absorbuotas}} - G_{CO_2 \text{ likęs}} = 69915 - 715,5 = 69199,5 \text{ kg/h}$$

$$V_{CO_2 \text{ desorbavo}} = G_{CO_2 \text{ desorbavo}} \cdot \frac{V_m}{M_{CO_2}} = 69199,5 \cdot \frac{22,4}{44} = 35228,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sudaromas regeneratoriaus įtekančių ir ištekančių srautų medžiagų balansas.

7 lentelė. Regeneratoriaus medžiagų balansas

Įtekantis srautas			Ištekantis srautas			
MDEA tirpalas prieš regeneraciją			MDEA tirpalas po regeneracijos			
Komponentas	G, kg/h	c, %	Komponentas	G, kg/h	c, %	
CO ₂	69915,5	8,9	CO ₂	722,4	0,10	
CO	1,45	0,01	MDEA	274533	37,96	
H ₂	14,5	0,01	H ₂ O	375677	51,95	
MDEA	274533	34,61	Piperazinas	72245	9,99	
H ₂ O	375677	47,36				
Piperazinas	72245	9,11				
Dujos prieš regeneratorių			Dujos po regeneratoriaus			
			Komponentas	V, m ³ /h	G, kg/h	c, %
			CO ₂	35250,14	69199,5	99,53
			CO	1,16	1,45	0,01
			H ₂	162,4	14,5	0,46

Taigi, atlikus skaičiavimus pastebimas kiek didesnis 65,68 kg/h CO₂ kiekis išvalytose dujose, dėl kurio dujose po regeneratoriaus CO₂ sumažėja lygiai tiek pat. Kadangi parinkta MDEA tirpalo sudėtis technologijoje su promdesorberiu kitokia, pakitę jo komponentų medžiagų srautai.

Reikia pažymėti, kad sumažėja reikalingas MDEA tirpalo cirkuliacinis tūris absorbuoti dujoms, jo reikia 706,2 m³/h. Tai yra 239 m³/h skirtumas lyginant teorinius skaičius su senąja MDEA valymo technologija. Dėl šios priežasties galima tvirtai teigti, kad mažesnis cirkuliacinis srautas atspindės mažesniems energijos kaštams MDEA tirpalo kaitinimui virintuvuose.

Tinkamai įvertinti technologinio patobulinimo hipotezę ir jo pritaikymą, taipogi įvertinti proceso rodiklius dinaminėse sąlygose, būtina patobulinimą su promdesorberiu sumodeliuoti Aspen HYSYS aplinkoje.

4. INŽINERINĖ DALIS

4.1. Konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologinis procesas

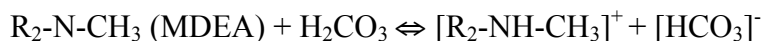
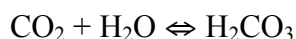
Technologinė konvertuotų dujų valymo MDEA tirpalu schema su technologiniais pakeitimais pateikta priede nr. 1 A1 formatu. Promdesorberio brėžinys pateikiamas priede nr. 2 A1 formatu.

4.1.1. Konvertuotų dujų aušinimas

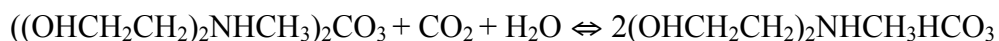
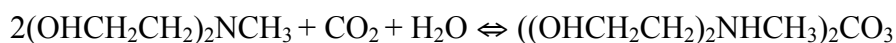
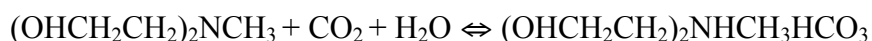
Po II-o laipsnio CO konvertoriaus dujų sraute yra apie 18 % CO₂, srautas prieš valymą pirmiausiai ataušinamas. Toks neaukštesnės nei 180 °C temperatūros ir 2,9 MPa slėgio dujų srautas, patenka į dujinius virintuvus 3. Tuo pat metu N-metildietanolamino (MDEA) tirpalas, esantis dujinių virintuvų 3 ertmėje, užvirinamas vamzdeliais pratekančiomis konvertuotomis dujomis, joms atvėstant iki 127 °C. Po to konvertuotos dujos nukreipiamos į separatorių 5. Separatoriuje 5 atskiriama konvertuotose dujose esanti drėgmė. Po separatoriaus 5 konvertuotos dujos vėsinašamos amoniakinio aušinimo įrenginyje 5 iki 125 °C. Dujos toliau praeina eilę aušinimo etapų: šilumokaitį 7, kur atvėsinašamos iki 100 °C, nudruskinto vandens pašildytuvą 8 iki 60 °C, kol galiausiai iki 50 °C atvėsinašamos oriniame aušintuve 9. Iš dujų atskiriamas susidaręs kondensatas vėsinašimo metu separatoriuje 10. Šitoks 50 °C temperatūros ir 2,9 MPa slėgio konvertuotų dujų srautas paruoštas absorbcijai ir iš separatoriaus 10 nukreipiamas į absorberį poz.1 po apatine lėkšte.

4.1.2. CO₂ absorbcija MDEA tirpalu iš konvertuotų dujų

CO₂ absorbcija iš konvertuotų dujų vyksta absorberyje 1. Absorberis 1 laistomas 38 % koncentracijos, 50 °C temperatūros MDEA tirpalu, paspartinti reakcijų greitį vandeninis MDEA tirpalas aktyvuotas 10 % piperazino. Konvertuotos dujos kildamos aukštyn absorberiu 1, kontaktuoja su tirpalu. Rekomenduojama ne didesnis nei 3 °C tiekiamų į absorberį 1 konvertuotų dujų ir MDEA tirpalo temperatūrų skirtumas, jis turi būti kuo vienodesnis. Aparatas yra vertikali kolona, kurioje įrengta 15 perforuotų lėkščių su persipylimo vamzdžiais. Ant perforuotų lėkščių vykstant procesui susidaro aukštas MDEA tirpalo sluoksnis, jų pagalba užtikrinama konvertuotų dujų ir MDEA tirpalo sąveika. Barbotuojant dujoms MDEA tirpale, šios kontaktuoja su juo ir taip CO₂ susijungia su tirpalu. Absorbento sugėrimo pajėgumas didėja mažėjant absorbento temperatūrai ir didėjant slėgiui, optimali absorbcijos temperatūra 35÷55 °C. Vykstančios reakcijos absorberyje 1:



kur R- grupė HOCH₂CH₂, R' - grupė NH(CH₂CH₂)₂



Konvertuotos dujos judėdamos per apatinę absorberio 1 dalį kontaktuoja su MDEA tirpalu, tiekiamu dviem srautais į 8 ir 15 absorberio lėkštes. Absorberis 1 padalintas į dvi sekcijas pagal dviejų srautų

schema: apatinę ir viršutinę. Antro srauto pilnai regeneruotas MDEA tirpalas, turintis 1 g/l CO₂ laisto viršutinę sekciją ir įsisotina iki 47 g/l CO₂. Tokio sotumo tirpalas bėga kolona per persipylimo lėkštes į apatinę sekciją, maišosi su pirmo srauto pilnai regeneruotu tirpalu, kol galutinai MDEA tirpalas prisotina iki 100 g/l CO₂ ir per lėkščių persipylimo vamzdžius subėga į kubinę absorberio dalį.

Konvertuotos dujos išvalomos nuo CO₂ iki ne daugiau kaip 450 ppm, prateka absorberyje 1 sumontuotas dvi gaubtelinės lėkštes, laistomas flegma tiekama siurbliu 22 iš flegmos rinktuvo 18. Taip sugaudomi MDEA tirpalo purslai. Tuomet dujos patenka į separatorių 11, atskirta drėgmė nubėga į absorberio 1 kubinę dalį. Konvertuotos dujos, išvalytos nuo CO₂, galiausiai nukreipiamos į metanavimo skyrių.

4.1.3. MDEA tirpalo regeneracija.

Iš absorberio 1 kubinės dalies teka 80 °C temperatūros ne daugiau 100 g/l CO₂ prisotintas MDEA tirpalas ir į regeneratorių 2 patenka dviem srautais.

I-as (šaltas apvadas) prisotinto MDEA tirpalo srautas nukreipiamas tiesiai į regeneratoriaus 2 desorberio viršutinę dalį.

II-as prisotinto MDEA tirpalo srautas pašildomas plokštėliniame šilumokaityje 12 iki 110 °C regeneruoto tirpalo šiluma. Tuomet tirpalas patenka į promdesorberį 13, o jame 110 °C temperatūroje ir sumažintame slėgyje iki 0,3 MPa vyksta dalinė CO₂ desorbcija iš MDEA tirpalo, t.y. išsiskiria anglies dioksido ir vandens garų mišinys, „nešvari CO₂ frakcija“. Su šia frakcija išsiskiria didžioji dalis H₂ ir CO, kuri absorberyje 1 dideliame slėgyje ištirpo MDEA tirpale. Nešvari frakcija iš promdesorberio 13 nukreipama į regeneratoriaus 11 desorberio apatinę dalį. Dalinai regeneruotas MDEA tirpalas iš promdesorberio 13 nukreipiamas ant 23-ios regeneratoriaus lėkštės.

Dėl mažesnio slėgio regeneratoriuje 2, kuris yra 0,07 MPa bei aukštos temperatūros, vyksta CO₂ desorbcija iš MDEA tirpalo. Regeneracijai reikalinga šiluma gaunama iš 180 °C temperatūros konvertuotų dujų dujiniuose virintuvuose 3 bei 0,35 MPa ir iki 163°C temperatūros garų virintuvuose 4. Kylantis garų ir dujų mišinys iš apatinės sekcijos šildo viršutinę sekciją, to dėka vyksta CO₂ desorbcija viršutinėje regeneratoriaus 2 dalyje - tarp 11-os ir 26-os lėkštės vykdoma dalinė prisotinto MDEA tirpalo regeneracija iki 50 g/l CO₂ kiekio tirpale. Apatinėje sekcijoje tirpalas susirenka ant apatinės aklinos lėkštės ir cirkuliuojant tarp dujinių 3 ir garinių virintuvų 4, galutinai regeneruojamas iki 1 g/l ištirpusio CO₂. Taip regeneratoriuje 2 pasigamina regeneruotas MDEA tirpalas.

4.1.4. Regeneruoto MDEA tirpalo tiekimas į absorberį

Iš regeneratoriaus 2 kubinės dalies išteka 125 °C temperatūros iki 1 g/l CO₂ regeneruotas MDEA tirpalas, kuris prieš absorbciją turi būti atvėsintas. Regeneruoto MDEA tirpalo srautas nukreipiamas į plokštelinį šilumokaity 12, kuriame pašildo priešpriešine eiga tekantį prisotinto MDEA tirpalo srautą, o pats atidavęs šilumą ataušinamas iki 85 °C. Po to regeneruotas MDEA tirpalas MDEA tirpalo siurbliu 14 suspaudžiamas ir tiekiamas galutiniam atvėsinimui iki 50 °C temperatūros į orinį aušintuvą 15 ir vandens aušintuvą 16. Taip atvėsintas regeneruotas MDEA tirpalas yra pilnai paruoštas naujam absorbcijos ciklui ir nukreipiamas į absorberį 1.

4.1.5. CO₂ dujų atskyrimas

Švarios CO₂ frakcijos atskyrimas. 0,07 MPa slėgio ir 85 °C temperatūros garų dujų mišinys, tekantis iš regeneratoriaus 2 viršutinės dalies, ataušinamas vandeniniame aušintuve 17 iki 40 °C temperatūros. Tuomet srautas patenka į separatorių-flegmos rinktuvą 18, jame atskiriama drėgmė. Iš flegmos rinktuvo 18 išteka CO₂ dujos. Dalis CO₂ dujų tiekama į karbamido cechą kaip žaliava, o perteklius šalinamas per CO₂ žvakę į atmosferą.

„Nešvarios“ CO₂ frakcijos atskyrimas. Iš promdesorberio 13 0,3 MPa slėgio dujų srautas patenka į regeneratoriaus 2 desorberį, laistomą iš absorberio 1 tiekiamu šaltu MDEA tirpalo srautu. Dujos, praėjusios tris persipylimo ir tris gaubtelines lėkštes bei separacinį įrenginį, patenka į orinį šaldytuvą 19, kuriame atvėsinašamos iki 40 °C. „Nešvari“ frakcija toliau patenka į separatorių 20, kur atskiriama drėgmė ir dujos per CO₂ žvakę metamos į atmosferą.

Flegma iš separatoriaus 20 suteka į flegmos rinktuvą 18. Flegma siurbliu 21 iš flegmos rinktuvo 18 tiekama regeneratoriaus 2 ir flegmos rinktuvo 18 gaubtelių lėkščių laistymui. Taipogi, siurbliu 22 flegma tiekama absorberio gaubtelių lėkščių laistymui arba pumpuojama į drenažinę talpą.

4.2. Technologiniai sprendimai

Projektuojant cheminės inžinerijos procesus, medžiagų balanso sudarymas yra vienas svarbiausių dalykų. Galima sakyti, kad medžiagų balansas apima visą procesą, kadangi sudarius šį balansą galima vertinti produkto kiekį, o pagal jį reikalingą žaliavų kiekį, įrenginių našumą ir jų parametrus, technologinius srautus. Naudojantis empiriniais duomenimis ir kita literatūra, suskaičiuoti medžiagų balansą galima patiems, kaip tai padaryta šio darbo tiriamojoje dalyje. Kita vertus, tai užima labai daug laiko, o neretai skaičiavimams komplikuojantis yra beveik neįmanoma. Taupant laiką ir resursus apskaičiuojant teorinius technologinius patobulinimus šiame technologijų amžiuje, daug efektyviau, greičiau ir patogiau pasinaudoti kompiuterine programine įranga, kuri gali atlikti milijardus skaičiavimų per sekundę. Egzistuoja nemažai programų, skirtų spręsti ir modeliuoti chemijos inžinerijos procesus. Vienos populiariausių: Aspen PLUS, Aspen HYSYS, CHEMCAD, UniSim Desing [23].

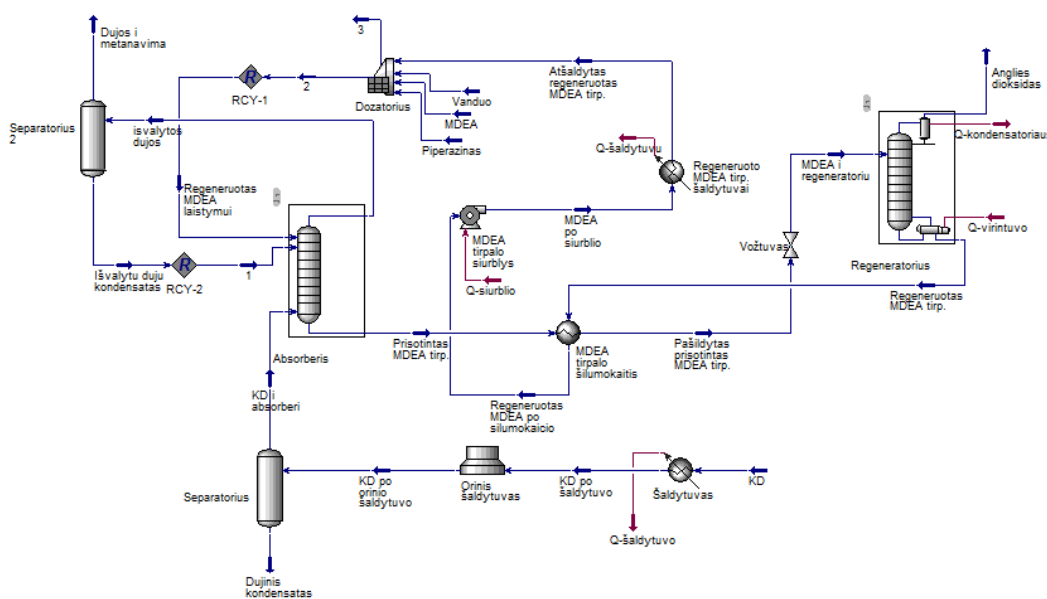
Skaičiuojant, vertinant ir modeliuojant konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologiją ir jos patobulinimą, buvo panautoas Aspen HYSYS V9 programinis paketas. Aspen HYSYS programos modeliavimas pagrįstas modeliais esančiais programoje, kurie įvertinami projektuojamos technologinės linijos masės ir energijos srautų balansais. Technologijos projektuojamos ir procesai optimizuojami ne vien pusiausvyrinėmis, o ir dinaminėmis sąlygomis.

Ieškant technologinių sprendimų, Aspen HYSYS aplinkoje sumodeliuota tokia pati MDEA valymo skyriaus technologinė linija, naudojama AB „Achema“ amoniako ceche. Modelis leidžia gauti realius dinaminis duomenis analizei, lyginimui, optimizavimui ir tobulinimui. Modeliavimas atliekamas programoje parinkus „Acid Gas – Chemical Solvents“ duomenų paketą.

Parinktas identiškas 203000 m³/h valomų konvertuotų dujų srautas pagal AB „Achema“ gamybinius duomenis, kurio sudėtis CO₂ – 17,55 %, CO – 0,55 %, N₂ – 19,76 %, H₂ – 61,58 %, CH₄ – 0,31 %, Ar – 0,3 %. Dujų sraute CO₂ 69980,63 kg/h. Konvertuotos dujos ataušinamos nuo 180 °C iki 50 °C, separuojama drėgmė ir 29 atm slėgiu nukreipiamos į absorberio apatinę dalį. Absorberis veikia esant 28,62 atm slėgiui, jame 17 perforuotų lėkščių. Ant antros perforuotos lėkštės nukreipiamas

absorbicijai reikalingas MDEA tirpalo srautas. Aspen HYSYS duomenimis, po reciklo funkcijos skaičiavimo, prireiks 978,5 m³/h cirkuliuojančio MDEA tirpalo CO₂ absorbicijai atlikti, kurio sudėtis masės dalimis 50 % MDEA, 5 % piperazino, 44,99 % H₂O ir 0,01 % CO₂. Tirpalas į absorberį tiekiamas 28,72 atm slėgiu ir 58,67 °C temperatūra. MDEA tirpalo komponentų masės debitai – 487759 kg/h MDEA, 48775 kg/h piperazino, 438259 kg/h H₂O ir 723,3 kg/h CO₂. Po absorbicijos iš absorberio viršutinės dalies išteka 28,62 atm slėgio 58,68 °C išvalytas dujų srautas, separuojama drėgmė grąžinama į absorberį. Išvalytame dujų sraute CO₂ 23 kg/h ir jo koncentracija 0,009 %. Iš absorberio išteka 92,3 °C temperatūros ir 28,72 atm slėgio prisotintas MDEA tirpalo srautas, kuriame absorbuotas bendras 70680 kg/h CO₂ kiekis. Tirpalas pašildomas MDEA tirpalo šilumokaityje priešpriešine kryptimi tekančiu regeneruoto tirpalo srautu iki 100 °C ir nukreipiamas ant 23 regeneratoriaus lėkštės. Regeneratorius turi 27 perforuotas lėkštes, veikia esant 0,7 atm slėgiui, o prisotintas MDEA tirpalas šildomas iki 125,6 °C regeneracijai atlikti. Regeneracijai prireikia papildomos 832200 MJ/h šiluminės energijos kiekio, atėmus rekuperuojamą konvertuotų dujų šilumos srautą. Iš regeneratoriaus viršutinės dalies išteka 0,7 atm slėgio ir 89,6 °C temperatūros dujų srautas, kuriame 69945,6 kg/h CO₂. Iš regeneratoriaus apatinės dalies išteka 125,6 °C regeneruotas MDEA tirpalas, kuriame lieka 723,3 kg/h CO₂. Tirpalas atiduoda šilumą MDEA tirpalo šilumokaityje, toliau siurbliu, kuriam reikia 824 kW/h elektros energijos, suslegiamas iki 28,72 atm slėgio ir nukreipiamas į vandeninį aušintuvą. Jame tirpalas vėsinamas 58,67 °C, dozatorius prideda reikiamą kiekį MDEA, piperazino bei H₂O, kad reciklo funkcija atliktų skaičiavimus, ir absorbicijos ciklas kartojamas.

Sumodeliuota technologinė linija:



11 pav. Konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologinės linijos modelis Aspen HYSYS aplinkoje

Programai atlikus bei susisteminius skaičiavimus, duomenys įvertinami ir lyginami su teoriniais.

8 lentelė. Išvalytų dujų sudėtis

Komponentas	Debitas, kg/h	Koncentracija, %
CO ₂	23,9	0,009
CO	1393,7	0,665
N ₂	50089,2	24,071
H ₂	11142,6	74,425
CH ₄	448	0,375
Ar	734,5	0,255
MDEA	0,5	0,001
H ₂ O	806,8	0,200
Piperazinas	0,15	0,001
Viso	64639,6	100

9 lentelė. Absorberio medžiagų srauto duomenys

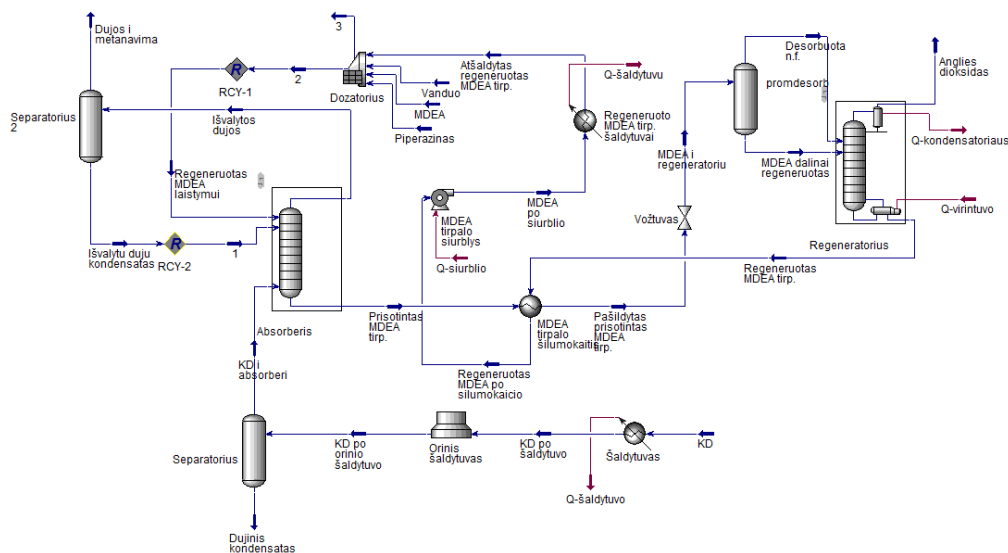
Komponentas	Įtekantis srautas		Ištekantis srautas	
	Masės debitas, kg/h	Tūrio debitas m ³ /h	Masės debitas, kg/h	Tūrio debitas m ³ /h
CO ₂	723,3	0,9	70680	86
CO	0	0	1,9	0,004
N ₂	0	0	51,7	0,01
H ₂	0	0	18,7	0,5
CH ₄	0	0	1,5	0,005
Ar	0	0	171,7	0,23
MDEA	487759	470,71	487759	470,71
H ₂ O	438259	439,1	437453	438,3
Piperazinas	48775	67,7	48775	67,7
Viso	975518,3	978,5	1044913	1063,6

Iš gautų duomenų matome, kad išvalytose dujose lieka 23,9 kg/h CO₂, kurio koncentracija 0,009 % ir neviršija reglamentuojamos 0,045 % (450 ppm). Norint išvalyti konvertuotas dujas prireiks 978,5 m³/h cirkuliuojančio MDEA tirpalo CO₂ absorbcijai atlikti. Gauti praktiniai skaičiai yra beveik tokie patys teoriškai apskaičiuotiems, kuriais reikalingas teorinis 945,2 m³/h cirkuliuojančio MDEA tirpalo srautas visoms CO₂ dujoms absorbuoti, nevertinant įvairių dinaminių sąlygų. Todėl galima teigti, kad skaičiavimai teisingi. Prieš rekonstrukciją, Aspen HYSYS duomenimis, technologija reikalauja 832200 MJ/h papildomo kiekio šiluminės energijos tirpalo regeneracijai.

Ieškant technologinių sprendimų iškeliami hipotezė, kad promdesorberis, kuriame slėgio numetimo pagalba desorbuojasi dalis CO₂ dujų iš prisotinto MDEA tirpalo, kartu su MDEA tirpalo sudėties

pakeitimais, leis sumažinti reikalingo technologijai cirkuliuojančio MDEA tirpalo srautą. Sumažėjus srautui reikės mažiau energijos kaitinti MDEA tirpalą virintuvuose, todėl mažės gamybiniai kaštai. Sumodeliuojama tokio pat našumo konvertuotų dujų valymo technologija, kurioje įdiegtas promdesorberis.

Sumodeliuota technologinė linija su patobulinimu:



12 pav. Patobulintas konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologinės linijos modelis Aspen HYSYS aplinkoje

Technologinė schema identiška pirmajai, tačiau prieš regeneratorių pridedamas promdesorberis. Programai atlikus bei susisteminius skaičiavimus, duomenys įvertinami ir lyginami su teoriniais bei su pradinės technologijos modelio duomenimis.

Parinktas identiškas 203000 m³/h valomų konvertuotų dujų srautas pagal AB “Achema” gamybinius duomenis, kurio sudėtis CO₂ – 17,55 %, CO – 0,55 %, N₂ – 19,76 %, H₂ – 61,58 %, CH₄ – 0,31 %, Ar – 0,3 %. Dujų sraute CO₂ 69980,63 kg/h. Konvertuotos dujos ataušinamos nuo 180 °C iki 50 °C, separuojama drėgmė ir 29 atm slėgiu nukreipiamos į absorberio apatinę dalį. Absorberis veikia esant 28,62 atm slėgiui, jame 17 perforuotų lėkščių. Ant antros perforuotos lėkštės nukreipiamas absorbcijai reikalingas MDEA tirpalo srautas. Aspen HYSYS duomenimis, po reciklo funkcijos skaičiavimo, prireiks 978,5 m³/h cirkuliuojančio MDEA tirpalo CO₂ absorbcijai atlikti, kurio sudėtis masės dalimis 38 % MDEA, 10 % piperazino, 51,89 % H₂O ir 0,11 % CO₂. Tirpalas į absorberį tiekiamas 28,72 atm slėgiu ir 56,92 °C temperatūra. MDEA tirpalo komponentų masės debitai – 277153 kg/h MDEA, 72935 kg/h piperazino, 378453 kg/h H₂O ir 808,6 kg/h CO₂. Po absorbcijos iš absorberio viršutinės dalies išteka 28,62 atm slėgio 69,65 °C išvalytas dujų srautas, separuojama drėgmė grąžinama į absorberį. Išvalytame dujų sraute CO₂ 75 kg/h ir jo koncentracija 0,023 %. Iš absorberio išteka 103,3 °C temperatūros ir 28,72 atm slėgio prisotintas MDEA tirpalo srautas, kuriame absorbuotas bendras 70714,2 kg/h CO₂ kiekis. Tirpalas pašildomas MDEA tirpalo šilumokaityje priešpriešine kryptimi tekančiu regeneruoto tirpalo srautu iki 106 °C ir nukreipiamas į promdesorberį. Promdesorberyje slėgis mažinamas iki 3 atm, iš prisotinto tirpalo skiriasi nešvari dujų frakcija, kurioje 15481 kg/h CO₂ ir nukreipiama į viršutinę regeneratoriaus dalį. 94,67 °C temperatūros dalinai regeneruotas tirpalas patenka ant 23 regeneratoriaus lėkštės. Regeneratorius turi

27 perforuotas lėkštes, veikia esant 0,7 atm slėgiui, o prisotintas MDEA tirpalas šildomas iki 122,9 °C regeneracijai atlikti. Regeneracijai prireikia papildomos 685200 MJ/h šiluminės energijos kiekio, atėmus rekuperuojamą konvertuotų dujų šilumos srautą. Iš regeneratoriaus viršutinės dalies išteka 0,7 atm slėgio ir 86,51 °C temperatūros dujų srautas, kuriame 69871,86 kg/h CO₂. Iš regeneratoriaus apatinės dalies išteka 122,9 °C regeneruotas MDEA tirpalas, kuriame lieka 808,6 kg/h CO₂. Tirpalas atiduoda šilumą MDEA tirpalo šilumokaityje, toliau siurbliu, kuriam reikia 650 kW/h elektros energijos, suslegiamas iki 28,72 atm slėgio ir nukreipiamas į vandeninį aušintuvą. Jame tirpalas vėsinamas 56,92 °C, dozatorius prideda reikiamą kiekį MDEA, piperazino bei H₂O, kad reciklo funkcija atliktų skaičiavimus, ir absorbcijos ciklas kartojamas.

10 lentelė. Išvalytų dujų sudėtis po rekonstrukcijos

Komponentas	Debitas, kg/h	Tūrinė koncentracija, %
CO ₂	75	0,023
CO	1394,2	0,660
N ₂	50101,6	24,034
H ₂	11146,9	74,290
CH ₄	448,5	0,372
Ar	796,1	0,264
MDEA	0,7	0,001
H ₂ O	1385,3	0,350
Piperazinas	0,6	0,001
Viso	65348	100

11 lentelė. Absorberio medžiagų srauto duomenys po rekonstrukcijos

Komponentas	Įtekantis srautas		Ištekantis srautas	
	Masės debitas, kg/h	Tūrio debitas m ³ /h	Masės debitas, kg/h	Tūrio debitas m ³ /h
CO ₂	808,6	0,98	70714,2	86,1
CO	0	0	1,5	0,003
N ₂	0	0	39,4	0,08
H ₂	0	0	14,5	0,4
CH ₄	0	0	1,0	0,003
Ar	0	0	110,1	0,15
MDEA	277153	267,5	277152	267,5
H ₂ O	378453	379,2	377068	377,8
Piperazinas	72935	101,3	72934	101,3
Viso	729349,6	748,9	798035	833,3

Modeliavimo duomenys rodo, kad iš absorberio išeinančiose išvalytose dujose bus likę kiek daugiau CO₂ – 75 kg/h, o tūrinė koncentracija siekia 0,023 %. Kadangi CO₂ koncentracija dujose neviršija reglamentuojamos 0,045 % (450 ppm) ribos, rezultatas priimtinas tolimesniam metanavimo etapui.

Sumodeliavus rekonstrukciją galime teigti, kad prireiks 748,9 m³/h MDEA tirpalo absorbcijai atlikti. Gautas rezultatas artimas teoriškai apskaičiuotam 706,2 m³/h srautui. Galime teigti, kad mažesnio reikalingo MDEA srauto hipotezė įdiegus patobulinimą yra patvirtinta.

Remiantis gautais duomenimis MDEA tirpalo srautą po rekonstrukcijos pavyks sumažinti apie 196,3 - 272,3 m³/h. Tai yra žymus 20,75 % pokytis. Sumažėjęs absorbcijai reikalingo srauto poreikis nuosekliai atsispindi energijos poreikiui tirpalui kaitinti regeneracijos etape, kurios reikia mažiau – 685200 MJ/h. Dėl kritusių energijos sąnaudų kaštai mažės. Iš to bus galima vertinti ekonominius rekonstrukcijos aspektus.

4.3. Statybiniai sprendimai

4.3.1. Bendroji dalis

MDEA valymo skyriaus technologinės linijos renovacija atliekama akcinėje bendrovėje “Achema”, amoniako cecho nr. 1 naudojamai technologijai. Įmonė įsikūrusi Jonalaukio kaime, Ruklos seniūnijoje, Jonavos rajone. Teritorija, kurioje įmonė įkurta, palankiai nutolusi per 6 km nuo Jonavos miesto. Tačiau čia pat už 0,5 km, nuo įvažiavimo į teritoriją, driekiasi A6 magistralinis kelias, palengvinantis logistinius sprendimus. Įmonės teritorija taipogi išraizgyta geležinkelių bėgiais, leidžiančiais gabenti masyvius produkcijos kiekius. Šalia teritorijos teka Neries upė, kuri yra puikus gamyklai reikalingo vandens šaltinis. Įmonės teritorijoje įrengtos išasfaltuotos gatvės lengvajam ir sunkiajam transportui, taipogi 2 m pločio šaligatviai darbuotojams, kurie atitinkamą cechą turi pasiekti pėsčiomis.

Projektuojamo objekto sklypas užima 65,4 arų plotą, kurio didžioji dalis yra išasfaltuota, o pats sklypas aptvertas tvora. Į objektą galima patekti pro įvažiavimą per bendragamyklinę gatvę, sklype įrengta automobilių stovėjimo aikštelė su 38 stovėjimo vietomis. Apželdintas žemės plotas užima 1141 m² sklypo ploto, kuris, reikalui esant, ateityje gali būti panaudotas technologinių sprendimų reikmėms. MDEA valymo skyriaus su promdesorberiu technologinės linijos įrengimai išdėstyti 3132 m² plote, aplink šią teritoriją išgrįsta plytelių danga. Dalis technologinės linijos įrenginių ir aparatų įrengiama uždaroje patalpoje, MDEA valymo skyriaus siurblinėje, kita dalis talpinama atviraime lauke.

12 lentelė. Bendrieji projektuojamo statinio techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
I. SKLYPAS			
1	1.1. sklypo plotas	aras	65,4
	1.2. statinio užimtas žemės plotas	m ²	714,2
	1.3. apželdintas žemės plotas (žalasis plotas)	m ²	1141
	1.4. automobilių stovėjimo vietų skaičius	vnt.	38
	1.5. Plytelėmis grįsta danga	m ²	710
	1.5. sanitarinės (apsaugos) zonos plotis	m	500
II. PASTATAI			
2	2.1. paskirties rodikliai (gamybos (kitos veiklos), paslaugų apimtys, aptarnaujamų žmonių skaičius, kiti rodikliai)		
	2.2. bendrasis plotas:	m ²	3132
	2.2.1. pagrindinis	m ²	714,2
	2.2.2. pagalbinis	m ²	2417,8
	2.3. pastato tūris	m ³	6429
	2.4. aukštų skaičius	vnt.	1
	2.5. pastato aukštis	m	10,55
2.6. pastato atsparumas ugniai (I, II ar III)	MJ/m ²	II	

4.3.2. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai

Projektuojamasis statinys skirtas amoniako gamybos technologijai, konvertuotų dujų valymo MDEA tirpalu skyriui. Jame patalpinti pagrindiniai valymo MDEA tirpalu technologijos siurbliai, pagalbiniai siurbliai, filtrai, talpos. Pastatas užima 714,2 m² plotą, jame įrengimai išdėstyti tvarkingai, darbuotojų patogumui, atitinkamu atstumu vieni nuo kitų bei sienų, kad nebūtų sukeliama problema įrenginius ir aparatus valdyti, aptarnauti, atlikti remontą, likviduoti avarines situacijas ar evakuotis. Pastate įrengti trys įėjimai ir/ar išėjimai. Du iš jų 1 m pločio varstomos durys, įrengtos įstrižai pastato, palengvinančios patekimą, bei 4 m pločio ir 3,5 m aukščio vartų tipo durys, skirtos aptarnaujančiam remonto personalui.

Gamybinės paskirties pastatas projektuojamas taisyklingos stačiakampės formos vieno tūrio statinys. Numatomo gamybinės paskirties pastato matmenys 37,2 x 19,2 m, pastato aukštis 10,55 m. Numatomas aukštų skaičius – 1, kolonų matmenys 40x40 cm, kolonos statomos kas 6 m. Per pastato ilgį iš viso 7 kolonos, per pastato plotį 4 kolonos.

Statinio statybai naudojamos konstrukcijos vidaus patalpų apdailai:

Grindys sudarytos iš C35/45-XA3 betono dangos, kuri turi didelį mechaninį stiprumą, yra lygiu paviršiumi, nepralaidi vandeniui, pakankamai pritaikyta cheminiam poveikiui, atspari dilimui, ugniai bei patogi valyti. Pastato sienoms naudojamos nedegios medžiagos, išorei naudojama fasado plokštė “Equitone Fective”, o vidaus sienoms “Flowcrete” sienų danga. Pastato stogui sutvirtinti numatoma metalinė pertvaros konstrukcija, o stogo dangai naudojamos nedegios medžiagos, viršuje prilydoma polimerinė bituminė stogo danga.

Įrenginiai, kurių nėra tikslinga ar praktiška talpinti uždaramame statinyje, įrengti atviraime lauke. Sklypo atviro lauko teritorijoje technologinę įrangą sudaro:

- Absorberis 1 - 48,5 m aukščio ir 3,2 m skersmens koloninio tipo aparatas. Statomas ant metalinių atramų, 1 m nuo žemės paviršiaus.
- Regeneratorius 2 - 59,2 m aukščio ir 3,8 m skersmens koloninio tipo aparatas. Statomas ant metalinių atramų, 1 m nuo žemės paviršiaus.
- Dujinis virintuvas 3 - horizontalus korpusinis-vamzdinis aparatas su U formos vamzdeliais. 13,2 m ilgio ir 1,6 m skersmens aparatas, tvirtinamas ant metalinių atramų 2 m aukštyje šalia regeneratoriaus.
- Garinis virintuvas 4 - vertikalus korpusinis-vamzdinis aparatas. 13,2 m ilgio ir 1,6 m skersmens aparatas, tvirtinamas ant metalinių atramų 2 m aukštyje šalia regeneratoriaus.
- Separatorius - vertikalus, suvirintas aparatas iš nerūdijančio ir anglinio plieno. Aparato skersmuo 2,4 m, aukštis 5,7 m, įrengiamas įvairiose vietose ant žemės ar prie aparatų.
- MDEA tirpalo talpa – horizontalus aparatas su vidiniu apšildymo gyvatuku, 8 m skersmens ir 13,1 m aukščio. Įrengiama ant žemės.
- MDEA tirpalo šilumokaitis 12 - vertikalus plokštelinis įrenginys. Dydis: 0,92 x 1,19 x 3,3 m. Tvirtinamas ant žemės.
- Promdesorberis 13 - horizontalus aparatas su vidiniu apšildymo gyvatuku, 2,4 m skersmens ir 7,7 m ilgio. Statomas ant metalinių atramų, 2 m nuo žemės paviršiaus.
- Orinis aušintuvas 15 ir 19- blokas, susidedantis iš keturių oru aušinamų zigzago formos, vieno pusio tiekimo aparatų. Bloko matmenys 18,8 x 8 x 7,4 m. Montuojamas 5m aukštyje.

- MDEA tirpalo vandeninis aušintuvas 16 - horizontalus, korpusinis-vamzdinis aparatas pagamintas iš nerūdijančio ir anglinio plieno. 10,2 m ilgio ir 1,2 m skersmens, įmontuojamas ant žemės.

Sklype esantys aparatai ir įrenginiai išdėstomi stengiantis palaikyti bent kelių metrų atstumą vienas nuo kito, siekiant palikti būtinos vietos jiems valdyti, remontuoti, likviduoti avarines situacijas. Į sklypą atvestos pagrindinės reikalingos komunikacinės inžinerinės sistemos – elektra, vandentiekis, nuotekos.

4.4. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

4.4.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė: ekonominių ir organizacinių problemų nustatymas

Inžinerinė veikla yra skirta spręsti tam tikros srities (chemijos, statybos, energetikos, mechanikos ir t.t.) konkrečius problemas sprendimus, siekiant patenkinti iškeltus tikslus. Ši veikla turi bent du aspektus. Pirmasis siejasi su medžiagomis, gamtiniais ištekliais, energija ir gamtinėmis jėgomis. Antrasis siejasi su žmonių reikmių ir poreikių tenkinimu, todėl tai atsiremia į ekonomiką. Inžinerinė veikla su ekonomika glaudžiai siejama bent dėl dviejų priežasčių. Pirmiausia, pastaraisiais metais skiriamas ypatingas dėmesys gamtos ištekliams, jų mažėjimui ir tausojimui, todėl technologijoms bei produktams pritaikomi nauji reikalavimai, kurie gali didinti produkcijos kaštus. Antra, bet kokia veikla patiria stiprią konkurenciją ne vien vietinėse rinkose, bet ir globaliose rinkose. Šių dienų globalizacijos ir integracijos procesų dėka verslams suteikiamos ne vien naujos galimybės, bet ir sąlygojami nauji iššūkiai. Būtina įvertinti inovacinio projekto kaštus ir kainą prieš priimant kiekvieną inžinerinį sprendimą, nustatyti būsimą naudą lyginant su investicijomis.

Kiekvienais metais, žingsnelis po žingsnelio, chemijos pramonė tobulėja ir atitinkamus technologinius patobulinimus įsodiegusios įmonės išlaiko savo produkciją konkurencingą. Produkto kainos konkurencingumą taipogi lemia makro aplinkos veiksniai. Makro aplinkos nekontroliuojami veiksniai pasireiškia dėl demografinių ar ekonominių pokyčių, technologinių proveržių ar gamtos stichijų, sociokultūrinių ypatybių ar valstybėje veikiančios įstatyminės bazės pokyčių. Kiekviena įmonė visus šiuos aspektus turi sekti, analizuoti, žvelgti į ateitį, taip tampant pranašniais už konkurentus. Gebėjimas nuolat prisitaikyti aplinkoje, kuri nenumaldomai keičiasi, yra pagrindinis konkurencinės sėkmės veiksnys.

Realiam pasaulyje neretai pasitaiko atvejų, kuomet modernizavus technologiją iš pirmo žvilgsnio skaičiai žada efektyvesnius proceso rodiklius, tačiau įvertinus patobulinimą iš ekonominės pusės, situacija yra priešinga ir atnaujinimų diegimas neatsiperka. Dėl šios priežasties projektuojant konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologiją įdiegus promdesorberį, būtina atlikti ekonominę analizę ir įvertinti ar technologija palanki ekonomiškai. Kertinė problema eksploatuojant konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologiją yra didelis cirkuliuojančio MDEA tirpalo srautas, kuris reikalauja didelio energijos kiekio kaitinimui regeneracijos etape. Sumažinus cirkuliuojančio MDEA tirpalo srautą, tačiau išlaikant reglamentinį dujų išvalymo laipsnį ir tokį patį našumą, reiktų mažiau gamtinių dujų, kurių pagalba gaminami papildomi reikalingi garai. Todėl, viliamasi, kad eksploatacijos kaštai kristų. Visi ekonominiai skaičiavimai atliekami pasitelkus Microsoft "Excel" programą.

4.4.2. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai

Numatomi projekto finansinių investicijų šaltiniai yra gaunami iš įmonės akcinio kapitalo ir banko suteikiamos paskolos. Projektui investicijos pradedamos skaičiuoti nuo ilgalaikio turto įsigijimo - promdesorberio, armatūrų, vamzdynų, įrangos, vertingo inventoriaus, montavimo ir kitų išlaidų kaštų įvertinimo. Duomenys pateikiami 13 lentelėje.

13 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	mln. Eur	Struktūra	mln. Eur
Ilgalaikio turto įsigijimas	0,6	Akcininkų nuosavybė; akcinis kapitalas, rezervai	0,69
Statyba ir montavimas	0,15	Paskola	0,46
Kiti kaštai	0,4		
Viso kaštų:	1,15	Viso šaltinių:	1,15

Reikalingi kaštai technologijos patobulinimui padengiami 60 % akcinio kapitalo dalimi ir 40 % ilgalaikės paskolos (investinio kredito) dėka, kurios vertė 0,46 mln. Eur ir ji suteikiama penkeriems metams.

4.4.3. Ilgalaikio turto vertė

Ilgalaikio turto vertės sąmata, reikalinga rekonstrukcijai, pateikiama 14 lentelėje.

14 lentelė. Ilgalaikio turto vertė

Objekto, darbų, išlaidų pavadinimas	Sąmatinė kaina, mln. Eur			Viso, mln. Eur
	Irenginiai, vamzdynai, armatūra	Statyba ir montavimas	Kitos išlaidos	
1	2	3	4	5=2+3+4
Promdesorberio diegimas	0,6	0,15	0,2	0,95
Kitos išlaidos			0,2	0,2
Viso (ilgalaikio turto)				1,15

Projektuojamam technologijos patobulinimui reikalingas promdesorberis, kuris yra statomas prieš regeneratorių. Promdesorberis jungiamas su MDEA tirpalo šilumokaičiu ir regeneratoriumi, todėl į sąmatą įtraukiami vamzdynų ir armatūros kaštai, taipogi statyba, montavimas, vertingo inventoriaus įsigijimas ir kitos nenumatytos išlaidos. Visos sąmatinės kainos, sudarančios ilgalaikio turto vertę, yra preliminarios.

4.4.4. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinosios pajamos

Konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologija yra vienas iš kelių etapų amoniako gamyboje, kurio paskirtis išvalyti dujas nuo nepageidaujamo CO₂ ir taip paruošti dujas amoniako sintezei. Kadangi valomo dujų srauto našumas nesikeičia, pagaminamo produkto kiekis nekinta.

Priimame, kad pagaminamo amoniako kiekis kiekvienais metais toks pats. Amoniako gamybos našumas – 1584,3 tonos dieną. Produkcijos gamybos apimties ir gautinųjų pajamų skaičiavimų rezultatai pateikiami 15 lentelėje.

15 lentelė. Produkcijos gamybos planas ir pajamos

Rodiklis	Gamybos įsisavinimo koeficientas	Gaminio apimtis, t/metus	Iš viso, mln. Eur
<i>Prieš rekonstrukciją</i>			
Produkcijos gamybos (pardavimo) apimtis, vnt.	1	545000	-
Gaminio kaina, Eur			551,65
Gautinosios pajamos, mln. Eur	-	-	300,64
<i>Po rekonstrukcijos</i>			
Produkcijos gamybos (pardavimo) apimtis, vnt.	1	545000	-
Gaminio kaina, Eur			550,07
Gautinosios pajamos, mln. Eur	-	-	299,79

Po rekonstrukcijos gamybos našumas nekeičiamas, amoniako per metus pagaminama tiek pat. Gaminio kainą stengiamasi palaikyti tokią pačia, kad parduodamos produkcijos pajamos išliktų sąlyginai vienodos. Taip bus patogu vertinti patobulinimo įtaką pelnui ir kitiems rodikliams.

4.4.5. Tiesioginiai gamybos kaštai

Išlaidos pagrindinėms medžiagoms ir žaliavoms. Amoniakas sintetinamas iš vandenilio ir azoto. Vandenilis išskiriamas iš gamtinių dujų, kurios amoniako gamyboje yra pagrindinė žaliava. Procesas taipogi reikalauja azoto, kuris išskiriamas iš oro. Oras kaip žaliava tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimuose nevertinamas.

16 lentelė. Tiesioginės išlaidos žaliavoms

Medžiagos (žaliavos) pavadinimas	Gamybos planas, t/metus	Medžiagų sunaudojimo norma gaminiui, m ³ /t amoniako	Medžiagos kaina, Eur/m ³	Medžiagos poreikis, m ³ /metus	Medžiagų kaštai	
					Gaminiui, Eur/t	Viso žaliavų mln. Eur
1	2	3	4	5	6	7
<i>Prieš rekonstrukciją</i>						
Gamtinės dujos	545000	674,1	0,26	367392000	175,27	95,52
<i>Po rekonstrukcijos</i>						
Gamtinės dujos	545000	674,1	0,26	367392000	175,27	95,52

Amoniakos gamybos našumas 1584,3 tonos per dieną. Cecho remontams, prastovoms numatoma 21 kalendorinė diena per metus, todėl gamybos planas:

$$V_{CO_2 \text{ prieš}} = \frac{V_{KD} \cdot c_{CO_2}}{100 \%} = \frac{203000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 17,55 \%}{100 \%} = 35626,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$m_{NH_3} = 1584,3 \cdot (365 - 21) = 545000 \text{ t/metus}$$

Yra žinoma, kad gamtinių dujų suvartojimas pagal šį našumą yra 44500 m³/h, tuomet apskaičiuojamas reikalingas gamtinių dujų kiekis per metus.

$$V_{CH_4} = 44500 \cdot 24 \cdot (365 - 21) = 367\,392\,000 \text{ m}^3/\text{metus}$$

Išlaidos pagrindinių gamybos darbininkų darbo užmokesčiui. Technologiją valdo 12 pagrindinių darbininkų, jų valandinis atlyginimas siekia 7,1 Eur/h. Kiekvienais projekto metais šis valandinis tarifas po 5 % didėja, įvertinamas darbo užmokesčio augimas. Nuo 2019 metų darbdavio atskaitymai sudaro 1,79 % nuo darbuotojo darbo užmokesčio. Nepaisant remontų ir prastovų, įmonėje dirbama ištisus metus nepertraukiamai, dėl šios priežasties darbo imlumas:

$$n = 24 \cdot 365 = 8760 \text{ h}$$

17 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Gaminys	Gamybos planas, t/metus	Programos darbo imlumas, tūkst. h	Darbininkų skaičius	Valandinis tarifinis atlyginimas, Eur/h	Darbo užmokestis, mln. Eur	Atskaitymai VSD, GF, IDIF, mln. Eur
1	2	3	4	5	6	7
<i>Prieš rekonstrukciją</i>						
Amoniakas	545000	8,76	12	7,1	0,746	0,014
Viso:					0,760	
<i>Po rekonstrukcijos</i>						
Amoniakas	545000	8,76	12	7,1	0,746	0,014
Viso:					0,760	

Atlikus technologijos rekonstrukciją papildomo darbo neatsiranda. Be to, priimama, kad darbo užmokesčio tarifas auga antrais projekto metais, todėl užmokesčio sąnaudos po rekonstrukcijos nekinta.

Išlaidos elektros energijai. Pagrindinis elektros energijos sąnaudų kiekis skaičiuojamas MDEA tirpalo siurbliui, kuris cirkuliuoja 978,5 m³/h skysčio. Ignitis duomenimis, elektros kaina 0,13 Eur/kWh. [24]

18 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai

Energijos rūšis	Kiekis, kWh	Kiekis, kWh per metus	Vienos kWh kaina, Eur	Išlaidos elektros energijai, mln. Eur
1	2	3	4	5
<i>Prieš rekonstrukciją</i>				
Elektra	824	4762060	0,13	0,619
<i>Po rekonstrukcijos</i>				
Elektra	650	3756480	0,13	0,488

Po technologijos rekonstrukcijos reikalingas cirkuliuojantis tirpalo kiekis sumažėja iki 748,9 m³/h, todėl tiesioginiai elektros energijos kaštai mažėja 21,8 %.

Išlaidos šiluminei energijai. Pagrindinė žaliava amoniako gamyboje yra metanas gamtinėse dujose, iš kurių išgaunamas vandenilis. Tačiau tas pats metanas technologijoje naudojamas ir kitu tikslu, kurio metu jis verčiamas šilumine energija. Metanas deginamas ir gaminami garai. Konvertuotų dujų valymo technologijoje pagrindinis šiluminės energijos poreikis atsiranda tirpalo regeneracijos metu, kuomet šis šildomas iki 125°C konvertuotų dujų šiluma bei papildomu kiekiu garų suteikiamos šilumos. Prieš rekonstrukciją reikalingas papildomas šilumos kiekis regeneracijai Aspen HYSYS duomenimis lygus 832200 MJ/h, o po rekonstrukcijos sumažėjus cirkuliuojančio tirpalo kiekiui reikalingas šilumos kiekis pakito iki 685200 MJ/h. Priimame, kad 1 m³ gamtinių dujų kaloringumas lygus 37 MJ. Tuomet skaičiuojame reikalingą dujų kiekį šiluminei energijai gauti.

$$V_{CH_4 \text{ prieš rekons.}} = \frac{Q_{regen.}}{Q_{CH_4}} = \frac{832200}{37} = 22500 \text{ m}^3/h$$

Elementariai skaičiuojamas gamtinių dujų poreikis po rekonstrukcijos šiluminei energijai gauti. Energijos išlaidos pateiktos 19 lentelėje.

19 lentelė. Tiesioginės išlaidos šiluminei energijai

Energijos rūšis	Kiekis, m ³ /h	Kiekis, m ³ /metus	Vieno m ³ kaina, Eur	Išlaidos šiluminei energijai, mln. Eur
1	2	3	4	5
<i>Prieš rekonstrukciją</i>				
Gamtinės dujos	22500	185760000	0,26	48,29
<i>Po rekonstrukcijos</i>				
Gamtinės dujos	18500	152736000	0,26	39,71

Skaičiavimai rodo, kad išlaidos šiluminei energijai po rekonstrukcijos mažėja 8,58 mln. Eur arba 18,8 %. Amoniako gamyboje konvertuotų dujų valymo technologijos tiesioginiai kaštai sudaryti iš išlaidų gamtinėms dujoms kaip žaliavai, išlaidų elektros energijai, išlaidų gamtinėms dujoms kaip šiluminei energijai ir išlaidų darbuotojų užmokesčiui.

4.4.6. Netiesioginiai gamybos kaštai

Visos išlaidos, sudarančios sąlygas gamybai, bet tiesiogiai su gamyba nesusijusios, priskiriamos prie netiesioginių gamybos kaštų. Netiesiogines gamybos išlaidas sudaro gamybinių patalpų šildymas bei apšvietimas ir nesusijęs su gamyba vandens poreikis, pagalbinių darbininkų, valytojų, kontrolierių, sandėlininkų, viršininkų, cecho meistrų darbo užmokesčiai. Šios netiesioginės išlaidos gali būti skaičiuojamos sustambintai ir dažnu atveju nusprendžiama paskirti didesnė suma nei reikia. Priimama, kad netiesioginės išlaidos sudaro 70 % visų tiesioginių išlaidų. Bendri tiesioginių ir netiesioginių gamybos piniginių sąnaudų duomenys pateikiami 20 lentelėje.

20 lentelė. Tiesioginės ir netiesioginės gamybos išlaidos

Tiesioginiai gamybos kaštai	<i>Prieš rekonstrukciją</i>	<i>Po rekonstrukcijos</i>
	Suma, mln. Eur	
Išlaidos žaliavoms	95,52	95,52
Išlaidos šiluminei energijai	48,29	39,71
Išlaidos elektros energijai	0,619	0,488
Darbo užmokestis ir soc. draudimas	0,760	0,760
Viso:	145,19	136,48
Netiesioginiai gamybos kaštai		
Be amortizacijos:	101,63	95,53
Įvertinus amortizaciją	101,63	95,57

Prie netiesioginių gamybos kaštų turi būti pridomas pagrindinio technologinio turto nusidėvėjimas. Amortizaciniai atskaitymai pateikiami 21 lentelėje.

21 lentelė. Priemonių nusidėvėjimas (amortizacija)

Ilgalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, mln. Eur	Eksploatavimo trukmė	Nusidėvėjimo suma metams, tūkst. Eur					Likutinė vertė, mln. Eur
			I	II	III	IV	V	
Įrenginiai:								
Promdesorberis	0,45	30	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	0,381
Armatūros, vamzdynai	0,15	30	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	0,127
Vertingas inventorius	0,20	10	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	0,108
Viso:	0,80		36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	0,616

Numatoma, kad sumontuotas promdesorberis su visa reikalinga armatūra ir vamzdynais technologiniame procese bus eksploatuojamas 30 metų. Reikalingo vertingo inventoriaus tarnavimo trukmė lygi 10 metų. Įvertinus amortizaciją, buvo gauti pilni netiesioginiai gamybos kaštai. Turint reikalingus duomenis sudaroma amoniako gaminio kaštų palyginamoji lentelė.

22 lentelė. Amoniako gaminio gamybos kaštų sąmata

Kaštų rūšys	Gamybinės išlaidos, mln. Eur	
	Gaminys	
	Amoniakas	
<i>Prieš rekonstrukciją</i>		
Žaliavos	95,52	
Elektros energija	0,619	
Šiluminė energija	48,29	
Pagrindinių darbininkų darbo užmokestis	0,760	
Netiesioginės išlaidos	101,63	

Produkcijos gamybos kaštai	246,82
Gamybos apimtis, t/metus	545000
Produkto gamybinė savikaina, Eur/t	452,91
<i>Po rekonstrukcijos</i>	
Žaliavos	95,52
Elektros energija	0,488
Šiluminė energija	39,71
Pagrindinių darbininkų darbo užmokestis	0,760
Netiesioginės išlaidos	95,57
Produkcijos gamybos kaštai	232,05
Gamybos apimtis, t/metus	545000
Produkto gamybinė savikaina, Eur/t	425,73

Užpildžius amoniako gamybos kaštų lentelę duomenys rodo, kad po rekonstrukcijos elektros energijos išlaidos mažėja 21,8 %, o šiluminės energijos išlaidos sumažėja 18,8 %. Tai sutaupo 14,77 mln. Eur per metus planuojamų bendrų produkcijos kaštų ir leidžia 6 % sumažinti produkto gamybinę savikainą.

4.4.7. Veiklos kaštai

Veiklos sąnaudos yra pastovios netiesioginės išlaidos, kurias sudaro pinigai skirti produkcijos realizavimui, reklamoms ir skelbimams, mokesčiams, rinkliavoms, paslaugoms, administracijos darbuotojų darbo užmokesčiui bei socialinio ir sveikatos draudimo atskaitymui, komandiruotėms, administracijos ir pagalbinių patalpų išlaikymui, šildymui, apšvietimui ir kitoms reikmėms. Šių išlaidų apimtis skaičiuojama naudojant faktinius įmonės duomenis, analoginės įmonės duomenimis arba galima priimti, kad veiklos kaštai su daro 5-30 % visų gamybinių kaštų sumos. Nuspręsta priimti, kad veiklos sąnaudos sudarys 16 % gamybos kaštų.

$$n_{\text{veiklos kaštai}} = n_{\text{gamybos}} \cdot 0,16 ;$$

$$n_{\text{veiklos kaštai}}(\text{prieš rekons.}) = 246,82 \cdot 0,16 = 39,49 \text{ mln. Eur}$$

$$n_{\text{veiklos kaštai}}(\text{prieš rekons.}) = 232,04 \cdot 0,16 = 37,13 \text{ mln. Eur}$$

Piniginis poreikis veiklos sąnaudoms po rekonstrukcijos mažėja 2,36 mln. Eur, reikia 6 % mažiau lėšų.

4.4.8. Finansinės ir investicinės sąnaudos

Finansines ir investicines sąnaudas sudaro palūkanos už banko paskolas. Projektui prireiks 1,15 mln. Eur lėšų. 60 % šios sumos sudaro įmonės ir akcininkų kapitalas, likusi dalis padengiama paskolos kreditu.

Paskola planuojama finansuoti 0,46 mln. Eur projekto sumos. Remiantis Lietuvos Banko duomenimis 2020 metais įmonių naujiems paskolų susitarimams eurais taikomos vidutinės palūkanų normos siekia 3,74 % toms paskoloms, kurių suma neviršija 1 mln. Eur. Paskola bankui padengiama linijiniu gražinimo būdu. Palūkanų mokėjimo ir paskolos gražinimo ataskaita pateikiama 23 lentelėje.[25]

23 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos gražinimo planas

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	I	II	III	IV	V
Paskolos suma, tūkst. Eur	460	368	276	184	92
Metinė palūkanų norma, proc.	3,74	3,74	3,74	3,74	3,74
Palūkanos, tūkst. Eur	17,2	13,76	10,32	6,88	3,44
Paskolos padengimas, tūkst. Eur	92	92	92	92	92
Viso sąnaudų, tūkst. Eur:	109,2	105,76	102,32	9,88	95,44

4.4.9. Gaminio kainos skaičiavimas

Turint visų sąnaudų duomenis apskaičiuojama gaminio kaina. Gaminio kainą sudaro gamybos ir veiklos sąnaudos bei pelno norma. Gaminio kainos duomenys reikalingi gautinųjų pajamų planavimui.

24 lentelė. Gaminio kaina

Gaminys	Gamybinė savikaina, Eur	Veiklos sąnaudos, Eur	Investicinės veiklos sąnaudos	Pilnoji savikaina, Eur	Pelnas		Gaminio kaina
					Rentabilumo procentas	Eur/t	Eur/t
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Prieš rekonstrukciją</i>							
Amoniakas	452,91	72,47	-	525,38	5	26,27	551,65
<i>Po rekonstrukcijos</i>							
Amoniakas	425,73	68,12	1,72	495,56	11	54,51	550,07

Veiklos sąnaudos tonai gaminio gaunamos veiklos kaštus dalijant iš planuojamo produkcijos plano.

$$n_{\text{veik.gamin.}}(\text{prieš rekons.}) = \frac{39490000}{545000} ;$$

$$n_{\text{veik.gamin.}}(\text{prieš rekons.}) = 72,47 \text{ eu}$$

Pelno norma prieš rekonstrukciją lygi 5 %. Po rekonstrukcijos pilnoji gaminio savikaina sumažėja, o tai leidžia pelno normą parinkti tokią, kad gaminio kaina siektų buvusią kainą, todėl pelno norma pakeliama iki 11 %.

4.4.10. Projekto pelnas ir pinigų srautai

Sudaryta gaminio kainos ataskaita leidžia skaičiuoti projekto pardavimo apimtį, o iš to galima skaičiuoti pelno (nuostolio) duomenis ir grynuosius pinigų srautus.

25 lentelė. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai

Rodiklis	<i>Prieš rekonstrukciją</i>	<i>Po rekonstrukcijos</i>
	Suma, mln. Eur	
Pardavimo apimtis	300,64	299,79
Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	246,84	232,02
Bendrasis pelnas (nuostolis)	53,81	67,77
Veiklos sąnaudos	39,49	37,13
Veiklos pelnas (nuostoliai)	14,32	30,64
Finansinė ir investicinė veikla		
a. Pajamos	-	-
b. Sąnaudos	-	0,017
Pelnas (nuostoliai) prieš apmokestinimą	14,32	30,63
Pelno mokestis	2,15	4,59
Grynasis pelnas (nuostoliai)	12,17	26,03

Po rekonstrukcijos pardavimo apimtis sąlyginai vienoda, tačiau sumažėję gamybos kaštai leidžia gauti 16,31 mln. Eur daugiau pelno. Rekonstrukcijos atveju po pelno mokesčio, kuris siekia 15 %, grynasis pelnas lygus 26,03 mln. Eur.

4.4.11. Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas rekonstrukcijos atveju

Rekonstrukcijos atveju skaičiuojama, kaip pasikeičia gaminio vienetui tenkančios sąnaudos. Iš to nustatomas projekto įgyvendinimo rezultatas – papildomas pelnas gaminio vienetui, įvykdžius projektinius sprendimus.

26 lentelė. Rekonstrukcijos sąnaudų pasikeitimas

Sąnaudų rūšis	Išlaidos/sąnaudos prieš rekonstrukciją		Išlaidos/sąnaudos po rekonstrukcijos		Išlaidų/sąnaudų pokytis gaminio vienetui, Eur/t
	Iš viso sąnaudų, mln. Eur	Sąnaudos, tenkančios produkcijos vienetui, Eur/t	Iš viso sąnaudų, mln. Eur	Sąnaudos, tenkančios produkcijos vienetui, Eur/t	
Išlaidos pagrindinėms medžiagoms	95,52	175,27	95,52	175,27	0
Išlaidos pagalbinėms medžiagoms	101,63	186,48	95,57	175,36	11,12
Energijos išlaidos	48,90	89,73	40,20	73,76	15,96
Amortizacija	-	-	0,037	0,068	0,07
Darbo užmokesčio išlaidos	0,746	1,369	0,746	1,369	0
Soc. draudimo išlaidos	0,015	0,027	0,015	0,027	0
Bazinė gamybos apimtis, t	545000				
Gamybinė apimtis projekte, t	545000				
Iš viso išlaidų ekonomija gaminio vienetui (be amortizacijos), Eur/t					27,08
Iš viso išlaidų ekonomija (nuostoliai), mln. Eur					13,90

Nustatyta 27,08 Eur/t ekonomija gaminiui po rekonstrukcijos, kuri generuoja 13,90 mln. Eur didesnę pelną.

27 lentelė. Projekto grynujų pinigų srautų skaičiavimas

Metai	2019	2020	2021	2022	2023	2024
	<i>Prieš rekonstrukciją</i>	<i>Po rekonstrukcijos</i>				
	0	1	2	3	4	5
Gamybos apimtis, t	545000	545000	545000	545000	545000	545000
Gamybiniai kaštai	246,84	232,02	232,08	232,15	232,22	232,23
Pardavimo kaina, Eur/t	551,65	550,07	552,32	557,05	561,78	564,05
Pajamos, mln. Eur	300,64	299,79	301,01	303,59	306,17	307,40
Bendrasis pelnas, mln. Eur	53,81	67,77	68,93	71,44	73,95	75,10
Veiklos kaštai, mln. Eur	39,49	37,12	37,13	37,14	37,15	37,17
Veiklos pelnas, mln. Eur	14,31	30,65	31,79	43,29	36,79	37,94
Pelnas prieš apmokestinimą, mln. Eur	14,31	30,63	31,78	34,28	36,78	37,93
Pelno mokestis, mln. Eur	2,15	4,59	4,77	5,14	5,52	5,69
Grynasis pelnas, mln. Eur	12,17	26,03	27,01	29,14	31,26	32,24
Amortizacijos sąnaudos, mln. Eur		0,037	0,037	0,037	0,037	0,037
Papildomos investicijos, mln. Eur	0,35					
Finansinės ir investicinės veiklos kaštų eliminavimas, mln. Eur		0,109	0,106	0,102	0,099	0,095
GPS iš įmonės veiklos, mln. Eur	-0,35	25,96	26,95	29,09	31,20	32,19
Ilgalaikio turto perleidimas, mln. Eur	0,8					0,62
Bendri metiniai GPS, mln. Eur	-1,15	25,96	26,95	29,08	31,20	32,80

Apskaičiuoti grynujų pinigų srautų (GPS) rodikliai rodo, kad iš pagrindinės veiklos lieka teigiamos pajamos, todėl projektas neša pelną ir yra naudingas.

4.4.12. Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai

Projektą ekonomiškai vertinant parodoma rekonstrukcijos įgyvendinimo reikšmė. Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai parodo visų finansuojančių šaltinių kainų svertinį vidurkį ir yra apskaičiuojami pagal formulę:

$$K_{kp} = W_p \cdot k_p \cdot W_{pr} \cdot k_{pr} \cdot W_{is} \cdot k_{is} ;$$

čia W_p , W_{pr} , W_{is} – svarumo koeficientai, kurie parodo kapitalo struktūroje esančią paprastųjų ir privilegijuotųjų akcijų bei įsiskolinimo dalį; k_i – finansavimo šaltinio kaina.

Naujai išleidžiama paprastoji akcija k_p skaičiuojama:

$$k_p = \frac{D_{pr}}{P_a + q} \cdot 100 ;$$

čia D_{pr} – paprastosios akcijos metinis dividendas; P_a – įmonės gaunamas pelnas, išleidžiant akcijas, Eur; q – parenkama praėjusių metų ar prognozuota dividendų prieaugio norma.

Naujai išleidžiama privilegijuotoji akcija k_{pr} skaičiuojama:

$$k_p = \frac{D_{pr}}{P_a} \cdot 100 ;$$

čia D_{pr} – privilegijuotosios akcijos metinis dividendas; P_a – įmonės gaunamas pelnas, išleidžiant akcijas, Eur.

Kaštai įsiskolinimams skaičiuojami pagal formulę:

$$k_{is} = (1 - M) \cdot i ;$$

čia M – vidutinė mokesčių norma, kuri siekia 15 %; i – paskolos palūkanos norma, kuri siekia 3,74 %.

28 lentelė. Vidutinių svertinių kapitalo kaštų skaičiavimo rezultatai

Rodiklis	Žymuo	Vertė
Nuosavo kapitalo dalis kapitalo struktūroje	W_{pr}	60 %
Skolinto kapitalo dalis kapitalo struktūroje	W_{is}	40 %
Palūkanų norma	i	3,74 %
Pelno mokesčio tarifas	M	15 %
Nuosavo kapitalo kaštai	K_{pr}	7,78 %
Skolinto kapitalo kaštai	K_{is}	6,71 %
Projekto kapitalo kaštai	K_{kp}	7,27 %

Iš gautų svertinių kapitalo kaštų skaičiavimo duomenų nustatyta, kad projekto kapitalo kaštai siekia 7,27 %.

4.4.13. Vidinė pelno norma

Vidinė pelno norma yra diskonto norma. Ši norma projekto būsimųjų grynųjų pinigų įplaukų dabartinę vertę prilygina projekto būsimų išlaidų dabartinei vertei. Iš vidinės pelno normos galima spręsti apie finansinę investicinio projekto riziką. Vidinę pelno normą patogų skaičiuoti pasitelkus Microsoft “Excel” programos IRR funkciją. Pasinaudojus šia funkcija, buvo nustatyta, kad rekonstrukcijos atveju projekto vidinė pelno norma yra 79,1 %. Kadangi projekto kapitalo kaštai K_{kp} yra 7,27 % ir jie mažesni už vidinę pelno normą, daroma prielaida, finansinės rizikos įtaka investiciniam projektui maža.

4.4.14. Pelningumo indeksas

Pelningumo indeksas nusako projekto pelningumą ar dabartinio pelno vertę, kuri tenka dabartinių išlaidų vienam piniginiam vienetui. Projektas yra laikomas pasisekusi, kuomet PI skaičius viršija vienetą. Kuo skaičius didesnis, tuo projektas patrauklesnis ir sėkmingesnis.

Pelningumo indeksas yra diskontuotų pinigų sumos ir nulinių metų grynujų pinigų srautų santykio išraiška:

$$PI = \sum_{i=1}^n \frac{\left(\frac{GPS}{(1 + K_{kp})^n} \right)}{GPS_0} ;$$

čia – diskontuotų grynujų pinigų srautų suma nuo pirmųjų projekto metų, mln. Eur; GPS_0 – pradinių metų grynujų pinigų srautas, mln. Eur.

$$PI = \frac{10,9}{1,15} = 9,48$$

Gauta PI vertė parodo, kad bus generuojamos 9,48 kartų didesnės pajamos už finansines investicijas į technologijos rekonstrukciją

4.4.15. Lūžio taškas

Lūžio taškas skaičiuojamas pagal formulę:

$$B_{Lj} = \frac{PK_j}{(C_j + VKK_j)} ;$$

čia B_{Lj} - j-ojo gaminio pardavimo apimtis lūžio taške, t; C_j - j-ojo gaminio tonos kaina, Eur; VKK_j - j-ojo gaminio tonos vidutiniai kintamieji kaštai, Eur.

$$B_{Lj} = \frac{37130000}{(550,07 - 425,73)} = 298616 t$$

29 lentelė. Lūžio taško skaičiavimo duomenys

Rodiklis	Amoniakas
	Suma, eur
Pastovieji kaštai, mln. Eur	37,13
Gaminio kaina	550,07
Gaminio kintamieji kaštai	425,73
Lūžio taškas, t	298616
Pardavimo planas, t	545000

Lūžio taškas parodo kiek produkcijos reikia pagaminti ir parduoti, kad įmonės pelnas būtų lygus nuliui. Nuo šio taško gaminant produktą pelnas tampa teigiamas. Atliktais skaičiavimais projekto lūžio taškas bus pasiektas pagaminant ir parduodant 298616 tonas amoniako.

4.4.16. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

Pagrindinių projekto ekonominių rodiklių suvestinė lentelė pildoma tokiais apskaičiuotais rodikliais: gamybos kaštai, gaminio kaina, pajamos, darbo našumas, pelnas, kapitalo kaštai, vidinė pelno norma, pelningumo indeksas ir kiti rodikliai.

30 lentelė. Pagrindinių projekto ekonominių rodiklių ataskaita

Rodikliai	<i>Prieš rekonstrukciją</i>	<i>Po rekonstrukcijos</i>	Pokytis
Pardavimo apimtis, t	545000	545000	-
Pardavimų pajamos, mln. Eur	300,64	299,79	0,85
Įmonės personalas, žmonėmis			
Iš to skaičiaus darbininkai	12	12	-
Darbo našumas, mln. Eur			
Darbininko	0,76	0,76	-
Gamybos kaštai, mln. Eur	246,84	232,02	14,82
Gaminio pilnoji savikaina, Eur	551,65	550,07	1,58
Grynasis pelnas, mln. Eur	12,17	26,03	13,86
Papildomas pelnas, gautas įgyvendinus projektinius sprendimus		13,90	13,90
Investicijų apimtis, mln.Eur		1,15	1,15
Produkcijos pelningumas, %	5	11	6
Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas, metais	-	1,56	1,56
Kapitalo kaštai, %	-	7,27	7,27
Vidinė pelno norma, %	-	79,1	79,91
Pelningumo indeksas	-	9,48	9,48

Atliktas ekonominis ir finansinis vertinimas tobulinamai konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologinei linijai parodo, kad projektas reikalauja 1,15 mln. Eur investicijų promdesorberiu ir kitai technologinei įrangai įsigyti bei sumontuoti. Ekonominiais skaičiavimais įvertinamas rekonstrukcijos dėka gaunamas papildomas 27,08 Eur/t pelnas gaminio tonai, kuris sugeneruoja 13,9 mln. Eur papildomą pelną. Įvykdžius investicijų efektyvumo vertinimą nustatyta, kad projektas atsiperka po 1,56 metų. Lūžio taško skaičiavimais nustatytas 298616 tonų pagaminamo ir parduodamo amoniako kiekis, kad gamybinė veikla taptų pelninga. Ekonominio ir finansinio vertinimo skaičiavimais patvirtinama, kad projektuojama technologinės linijos rekonstrukcija yra efektyvi.

4.5. Darbuotojų sauga ir sveikata

Šiame skyriuje atliekamas profesinės rizikos vertinimas, aprašoma saugi gamyba, darbo higiena bei gaisrinė sauga apimant projektuojamo objekto charakteristikas.

4.5.1. Projektuojamo objekto charakteristikos

Projektuojamas objektas – MDEA valymo skyriaus su promdesorberiu technologinė linija. Dalis technologinės linijos įrenginių ir aparatų įrengiama uždaroje patalpoje, kiti įrenginiai, kaip absorberis, regeneratoriums, promdesorberis, šilumokaitis, statomi atvirame lauke. Įrenginiai ir aparatai išdėstyti patogiai, palikta vietos juos valdyti ir aptarnauti. Projektuojamo objekto paskirtis yra išvalyti CO₂ iš konvertuotų dujų srauto, paruošiant jas metanavimui ir amoniako sintezei. Išvalomas CO₂ naudojamas kaip žaliava karbamido gamybai ir kitoms reikmėms.

Dirbant projektuojamai technologinei MDEA valymo skyriaus linijai, numatomi šie pagrindiniai pavojaus faktoriai:

- dideli kiekiai suslėgtų gaisro bei sprogimo atžvilgiu pavojingų ir nuodingų dujų (gamtinės dujos, vandenilis, anglies monoksidas, konvertuotos dujos);
- dideli kiekiai suslėgtų inertinių dujų (azotas, angliarūgštė);
- dideli suslėgtų dujų slėgiai (iki 4 MPa);
- nuodingi skysčiai (MDEA, piperazinas);
- garai, karštas vanduo;
- besisukantys mechanizmai;
- indai, veikiantys su padidintu slėgiu;
- kėlimo mechanizmai;
- autotransporto priemonės;
- daug aikštelių, laiptų, aptvarų;
- veikiantys elektros įrengimai;
- triukšmas;
- vibracija;
- įkaitę įrengimų, aparatų, vamzdynų paviršiai (iki 450 °C).

Sanitarinė aplinkos zona (SAZ) – aplink stacionarų taršos šaltinį arba kelis šaltinius esanti teritorija, kurioje dėl galimo neigiamo vykdomos ūkinės veiklos poveikio visuomenės sveikatai galioja įstatymais ar Vyriausybės nutarimais nustatytos specialiosios žemės naudojimo sąlygos. Apsaugant gyvenamąją aplinką ir žmonių sveikatą nuo taršos, pagal teisės aktų nustatytus SAZ ribų dydžius, parinktina standartinė 500 metrų sanitarinės apsaugos zonos riba trąšų ir azoto junginių gamybai, jei neatliekamas poveikio visuomenės sveikatai vertinimas [26].

4.5.2. Profesinės rizikos vertinimas

Profesinės rizikos (toliau – rizika) vertinimo tikslas yra nustatyti ir įvertinti esamą ar galimą riziką darbe, ją pašalinti, o jei negalima pašalinti, įdiegti prevencijos priemonės, kad darbuotojai būtų apsaugoti nuo rizikos arba ji būtų kiek įmanoma sumažinta. Remiantis teisės aktais, profesinės rizikos vertinimas atliekamas šiais etapais: perengiamieji darbai; rizikos veiksnių tyrimas, rizikos dydžio nustatymas, sprendimas dėl rizikos priimtimumo priėmimas; rizikos pašalinimas ar sumažinimas; rizikos stebėjimas [27].

Pirmiausiai identifikuojami esami ir galimi rizikos veiksniai, norint atlikti profesinės rizikos vertinimą. Tai yra nuodugni darbo vietoje esančių kenksmingų veiksnių analizė. Nustatyta, kad MDEA valymo skyriaus darbuotojas veikiamas ergonominiais, fiziniais, cheminiais ir fizikiniais veiksniais. Projektuojamo objekto charakteristikoje nurodyti visi pagrindiniai kylantys pavojai.

Kiekvienas darbuotojas, siekiant užtikrinti saugias darbo sąlygas ir išvengti pavojaus, privalo: žinoti, laikytis ir vykdyti pagrindinių instrukcijų keliamus eksploatacijos reikalavimus; dėvėti specialią aprangą ir avalynę; darbo metu naudoti individualias asmeninės apsaugos priemones; neužsiimti pašaliniais darbais; būti neapsvaigus; mokėti ir reikalui esant visada suteikti pirmąją pagalbą; neleisti kitiems pažeisti saugos darbe, pažeidimus pranešti; visuomet išlikti atidus ir atsargus.

Nustatyti MDEA skyriaus rizikos veiksniai, jų įvertinimas ir prevencijos priemonės surašyti į 31 lentelę.

31 lentelė. Rizikos veiksniai ir įvertinimas [28, 29, 30, 31, 32]

Rizikos veiksnys, keliantis pavojų saugai ir sveikatai	Rizikos veiksnio atsiradimo ar veikimo vieta	Rizikos veiksnio dydis, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio leidžiamas dydis, ribinė vertė, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis	Prevencijos priemonės
<i>Fiziniai veiksniai</i>					
Besisukantys mechanizmai	Technologiniai įrenginiai	-	-	720	Tinkamas apdengimas
Elektros įtampa	Technologiniai įrenginiai	-	-	720	Izoliacija, įžeminimas
Slėginiai indai	Technologiniai įrenginiai	-	-	720	Apsauginiai vožtuvai, monometrai
Įkaitę paviršiai	Technologiniai įrenginiai, vamzdynai	450 °C	45 °C	720	Izoliacija, futeruotė, pirštinės
<i>Fizikiniai veiksniai</i>					
Apšvietimas	Operatorinė, darbo vieta	300 lx	300 lx	720	Tinkamo stiprumo šviesos šaltinis
Triukšmas	Technologiniai įrenginiai	90 dBA	87 dBA	720	Ausinės ar ausų kaiščiai
Vibracija	Technologiniai įrenginiai	0,5 m/s ²	1,15 m/s ²	720	Įrenginių centravimas, vibracijų vietų nurodymas
Darbo vietos šiluminė aplinka	Operatorinė	22 °C	21-23 °C	720	Tinkamas šildymas, vėdinimo sistema
<i>Ergonominiai veiksniai</i>					

Nuovargis	Operatorinė	-	-	720	Speciali pertraukėlė
Netinkama darbo poza	Operatorinė	Netinkama poza 20 % darbo laiko	Netinkama poza 25 % darbo laiko	720	Speciali pertraukėlė
<i>Cheminiai veiksniai</i>					
Cheminės medžiagos: MDEA Piperazinas Amoniakas (NH ₃) Anglies monoksidas (CO) Anglies dioksidas (CO ₂)	Technologiniai įrengimai, vamzdynai	mg/m ³	2 mg/m ³ 1 mg/m ³ 14 mg/m ³ 40 mg/m ³ 9000 mg/m ³	720	Apsauginiai akiniai, atsparios pirštinės, rūbai, batai, dujokaukė ar respiratorius, uždujinimo signalizacijos

4.5.3. Saugi gamyba

Kuriant darbo vietas, kiekvienam darbuotojui, nepriklausomai nuo jo darbo pobūdžio, darbuotojo lyties, rasės, pilietybės, politinių ar religinių įsitikinimų, įmonės veiklos rūšies, sudarytos darbo sutarties pobūdžio, darbuotojų skaičiaus, privaloma sudaryti saugias ir sveikas darbo sąlygas. MDEA skyriaus darbuotojams vykdomi apmokymai konkrečiai darbo vietai kaip valdyti technologinį procesą, darbuotojas privalo išlaikyti tos darbo vietos egzaminą. Darbuotojui taipogi privalo būti praveistas įvadinis, pirminis, periodinis, specialusis ar bet koks papildomas instruktažas, susijęs su saugiomis darbo ar eksploatavimo sąlygomis. Be šių mokymų ar instruktažų, darbuotojas kelia kvalifikaciją kursuose, kurių dėka įgautomis žiniomis išlaiko atitinkamus darbo vietai reikalaujamus pažymėjimus [33].

Siekiant išvengti pavojingų darbo ir sveikatos sąlygų kaip sproгимų, gaisrų, nudegimų ar apsinuodijimų, privaloma paisyti šių reikalavimų: darbuotojai privalo būti išklause mokymus ir kursas, išlaikę atitinkamus egzaminus bei pažymėjimus, leidžiančius jiems dirbti savarankiškai, juos turėti su savimi; žinoti MDEA skyriaus ir pagalbinių įrenginių konstrukciją, veikimo principą, technologines schemas, normalaus technologinio režimo parametrus; žinoti ir laikytis įrengimų eksploatavimo, pareigybinių instrukcijų bei instrukcijų, nurodytų atitinkamų pareigų, saugos ir sveikatos instrukcijoje, reikalavimų; mokėti saugaus darbo metodus; dėvėti specialią aprangą ir avalynę kartu su asmeninėmis apsaugos priemonėmis; neleisti darbo vietoje būti pašaliniais asmenims ir asmenims be individualių darbo saugos priemonių; žinoti pirminių gesinimo priemonių laikymo vietas; operatorinėje privalo būti visos darbo vietos, darbų saugos, priešgaisrinės saugos bei papildomos instrukcijos kartu su technologinėmis schemomis; užtikrinama gera blokuočių, signalizacijų, automatinio reguliavimo sistemų techninė būklė; periodiškai tikrinamas priešgaisrinių sistemų veikimas; supažindinama su nustatytu laiku ir tvarka daromais instrukcijų pakeitimais; užtikrinamas įrenginių įžeminimas; užtikrinama tvarkinga įrenginių ir vamzdynų techninė būklė;

užtikrinama apsauginių vožtuvų gera būklė; rūkyti tam skirtose vietose; darbuotojai aprūpinami asmeninėmis apsaugos priemonėmis; šaltu metu kontroliuoti aparatų, vamzdynų, kontrolės ir matavimo prietaisų apšildymą; kontroliuoti aparatų, vamzdynų bei jų flanšinių sujungimų ir apsauginių gaubtų, būklę; neleisti tepalo pratekėjimo per nesandarumus; ypač saugoti, kad tepalas nepatektų ant garotiekių arba turbinos korpuso, o pralietą tepalą tuoj pat surinkti tuo pat metu išvalant grindis, konstrukcijas, vamzdynus; nuolat palaikyti švarą ir tvarką darbo vietoje, neužstatyti praėjimų, avarinių išėjimų bei gaisrinio inventoriaus [33, 34].

4.5.4. Elektrosauga

Apsauga nuo elektros yra techninių, organizacinių priemonių ir teisinių normų visuma, skirtų žmonėms apsaugoti nuo pavojingo ir kenksmingo elektros srovės, elektros lanko, elektromagnetinio lauko ir statinės elektros poveikio. Žmogaus kūnu tiesiogiai pratekanti elektros srovei yra pirminis pavojus. Atsirandanti aukšta temperatūra dėl elektros lanko išlydžio yra antrinis pavojus.

Žmogaus raumenys yra stimuliuojami elektriniais impulsais. Efektas priklauso nuo srovės stiprumo. Kuomet srovė 0,25 mA jaučiamas dilgčiojimas. Kuomet elektros srovė viršija 10 mA sukeliamas raumenų spazmas, o jai pratekanti tiesiamaisiais raumenimis žmogus gali būti nusviestas kelių metrų atstumu. Kūnu pratekanti daugiau nei 50 mA srovei atsiranda didelė rizika sustoti širdžiai. 100 mA srovė traktuojama kaip mirtina. Elektros traumą gali sukelti tiek žemos, tiek aukštos įtampos srovė, priklausomai nuo individualaus organizmo savybių. Daugelis pramonėje su elektra susijusių atsitikimų dažniausiai baigiasi mirtimi, todėl būtina paisyti saugos eksploatuojant elektros įrenginius taisykles [35].

Privaloma įžeminti arba įnultinti [36]:

- Visus 50 V ir aukštesnės įtampos kintamosios bei 75 V ir aukštesnės nuolatinės srovės įrenginius esančius lauke, pavojingose ir labai pavojingose patalpose.
- Visus aukštesnės kaip 400 V kintamosios srovės ir aukštesnės kaip 440 V nuolatinės srovės įrenginius.

Kiekvienas įrengimas privalo turėti aptvarą, kuris apsaugo dirbančiuosius nuo tiesioginio kontakto su įtampa; įrenginių kontaktų dėžutė turi būti uždara; laidai privalo būti tinkamai izoliuoti; periodiškai vykdoma įrenginių apsauginio įnulinimo ar apsauginio įžeminimo savalaikė patikra, užtikrinama gera būklė bei funkcionavimas; užtikrinamas apsauginių greitai veikiančių skirtuminės srovės automatinių jungiklių funkcionavimas; reikiamose vietose pritaikomi įspėjamieji ženklai; remontuojant ar eksploatuojant elektros įrenginius naudojami atitinkami elektrai nelaidūs įrankiai bei asmeninės apsaugos priemonės [36, 37].

4.5.5. Darbo higiena

Darbo higiena yra veikla, tirianti kenksmingus darbo ir gamybinės aplinkos veiksnius ir jų įtaką sveikatai. Nustatomas jų poveikis, saugūs darbo aplinkos ir darbo vietos normatyvai, įvertinama rizika, profilaktinių priemonių veiksmingumas. Pagrindinis darbo higienos tikslas – naudojantis medicinos, technikos, fizikos, chemijos ir biologijos žiniomis sukurti sveikas darbo sąlygas ir saugoti dirbančiųjų sveikatą.

Kiekviena darbo vieta turi patenkinti higienos normų teisės aktų keliamus reikalavimus. Įvertinama kenksmingos darbo aplinkos veiksniai, darbo procesas, jo pobūdis. Pagal darbo aplinkos kenksmingų cheminių, fizikinių, biologinių bei oro cheminės taršos veiksnių rodiklius įvertinamas darbo kenksmingumas. Į žmogaus organizmą nuodingos cheminės medžiagos patenka pagrįdė kvėpuojant, taipogi su vandeniu, maistu ar per orą. Chemijos pramonėje dažniausiai apsinuodijama per orą įkvepiant nuodingų dujų mišinio, kuomet neišpildoma ar nesilaikoma higienos normų, asmeninės apsaugos reikalavimų [28].

Pavojingų medžiagų koncentracijų tyrimai ore turi būti atliekami nuolat. Nors ir darbo aplinkoje cheminės medžiagos koncentracija neviršija jos ribinio dydžio, pageidautinas kaip įmanoma mažesnis oro užterštumas. Taip yra todėl, nes cheminės medžiagos dažniausiai darbuotoją veikia ilgą laiką, dėl kurio žalinga koncentracija sveikatai yra daug mažesnė. Be to, daug žalingesnis poveikis, kuomet darbuotoją veikia daugiau nei viena cheminė medžiaga vienu metu, ypač jei dirbamas sunkus fizinis darbas. Dėl šių priežasčių reikia skrupulingai laikytis nustatytų normų. Cheminių medžiagų ribiniai dydžiai nustatomi tokie, kad žmonės dirbdami trumpalaikį ar ilgalaikį darbą pavojingoje zonoje nepatirtų poveikio sveikatai. MDEA skyriuje sutinkamos pavojingos medžiagos [28]:

Metildietanolaminas (MDEA) - tirpalas, sudarytas iš 80 % N-dietanolamino, (CAS Nr.105-59-9) ir 20 % piperazino (CAS Nr.110-85-0). Gerai tirpstantis vandenyje, geltonos spalvos skystis su amoniako kvapu. Virimo temperatūra 126 °C, užšalimo temperatūra minus 4-8 °C. IPRD-6 mg/m³, TPRD- 2 mg/m³. Sukelia nudegimus, dirgina akis, dirgina įkvėpus garų arba patekęs ant odos.

Piperazinas 68 (PIP-68) - tirpalas, sudarytas iš 68 % piperazino. (CAS Nr.110-85-0) Bepalvis arba šviesiai geltonas klampus skystis, gerai tirpstantis vandenyje. Kvapas panašus į aminų. Lydymosi intervalas 35 - 45 °C. IPRD-0,3 mg/m³, TPRD- 1 mg/m³. Sukelia nudegimus, dirgina akis, dirgina įkvėpus garų arba patekęs ant odos, toksiškas reprodukcijai.

Anglies dioksidas (CO₂ - angliarūgštė): (CAS – 124 – 38 – 9) Bepalvės, bekvapės, rūgštoko skonio dujos. Anglies dvideginis ore sudaro 0,03 ÷ 0,06 %. Jei ore yra 5 % CO₂ skauda galvą ir dusina, o jei yra 10 % - netenkama sąmonės ir dėl deguonies trūkumo gali ištikti mirtis. IPRV – 9000 mg/m³, TPRV – 18000 mg/m³.

Anglies monoksidas (CO) - (CAS – 630-08-0). Toksiškas, I kateg. toksiškas reprodukcijai. Bepalvės, beskonės ir beveik bekvapės dujos. Dega melsva liepsna. Mišinių su oru sprogstamumo ribos 12,5 – 74% tūrio. IPRD - 40 mg/m³, TPRD – 120 mg/m³. Anglies monoksidas iš kraujo oksihemoglobino išstumia deguonį, sudarydamas karboksihemoglobina, dėl ko kraujas tampa nepajėgus pernešti pakankamą deguonies kiekį iš plaučių į audinius. Sumažėjus deguonies kiekiui kraujyje, kyla dusulys.

Amoniakas (NH₃) - (CAS – 7664-41-7) Gali būti skystos, dujinės fazės. Normaliomis sąlygomis amoniakas yra aštraus kvapo, degios dujos, su oru sudaro sprogstančius mišinius, toksiškas. Sprogstamumo ribos 15 – 28% tūrio (ore). Savaiminio užsidegimo temperatūra 651°C. IPRD - 14 mg/m³, TPRD – 36 mg/m³. Amoniakas labiausiai dirgina viršutinius kvėpavimo takus, esant didelėms koncentracijoms, sužadina centrinę nervų sistemą ir sukelia traukulius. Skystas amoniakas chemiškai nudegina bei nušaldo. Patekus į akis gali apakinti, poveikis gali pasireikšti tik po kelių dienų.

4.5.6. Gaisrinė sauga

Projektuojamoje konvertuotų dujų valymo MDEA tirpalu technologijoje galimi dujų bei skysčių gaisrai. Siekiant išvengti gaisro ar užkirsti kelią jo plitimui: darbuotojai privalo laikytis gaisrinės saugos instrukcijų; degios medžiagos laikomos toliau nuo elektros linijų ar karštų paviršių; darbuotojams privalu žinoti gesinimo priemonių lokaciją, mokėti jomis naudotis; visame skyriuje atitinkamose vietose išdėstomi gesintuvai, įrengiami gaisro čiaupai gesinti žarna, gaisriniai hidrantai lauke, dėžės su smėliu ar sorbentu bei gaisrinės saugos sistemos; palaikoma tvarkinga vandentiekio techninė būklė.

Sprendžiant gaisrinės saugos klausimus reikia žinoti naudojamų technologijoje naudojamų medžiagų savybes. Dėl šios priežasties privalu sudaryti MDEA valymo skyriuje naudojamų cheminių medžiagų gaisringumo, toksiškumo ir sprogo savybių lentelę.

32 lentelė. Naudojamų cheminių medžiagų gaisrinio pavojingumo ir toksiškumo savybės [28]

Pavadinimas	Temperatūra, °C		Sprogstamumo riba ore, %		Kenksmi n-gumo klasė	Ribinė leistina koncentracija
	Pliūpsnio Užsiliepsnoji mo	Savaimio užsiliepsnojimo	Apatinė	Viršuti nė		
Metildietanol aminas	102	265	-	-	III	IPRD 6 mg/m ³ , TPRD 2 mg/m ³
Piperazinas	>199	320	-	-	III	IPRD 0,3 mg/m ³ , TPRD 1 mg/m ³
Anglies dioksidas	-	-	-	-	V	IPRV 9000 mg/m ³ , TPRV 18000 mg/m ³
Anglies monoksidas	-	605	12,5	75	V	IPRD 40 mg/m ³ , TPRD 120 mg/m ³ .

MDEA valymo skyriaus pastatui, išorinių įrenginių zonai bei operatorinei nustatoma kategorija pagal sprogo ir gaisro pavojus, įvertinus medžiagų gaisrinio pavojingumo rodiklius ir pasinaudojus gaisrinės saugos pagrindiniais reikalavimais, naudojantis atitinkamais teisės aktais. Suvestinė pateikiama 33 lentelėje.

33 lentelė. Pastatų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų, pavojingų vietų zonas [38]

Objekto, įrenginio, pavojingos vietos pavadinimas	Pastatų, patalpų kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų	Sprogimui pavojinga zona	Statinių atsparumas ugniai	Sprogo ir gaisro atžvilgiu pavojingų mišinių kategorija	Medžiagų kenksmingumo klasė darbo aplinkoje	Pavojingos zonos vietos kategoriją nulemiantis požymis
MDEA siurblinė	A _{sgi}	2-oji zona	I	IIA-TI	III-V	Nenumatytais atsitiktiniais atvejais gali susidaryti lengvai užsiliepsnojantis ar sprogu medžiagų mišinys
Išoriniai įrenginiai lauke	A _{sgi}	2-oji zona	-	IIA-TI	III-V	Nenumatytais atsitiktiniais atvejais gali susidaryti lengvai užsiliepsnojantis ar sprogu medžiagų mišinys
Operatorinė	E _g	2-oji zona	III	-	-	Patalpai naudojamos nedegios medžiagos

Žinant naudojamų technologijoje medžiagų savybes galima parinkti gesintuvus. Gesintuvai skirstomi į kategorijas pagal gesinimo medžiagos tipą:

I kategorija – vandens gesintuvai, tinkantys gesinti kietas medžiagas ir degius skysčius. A ir B klasės gaisrams.

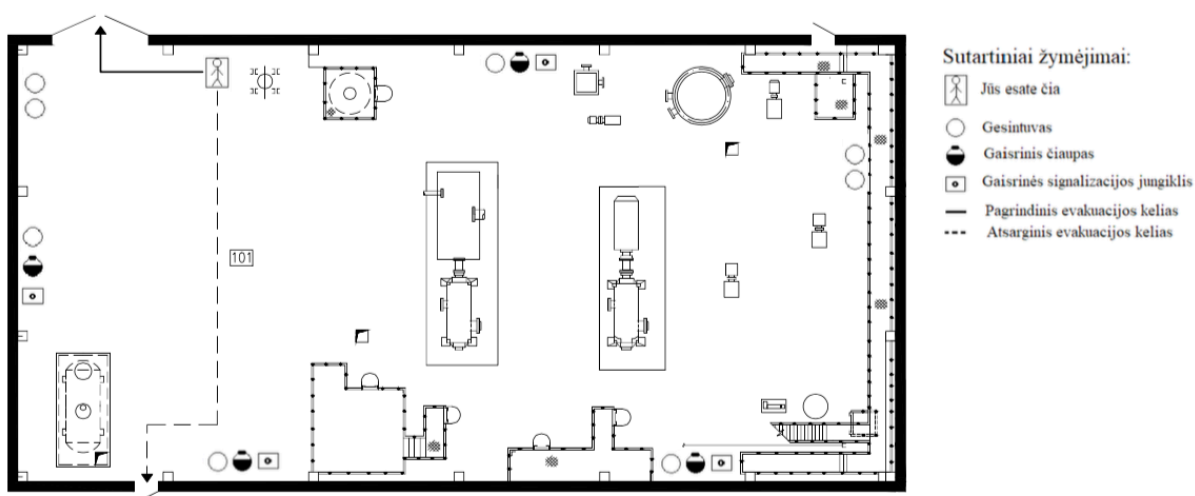
II kategorija – milteliniai gesintuvai, universalūs ir tinkantys gesinti kietoms medžiagoms, degiems skysčiams, dujoms bei elektros įrenginiams iki 1000 V. A, B, C, D ir E klasės gaisrams

III kategorija – anglies dioksido gesintuvai, tinkantys gesinti degius skysčius, dujas ir elektros įrangą iki 1000 V. C ir E klasės gaisrai.

Gesintuvai padedami gerai matomose ir lengvai prieinamose vietose, atsukami taip, kad matytųsi užrašai. Neretai statomi gaisrinių čiaupų spintelėse ar prie jų. Pagal nustatytą pastatų ir išorinių įrenginių kategoriją pagal sprogo ir gaisro pavojų, pavojingų vietų zonas, buvo parinkti milteliniai

ir anglies dioksido gesintuvai, iš viso 4 poros. Angies dioksido gesintuvais degius skysčius ir elektros įrangą, tačiau jei reikia gesinti kietas medžiagas ir dujas, kurioms nereikia deguonies degimui, būtina parinkti ir miltelinių gesintuvų. Saugos priemonės dirbant su gesintuvais: perskaityti instrukciją; gesintuvu gesinti tik tą gaisrą, kurio gesinimui jis skirtas; naudoti akinius ir respiratorių gaisrą gesinant milteliniu gesintuvu; mūvėti pirštines gaisrą gesinant angliarūgštės gesintuvu, kadangi gesintuvo antgalis stipriai atšąla; gesinti pavėjui; laikytis saugaus atstumo. [38]

Evakuacijos planas yra dar vienas svarbus gaisrinės saugos elementas. Jis iškabinamas kiekviename pastato aukšte, gerai matomose vietose. Sutartiniais ženklais parodoma esama vieta, gesinimo priemonių, gaisrinio čiaupo, gaisrinės signalizacijos jungiklio vieta, taipogi, ir svarbiausia, evakuacijos kelias. Ištinine linija pažymimas pagrindinis evakuacijos kelias, o punktyrine atsarginis evakuacijos kelias. Projektuojamam MDEA siurblinės pastatui sudarytas evakuacinis planas, pavaizduotas 13 paveiksle.



13 pav. MDEA siurblinės pastato evakuacijos planas

4.6. Aplinkosauginis vertinimas

4.6.1. Bendroji dalis

Projektuojant bet kokią veiklą svarbu įvertinti jos keliamas aplinkosaugines grėsmes. Projektuojama veikla gali tiesiogiai ir netiesiogiai veikti visuomenės sveikatą, gyvūniją ir augaliją, dirvožemį, žemės paviršių ir jo gelmes, orą, vandenį, klimatą, kraštovaizdį ir biologinę įvairovę, materialines vertybes ir nekilnojamąsias kultūros vertybes bei visų šių komponentų tarpusavio sąveiką. Suprantama, kad žmogus turi didelę įtaką planetos kaitai ir stengiamasi ją išsaugoti kuo geresnės būklės ateities kartoms. Šiais laikais, kuomet skiriamas itin didelis dėmesys aplinkai ir žalioms technologijoms, stengiamasi chemijos produktų gamybą grįsti darnaus vystymosi principais. Visos gamyklos turi užtikrinti gamybos priežiūrą visais gamybos etapais. Norint švelninti daromą poveikį aplinkai, suprojektuotas MDEA valymo skyrius ir gamykla turėtų:

- taupiai ir efektyviai naudoti žaliavas bei energetinius išteklius;
- vykdyti taršos stebėjimą;
- diegti modernias, efektyvias, saugias proceso valdymo sistemas;
- vykdyti aplinkos taršos prevenciją;
- ugdyti darbuotojo atsakingą požiūrį į gamtos apsaugą;
- kiek įmanoma daugiau CO₂, šalutinio produkto, panaudoti kaip žaliavą karbamidui gaminti.

Projektuojamoje konvertuotų dujų valymo MDEA tirpalu technologijoje gaunami du produktai – tikslinis produktas azoto-vandenilio mišinys (išvalytos dujos) bei pašalinis produktas anglies dioksidas.

34 lentelė. Duomenys apie produkciją

Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis per metus
Azoto vandenilio mišinys	t	551880
CO ₂ dujos	t	606192

Azoto-vandenilio mišinys po metanavimo etapo naudojamas amoniako sintezėje. Anglies dioksidas yra nuodas katalizatoriams amoniako sintezėje, todėl šalinamas kaip pašalinis produktas. Tačiau tuo pat metu panaudojamas kaip žaliava karbamido gamyboje, am. vandens gamyboje, metamas per žvakę į atmosferą arba naudojamas gauti sausajam ledui, skystajam anglies dioksidui ar pakavimo dujų mišiniams. Pagrindinis šios technologijos teršalas pagal teisinės normas yra anglies monoksidas ir nors anglies dioksidas nėra priskiriamas prie teršalų, atsižvelgiant į anglies dioksido nuolat eskaluojamą poveikį klimato kaitai, būtina atsižvelgti ir į šio cheminio junginio kiekį, galimai patenkantį į aplinką.

35 lentelė. Energijos vartojimas

Energetiniai ir technolginiai ištekliai	Matavimo vnt.	Sunaudojamas kiekis per metus
Elektros energija	kWh	3756480
Šiluminė energija	MJ	685200

Technologijoje naudojama didelis kiekis šiluminės energijos. Pagrindinė šiluminės energijos reikmė yra regeneracijos etape, kuomet regeneratoriuje MDEA tirpalas kaitinamas iki 125 °C. Dalis

šiluminės energijos gaunama vėsinant konvertuotas dujas joms pratekant dujiniu virintuvu, o trūkstama dalis gaunama garų pavidalu garininiame virintuve. Garai gaminami kituose skyriuose deginant metano dujas ar tam tikrų technologinių procesų metu. Elektros energija naudojama siurbliams, kaitintuvams, apšvietimui. Elektra MDEA skyriuje nėra negaminama, o tiekama tinklais.

36 lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavą, chemines medžiagas ar preparatus

Pavadinimas	Kiekis per metus, t	Pavojaus nuoroda	Rizikos frazės
Konvertuotos dujos	1172964	R6	Gali sprogti ore arba beorėje aplinkoje
MDEA tirpalas	8,4	R25, R36, R37, R38, R60	Toksiška prarijus, dirgina akis, kvėpavimo takus, odą, kenkia vaisingumui
Piperazinas	2,1	R25, R36, R37, R38, R60	Toksiška prarijus, dirgina akis, kvėpavimo takus, odą, kenkia vaisingumui
Garai	1572483	R34	Nudegina

Žaliava projektuojamame procese yra konvertuotos dujos, kurios yra nevalytos ir sudėtyje turinčios CO, H₂, CH₄, todėl yra degios ir sprogios. Mišinyje su oru sprogimo ribos 4÷75 tūrio %. Dėl dujose esančių CO dujų (smalkių), konvertuotos dujos toksiškai veikia žmogaus organizmą, IPRV-40 mg/m³, TPRV-120 mg/m³. MDEA tirpalas naudojamas CO₂ valyti iš dujų, sprogimo atžvilgiu nepavojingas bespalvis skystis, sukelia nudegimus, dirgina akis, įkvėpus ir kontaktuojant su oda gali jautrinti, pliūpsnio temperatūra – 132 °C. Piperazinas naudojamas aktyvuoti MDEA. Klampus bespalvis ar šviesiai geltonas skystis, kvapas panašus į aminių, lydosi 35-45 °C, verda ties 110 °C, nėra sprogus. Gali sukelti alerginę odos reakciją, stipriai nudegina odą, smarkiai pažeidžia akis. Įtariama, kad gali pakenkti vaisingumui ar negimusiam vaikui. Neprofesionalus naudojimas ar išmetimas gali sukelti pavojų aplinkai. Kenksminga vandens organizmams. Garai gaminami kituose skyriuose, naudojamas MDEA tirpalui kaitinti.

4.6.2. Oro tarša

Pagrindinės taršios medžiagos, susidarantys technologinio proceso metu – CO ir CO₂. CO₂ ir CO desorbuojasi iš promdesorberio arba prisotinto MDEA tirpalo regeneratoriuje, dalis CO₂ naudojama kaip žaliava karbamidui ar kitiems produktams, o perteklius metamas į atmosferą per žvakę.

37 lentelė. Tarša į aplinkos orą

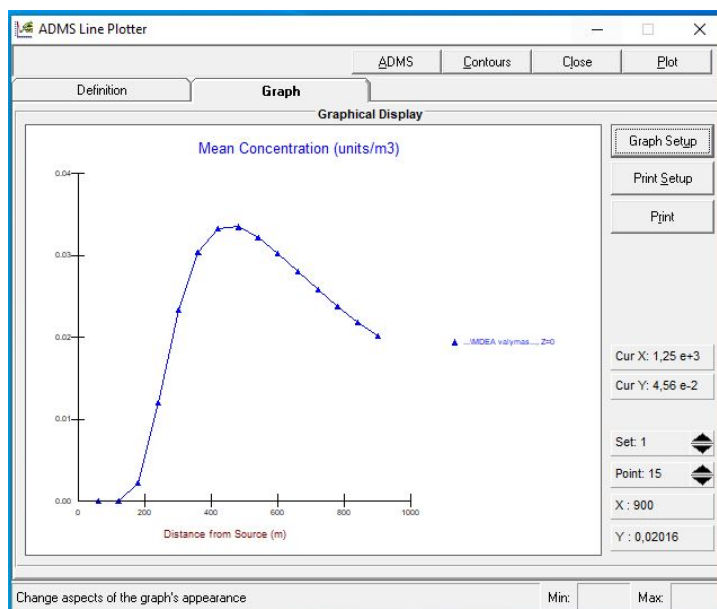
Taršos šaltinis	Teršalai	Numatoma tarša		
		Mato vnt.	Maks.	Metinė, t/m
CO ₂ žvakė	Anglies monoksidas	g/s	8,85	394,3
	Anglies dioksidas		-	303277

38 lentelė. Stacionarių taršos šaltinių fiziniai duomenys

Taršos šaltiniai			Išmetamų dujų rodikliai matavimo vietoje			Teršalų išmetimo trukmė val/m
Pavadinimas	Aukštis, m	Išėjimo angos matmenys, m	Srauto greitis, m/s	Temperatūra, °C	Tūrio debitas, Nm ³ /s	
CO ₂ žvakė	64,2	0,8	6,41	40	3,22	8760

Aplinkos oro teršalų valymo įrenginių nėra, kadangi išmetamo CO₂ dujų srautas yra milžiniškas. 12000 - 32000 m³/h CO₂ dujų tiekiamą į karbamido ir am.vandens cechus gamybai, todėl geriausias būdas mažinti poveikį aplinkai yra didinti karbamido gamybos pajėgumą.

Neatitiktiniai teršalų išmetimai į aplinkos orą vyksta gamybinės linijos leidimo ar stojimo metu, prasidedant avariniam stojimui, atsirandant įrengimų pralaidoms (dehermetizacijai). Jei personalas tinkamai eksploatuoja įrenginius, avarijų ar dehermetizavimo galimybė labai maža. Visi teršalų neatitiktiniai išmetimai nukreipiami į reformingo skyriaus dujinių atliekų sudeginimo fakelą.



14 pav. Anglies monoksido sklaidos grafikas

Remiantis programos ADMS skaičiavimu gautu sklaidos grafiku, matyti, kad didžiausia CO teršalų koncentracija pažemio sluoksnyje bus ties 400 metrų nuo stacionaraus taršos šaltinio, o toliau tolygiai mažėja.

4.6.3. Susidarančios nuotekos

Technologijoje naudojamas upės vanduo, paruošiamas kitame skyriuje. Atitinkamai nudruskinamas ar ne, jei to nereikia. Susidarančios nuotekos – amonio azotas. Susidarančių nuotekų duomenys pateikiami 39 lentelėje.

39 lentelė. Duomenys apie nuotekų šaltinius ir ar išleistuvus

Eil.Nr.	Nuotekų išleidimo vietos aprašymas	Išleidžiamų nuotekų aprašymas	Teršiančios medžiagos			
			Pavadinimas	Kodas	LT normatyvo mato vnt.	LT normatyvo reikšmė (koncentracija)
1	50 m ³ talpykla	Gamybinės nuotekos	Amonio azotas pH nuotekų kiekis	1106	mg/m ³ – m ³ /h	100 6,5-9,5 Ne daugiau kaip 162

Nuotekos pagrinde susidaro separuojant drėgmę iš dujų, procesinį kondensatą. Šilumokaičių prakiurimo atvejais drenavimo vandens drenuojasi į 50 m³ talpykla. Visi MDEA tirpalo ir flegmos nusipylimai siurblinėje suteka į prieduobes, iš kur siurbliais išpumpuojamas į MDEA tirpalo talpyklą.

4.6.4. Atliekos

Technologija yra ganėtinai švari ir nepavojinga aplinkai, kadangi nesusidaro dideli kiekiai kietų ar skystų atliekų. Didįjį kiekį atliekų sudaro kas 3 mėnesiai keičiama atidirbusi aktyvinta anglis, skirta filtruoti MDEA tirpalą. Nedidelis kiekis atliekų atsiranda keičiant tepalus, ar valant jų pralaidas.

40 lentelė. Susidarančių atliekų duomenys

Pavadinimas	Atliekos susidarymo vieta	Pavojingumas	Susidarymo kiekis, t/m	Susidarymo periodiškumas	Atliekų tvarkymo būdas
Atidirbę tepalai	Įrengimų remontas ir priežiūra	H14 pavojingos aplinkai	0,2	Kas metai	R13
Aktyvinta anglis	Anglies filtras	Nepavojingos	6,0	Kas 3 mėnesiai	D1
Tepaluotos pašluostės	Įrengimų remontas ir priežiūra	H14 pavojingos aplinkai	0,8	Kas metai	R13

Bendrai pasvėrus atskirus poveikio aplinkai vertinimo aspektus projektuojamai konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologijai, galima teigti, kad technologijos daroma žala aplinkai yra menka. Gamybinių nuotekų yra mažai, jos valomos, o atliekų susidaro taipogi nedidelis kiekis. Metamos į aplinką dujos, nors ir dideliais kiekiais, yra sąlyginai netoksiškos žmogui. 400 metrų nuo stacionaraus taršos šaltinio CO koncentracija mažėja iki bereikšmio dydžio, todėl per kelis kilometrus nuo gamyklos esančioms gyvenamosioms vietovėms rizikos nekelia.

Pažvelgus į situaciją iš klimato kaitos pusės, susirūpinimą kelia patenkantis CO₂ kiekis į atmosferą. Technologinėje linijoje susiduriama su milžinišku iki 203000 m³/h dujų srautų, kuriame valomas CO₂ sudaro iki 18 % ir siekia iki 70000 kg/h. Apie 50 % CO₂ srauto nukreipiama karbamido ar amoniakinio vandens gamybai. CO₂ srautą pilnai apdoroti ir neišleisti į aplinką yra praktiškai

neįmanoma, tačiau norint kuo labiau jį sumažinti, tiksliausias kelias yra kuo didesnis CO₂, kaip žaliavos, panaudojimas.

Išvados

1. Apžvelgtos Shell ADIP, Benfield, Benfiel LoHeat, Benfield HiPure, Flour tirpiklio, Catacarb, Rectisol, Giammarco-Vetrocoke, Selexol, Shell Sulfinol, aktyvuoto MDEA technologijos, naudojamos pramonėje valyti CO₂ iš dujų srautų.
2. Medžiagų balanso skaičiavimai atlikti nagrinėjamai konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ aktyvuotu MDEA tirpalu technologijai, kurios valomame 203000 m³/h dujų sraute yra 17,55 % CO₂. Skaičiavimai parodė, kad dujoms išvalyti prireiks 945,2 m³/h cirkuliuojančio 5 % piperazinu aktyvuoto 50 % MDEA vandeninio tirpalo srauto. Pasinaudojus žinytais ir Aspen HYSYS duomenimis, nuspręsta optimizuoti absorbuojančio tirpalo galimybes pakeičiant jo sudėtį, kuriame bus 38 % MDEA ir 10 % piperazino. Taipogi į technologiją įdiegti promdesorberį, kuriame slėgio numetimo pagalba dalinai regeneruojamas prisotintas MDEA tirpalas. Atliktais skaičiavimais nustatyta, kad CO₂ absorbcijai prireiks žymiai mažesnio 706,2 m³/h tirpalo srauto.
3. Aprašytas konvertuotų dujų valymo technologinis procesas su pakeitimas, pateiktas technologinės schemos ir promdesorberio aparato brėžinys. Aspen HYSYS aplinkoje sumodeliuotas technologinis agregatas su patobulinimu, kurio duomenis įvertinus nustatytas 748,9 m³/h MDEA tirpalo srautas absorbcijai atlikti. Remiantis gautais duomenimis MDEA tirpalo srautą po rekonstrukcijos pavyks sumažinti 229,6 m³/h. Tai leidžia sumažinti regeneracijai reikalingos energijos kiekį nuo 832200 MJ/h iki 685200 MJ/h.
4. Statybinių sprendimų dalyje pateiktas projektuojamo 714 m² ploto MDEA siurblinės pastato aprašymas kartu su 65,4 arų sklypo ir technologinės linijos įrenginių informacija. Pateikiami projektuojamo sklypo plano, siurblinės pastato plano, pjūvio priekio, pjūvio iš šono brėžiniai.
5. Atliktas ekonominis ir finansinis vertinimas tobulinamai konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologinei linijai 545000 tonų per metus amoniako gamyboje. Rekonstrukcijos atveju gaunamas papildomas 27,08 Eur/t pelnas gaminio tonai, kuris sugeneruoja 13,9 mln. Eur papildomą pelną. Lūžio taško skaičiavimais nustatytas 298616 tonų pagaminamo ir parduodamo amoniako kiekis, kad gamybinė veikla taptų pelninga po 1,15 mln. Eur. investicijų. Įvykdžius investicijų efektyvumo vertinimą nustatyta, kad projektas atsiperka po 1,56 metų. Ekonominio ir finansinio vertinimo skaičiavimais patvirtinama, kad projektuojama technologinės linijos rekonstrukcija yra efektyvi.
6. Pagal nustatytus rekonstruotos technologijos pavojus atliktas profesinės rizikos vertinimas, sudarytos prevencijos priemonės rizikos mažinimui, aptarta elektrosauga ir darbo higiena. Aprašyti darbuotojų reikalavimai saugiai gamybai užtikrinti. Įvertinti naudojamų cheminių medžiagų gaisrinio pavojingumo ypatumai, pagal juos darbo zonoms priskirtos atitinkamos pavojingumo pagal sprogo ir gaisro pavojų kategorijos. Nubraižytas evakuacijos planas.
7. Rekonstruojamos konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ technologinės linijos aplinkosauga įvertinta pagal susidarantį atliekas, nuotekas bei oro taršą. Nustatyta, kad didžiausią žalą daro oro tarša su 394,3 tonų per metus išmetamo CO, o išmetamas CO₂ kiekis priklauso nuo karbamido gamybos apkrovos. Sudarytas sklaidos grafikas rodo, kad 400 metrų nuo stacionaraus teršalų šaltinio CO koncentracija bus bereikšmė ir saugi.

Literatūros sąrašas

1. Lambers, Hans. ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. *Photosynthesis*. 2020 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 8 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.britannica.com/science/photosynthesis>.
2. Easterbrook, Steve. Who first coined the term “Greenhouse Effect”? *Serendipity; Applying systems thinking to computing, climate and sustainability*. 2018 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 10 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.easterbrook.ca/steve/2015/08/who-first-coined-the-term-greenhouse-effect/>.
3. GML. Trends in CO₂. *Earth System Research Laboratories*. 2020 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 9 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
4. A.V. Krilova, N.V. Nefedova. Poisoning and Passivation of Ammonia Synthesis Catalyst at Various Temperatures. *ScienceDirect*. 2017 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 10 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167299109603979>.
5. NIST. Carbon Dioxide. *Nation Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce*. 2020 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 11 d.]. Prieiga per internetą: <https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C124389&Units=SI&Mask=4#Thermo-Phase>.
6. PubChem. Carbon Dioxide. *National Library of Medicine*. 2020 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 11 d.]. Prieiga per internetą: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Carbon-dioxide>.
7. CDP. Carbon dioxide. *Carbon Dioxide Properties*. 2020 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 11 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.carbon-dioxide-properties.com/aboutco2.aspx>.
8. UIG. Properties, Uses and Applications of Gas and Liquid Carbon Dioxide. *Universal Industrial Gases, Inc.* 2018 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 12 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.uigi.com/carbondioxide.html>.
9. IEA. Putting CO₂ to Use. *IEA*. 2019 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.iea.org/reports/putting-co2-to-use>.
10. EstrellaMountain. Photosynthesis. *Estrella Mountain Community College*. 2018 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www2.estrellamountain.edu/faculty/farabee/biobk/BioBookPS.html>.
11. R. Ochieng, A. S. Berrouk, C. J. Peters. Simulation of the Benfield HiPure Process of Natural Gas Sweetening for LNG Production and Evaluation of Alternatives. *BRE*. 2017 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 12 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.bre.com/PDF/Simulation-of-the-Benfield-HiPure-Process-of-Natural-Gas-Sweetening-for-LNG-Production-and-Evaluation-of-Alternatives.pdf>.
12. Derks, P.W.J. CO₂ ABSORPTION IN PIPERAZINE ACTIVATED N-METHYLDIETHANOLAMINE. *University of Twente*. 2007 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 12 d.]. Prieiga per internetą: <https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/6086891>.
13. Hermann Hofbauer, Reinhard Rauch, Karl Ripfel-Nitsche. *Report on Gas Cleaning for Synthesis Applications*. Vienna : University of Technology Institute of Chemical Engineering, 2007.
14. Bernd, SERR. *Reference Document on Best Available Techniques for the Manufacture of Large Volume Inorganic Chemicals - Ammonia, Acids and Fertilisers*. Vienna : International Fertilizer Society, 2007.
15. HydrocarbonProcessing®. *2012 Gas Processes Handbook*. HydrocarbonProcessing, 2012.
16. Shell. SHELL GLOBAL SOLUTIONS TECHNOLOGY PORTFOLIO. *Shell*. 2019 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.shell.com/content/dam/shell-new/global/downloads/pdf/interactive-gas-processing-portfolio-final.pdf>.
17. Maxwell, Gary R. *Synthetic Nitrogen Products, A Practical Guide to the Products and Processes*. New York : Kluwer Academic Publishers, 2006.

18. Stanislav Milidovich, Edward Zbacnik. Increasing Efficiency of Hot Potassium Carbonate CO₂ Removal Systems. *Honeywell, UOP*. 2017 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.uop.com/?document=increasing-efficiency-of-hot-potassium-carbonate-co2-removal-systems&download=1>.
19. FLOUR. Flour Solvent Proces for Carbon Dioxide Removal. *Flour Technologies*. 2020 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 14 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.flour.com/about-flour/corporate-information/technologies/flour-solvent>.
20. Feron, Paul H.M. *Absorption-Based Post-Combustion Capture of Carbon Dioxide*. s.l. : Woodhead Publishing, 2016. 978-0-08-100514-9.
21. AirLiquide. Rectisol - SynGas purification. *Air Liquide Engineering & Construction*. 2019 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.engineering-airliquide.com/rectisoltm-syngas-purification>.
22. UOP. UOP Selexol Technology for Acid Gas Removal. *Honeywell UOP*. 2010 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.uop.com/?document=uop-selexol-technology-for-acid-gas-removal&download=1>.
23. AspenTech. AspenONE Product Portfolio. *AspenTech*. 2019 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 15 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.aspentech.com/en/products/full-product-listing>.
24. Ignitis. Igniti Elektros Energijos Kainos. *Ignitis*. 2020 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 16 d.]. Prieiga per internetą: <https://ignitis.lt/lt/elektros-energijos-kainos-namams-nuo-2020-sausio-1-dienos>.
25. Lietuvos Bankas. Paskolų palūkanų normos. *Lietuvos Bankas*. 2020 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 16 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.lb.lt/lt/paskolu-palukanu-normos>.
26. Valstybės žinios. *Dėl Sanitarinių apsaugos zonų ribų nustatymo ir režimo taisyklių patvirtinimo*. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2004. Nr. 134-4878.
27. Valstybės žinios. *Dėl Profesinės rizikos vertinimo bendrųjų nuostatų patvirtinimo*. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2012. Nr. 126-6350.
28. Valstybės žinios. *HN 23:2011. Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai*. Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministerija, 2011.
29. Valstybės žinios. *Dėl darbuotojų apsaugos nuo vibracijos keliamos rizikos nuostatų patvirtinimo*. Lietuvos Respublikos socialinės apsaugos ir darbo ministerija, 2004. Nr. 41-1350.
30. Valstybės žinios. *HN 69:2003 "Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai*. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2004. Nr. 45-1485.
31. Valstybės žinios. *Dėl Slėginių indų naudojimo taisyklių DT 12-02 patvirtinimo*. Lietuvos Respublikos ūkio ministerija, 2002. Nr. 115-5165.
32. Valstybės žinios. *HN 98 : 2000 "Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai"*. Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministerija, 2000. Nr. 44-1278.
33. Valstybės žinios. *Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas*. Lietuvos Respublikos Seimas, 2003. Nr. 70-3170.
34. Valstybės žinios. *Dėl Darbuotojų saugos ir sveikatos instrukcijų rengimo ir darbuotojų, darbdavių susitarimu pasiūstų laikinam darbui į įmonę iš kitos įmonės, instruktavimo tvarkos aprašo patvirtinimo*. Lietuvos Respublikos valstybinė darbo inspekcija prie Socialinės apsaugos ir darbo ministerijos, 2012. Nr. 96-4944.

35. Hydro Quebec. The effect of an electric shock on human body. *Hydro Quebec*. 2019 m. [Žiūrėta: 2020 m. 4 17 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.hydroquebec.com/safety/electric-shock/consequences-electric-shock.html>.
36. Valstybės žinios. *Dėl Saugos eksploatuojant elektros įrenginius taisyklių patvirtinimo*. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, 2010. Nr. 39-1878.
37. Valstybės žinios. *Dėl Elektros įrenginių įrengimo bendrųjų taisyklių patvirtinimo*. Lietuvos Respublikos energetikos ministerija, 2012. Nr. 18-816.
38. Valstybės žinios. *Dėl Gaisrinės saugos pagrindinių reikalavimų patvirtinimo*. Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamentas prie Vidaus reikalų ministerijos, 2010. Nr. 146-7510

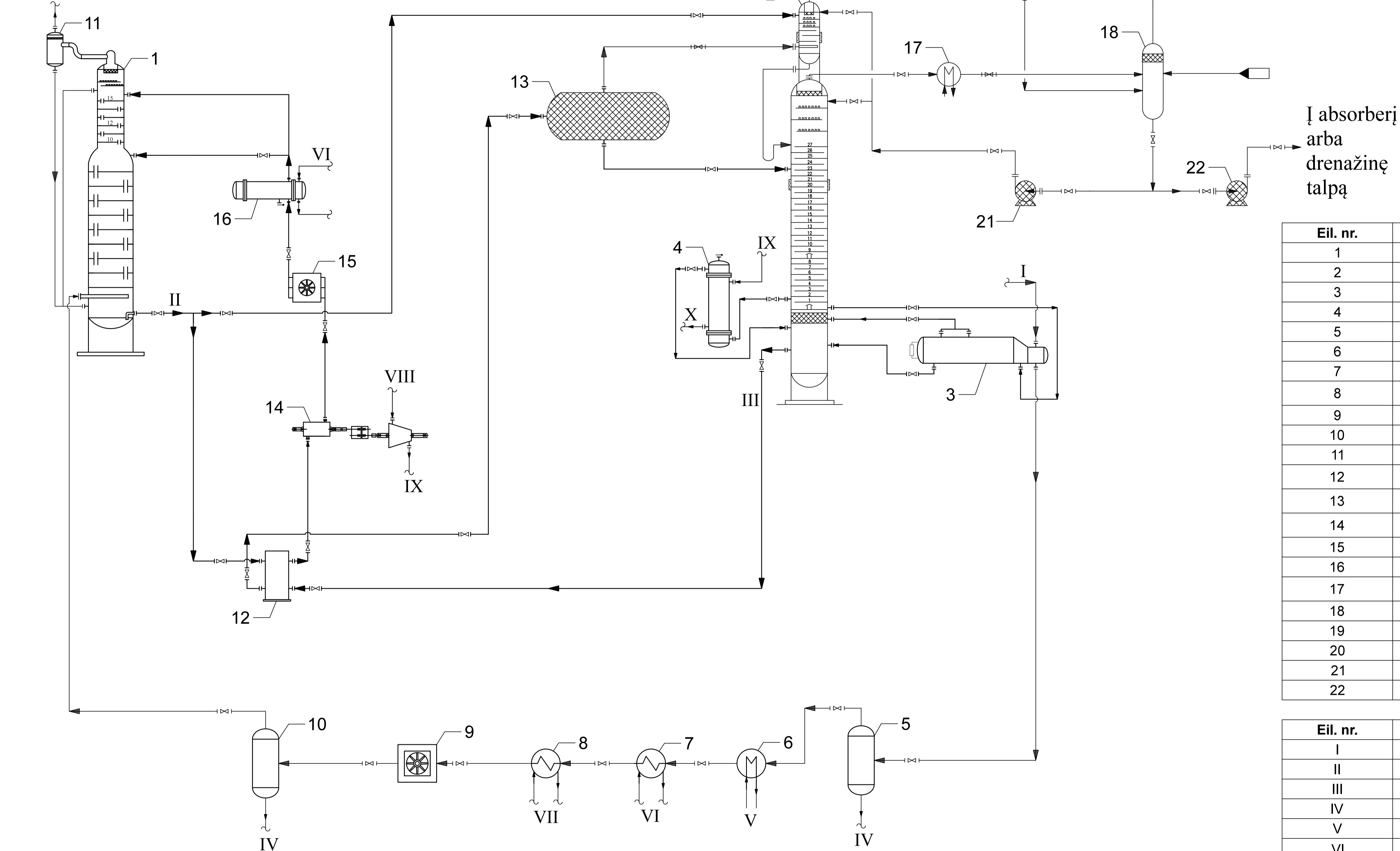
Priedai

- 1 priedas. Konvertuotų dujų valymo nuo CO₂ MDEA tirpalu patobulinta technologinė schema.**
- 2 priedas. Promdesorberio aparato brėžinys.**
- 3 priedas. MDEA siurblinės pastato planas**
- 4 priedas. MDEA siurblinės pastato pjūvis iš priekio**
- 5 priedas. MDEA siurblinės pastato pjūvis iš šono**
- 6 priedas. Sklypo planas**

Išvalytos KD
į metanavimą

CO₂ į
žvakę
CO₂ į
karbamido
cechą

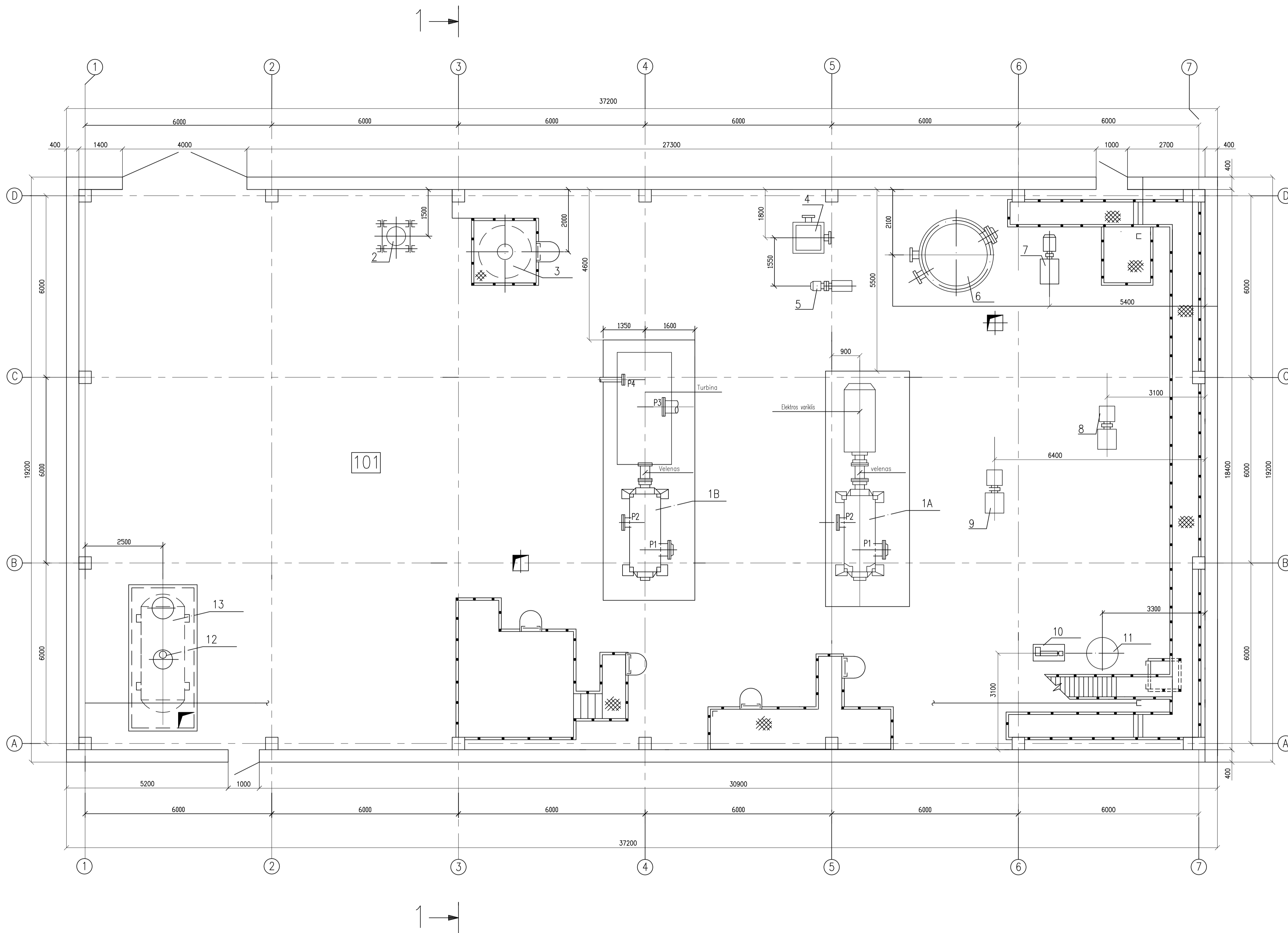
Į absorberį
arba
drenažinę
talpą



Eil. nr.	Pavadinimas
1	Absorberis
2	Regeneratorius
3	Dujinis virintuvas
4	Garinis virintuvas
5	Separatorius
6	Amoniakinio aušinimo įrenginys
7	Šilumokaitis
8	Bedruskio vandens pašildytuvas
9	Orinis aušintuvas
10	Separatorius
11	Separatorius
12	MDEA tirpalo šilumokaitis
13	Promdesorberis
14	Regeneruoto MDEA tirpalo siurblys
15	Orinis aušintuvas
16	Vandeninis aušintuvas
17	Vandeninis aušintuvas
18	Flegmos rinktuvas
19	Orinis aušintuvas
20	Separatorius
21	Flegmos siurblys
22	Flegmos siurblys

Eil. nr.	Pavadinimas
I	Konvertuotos dujos
II	Prisotintas MDEA tirpalas
III	Regeneruotas MDEA tirpalas
IV	Dujinis kondensatas
V	Amoniakas
VI	Cirkuliacinis aušinimo vanduo
VII	Demineralizuotas vanduo
VIII	G _{4,05} vandens garai
IX	G _{0,35} vandens garai
X	Garų kondensatas

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas	Magistro baigiamasis darbas	
TMC-8	Vardas Pavardė Data Paršas	Dujų valymo nuo CO ₂ agreto technologinis įvertinimas	
Atliko	R. Kondratavičius	Technologinė schema	
Vadovas	A. Jaskūnas		
Konsultavo	O. Viliūnienė		
Recenzavo	S. Kūrys	Laida	
Prėtasas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra	2020-MBD-OCH	Lapas
MBP	LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas	1	Lapų
			6



Pastato eksplikacija

Eil. nr.	Pavadinimas	Plotas, m ²
101	MDEA siurblinė	714,2

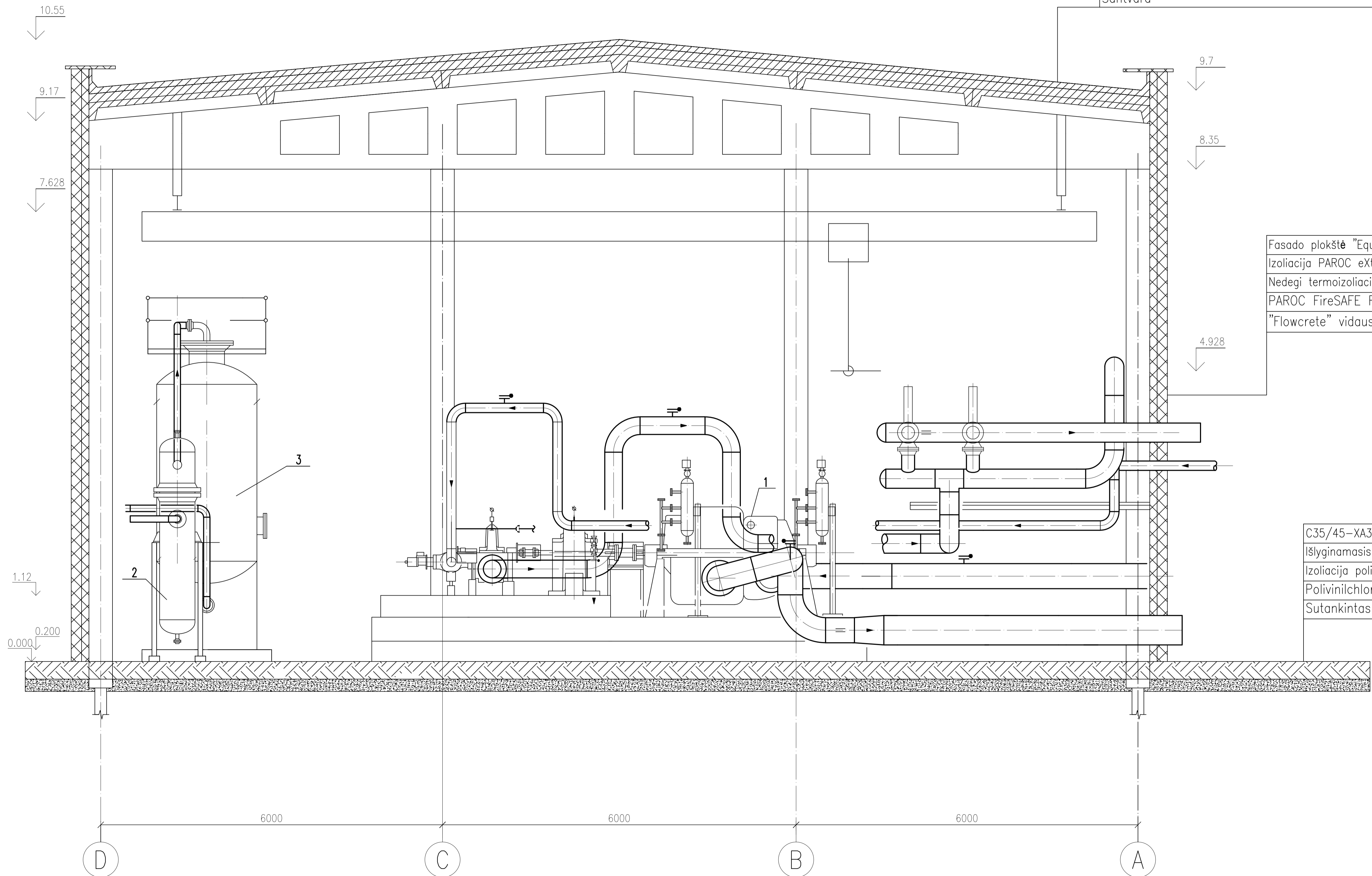
Įrengimų eksplikacija

Eil. nr.	Pavadinimas	Kiekis
1	MDEA tirpalo siurblys su garo turbina	2
2	MDEA tirpalo mechaninis filtras	1
3	MDEA tirpalo anglinis filtras	1
4	Šarmo paruošimo talpa	1
5	Šarmo siurblys	1
6	Šarmo talpa	1
7	MDEA siurblys	1
8	Flegmos siurblys	1
9	Flegmos siurblys	1
10	Antiputokšlio siurblys	1
11	Antiputokšlio talpa	1
12	MDEA tirpalo talpa	1
13	MDEA tirpalo giluminis siurblys	1

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas	Magistro baigiamasis darbas
TMC-8	Vardas Pavardė Data Paršas	Dujų valymo nuo CO ₂ agreto technologinis įvertinimas
Ašiko	R. Kondratavičius	Pastato planas Mastelis 1:140
Vadovas	A. Jaskūnas	
Konsultavo	O. Vilūnienė	
Recenzavo	S. Kėrys	Lapas Lapų
Pretapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra	2020-MBD-OCH
MBP	LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas	3 6

Pjuvis 1-1

Prilydoma polimerinė bituminė stogo danga
Nedegus hidroizoliacinis sluoksnis, d=10 mm
Šilumos izoliacija PAROC eXtra, d=100 mm
Oro ir garų izoliacija PAROC XMV 020bas, d=0,2 mm
Perdangos plokštė, d=30mm
Stogą laikanti konstrukcija
Santvara

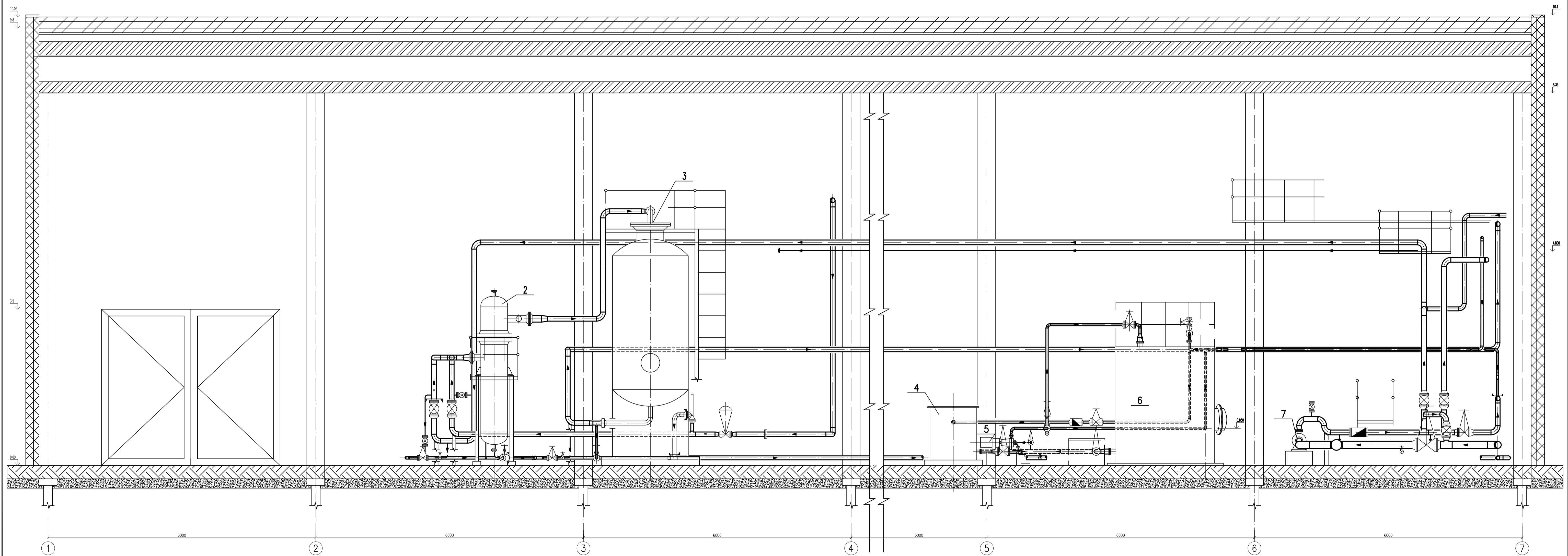


Fasado plokštė "Equitone Fectiva" ant alum. profilių
Izoliacija PAROC eXtra, d=100 mm
Nedegi termoizoliacinė plokštė SkamoTeC A1, d=40 mm
PAROC FireSAFE RF30 plokštė, d=50 mm
"Flowcrete" vidaus sienų danga, d=20 mm

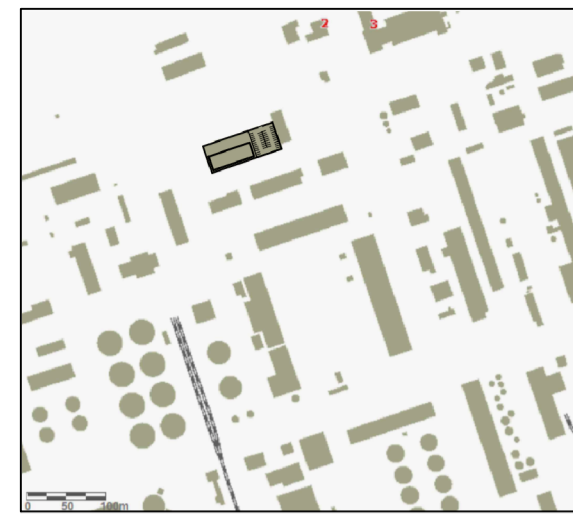
C35/45-XA3 betono danga, d=30 mm
Išlyginamasis sluoksnis, d=80 mm
Izoliacija polistirolas EPS100, d=100 mm
Polivinilchlorido plėvelės hidroizoliacija, d=10 mm
Sutankintas gruntas

Grupė TMC-8	KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis darbas	
	Vardas Pavardė	Data	Parasas	Dujų valymo nuo CO ₂ agreto technologinis įvertinimas	
Atliko	R. Kondratavičius			Pastato pjūvis 1-1	
Vadovas	A. Jaskūnas			Mastelis 1:28	
Konsultavo	O. Viliūnienė			Lapas	Lapų
Recenzavo	S. Kitrys			4	6
Pretapas MBP	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas			2020-MBD-OCH	

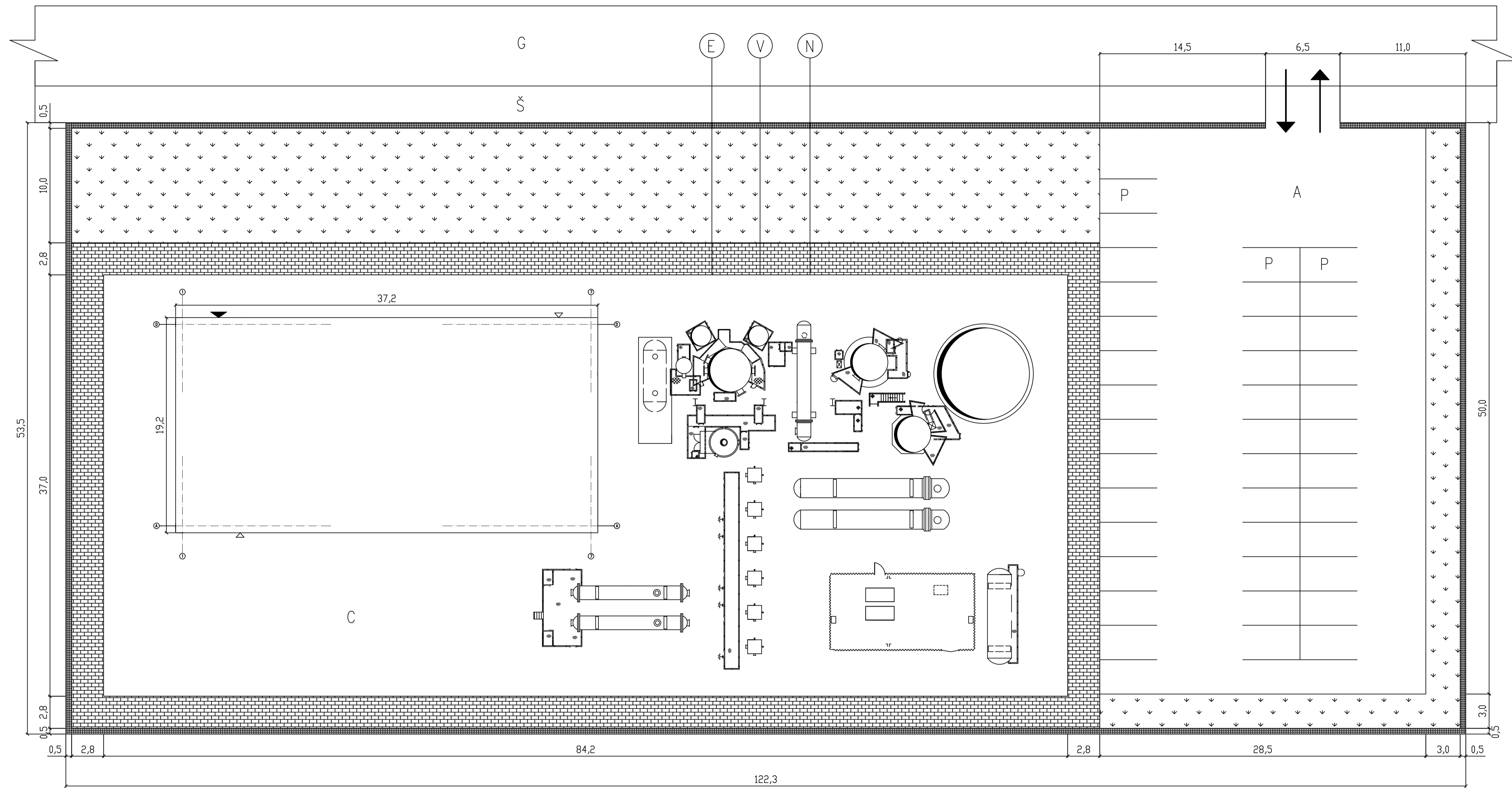
Pjūvis 2-2



Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis darbas	
TMC-8	Vardas Pavardė	Data	Parasas	Dujų valymo nuo CO ₂ agreto technologinis įvertinimas	
Atliko	R. Kondratavičius			Pastato pjūvis 2-2	
Vadovas	A. Jaskūnas			Mastelis 1:44	
Konsultavo	O. Viliūnienė			Laida	
Recenzavo	S. Kitrys			Lapas Lapų	
Pretapas	Fizinės ir neorganinės chemijos katedra			2020-MBD-OCH	
MBP	LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas			5	6



Situacijos planas



Sutartiniai žymėjimai

A	Asfalto danga	[Brick pattern]	Plytelės
C	Cecho teritorija	[Dotted pattern]	Žolė
G	Gatvė	E	Elektra
Š	Šaligatvis	V	Vanduo
P	Parkavimo vietos	N	Nuotekos
[Brick pattern]	Tvora	▽	Įėjimas/išėjimas
▼	Vartai		

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis darbas	
TMC-8	Vardas Pavardė	Data	Parasas	Dujų valymo nuo CO ₂ agreto technologinis įvertinimas	
Atliko	R. Kondratavičius			Laida	
Vadovas	A. Jaskūnas			Sklypo planas Mastelis 1:218	
Konsultavo	O. Viliūnienė			Lapas	Lapų
Recenzavo	S. Kitya			6	6
Pretapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra			2020-MBD-OCH	
MBP	LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas				