



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Metano konversijos optimizavimas panaudojant žalią vandenilį

Baigiamasis magistro projektas

Rimvydas Abromavičius

Projekto autorius

Lekt. dr. Andrius Jaskūnas

Vadovas

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Metano konversijos optimizavimas panaudojant žalią vandenilį

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Rimvydas Abromavičius

Projekto autorius

Lekt. dr. Andrius Jaskūnas

Vadovas

Doc. dr. Rasa Šlinkšienė

Recenzentė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Rimvydas Abromavičius

Metano konversijos optimizavimas panaudojant žalią vandenilį

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Rimvydas Abromavičius

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:
Cheminės technologijos fakulteto dekanas
prof. dr. K. Baltakys
Dekano potvarkis Nr. V25-02-11, 2023–05–15

Suderinta:
Fizikinės ir neorganinės chemijos katedros
vedėja doc. dr. I. Ancutienė
2023 m. kovo mėn. 03 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema	Metano konversijos optimizavimas panaudojant žalią vandenilį
Darbo tikslas ir uždaviniai	<p>Darbo tikslas – išanalizuoti pramonėje naudojamus vandenilio gamybos būdus, įvertinti nagrinėjamos vandenilio gamybos iš metano optimizavimo galimybes panaudojant žalią vandenilį.</p> <p>Darbo uždaviniai: atlikti vandenilio gamybos būdų literatūros apžvalgą; atlikti metano konversijos proceso bei žaliavų analizę ir vertinimą taikant pasirinktą modeliavimo metodiką ir pateikti technologijos tobulinimo galimybių vertinimą kai į esamą technologiją yra tiekiamas žalias vandenilis; 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.</p>
Reikalavimai ir sąlygos	Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanu 2023 m. kovo 17 d. potvarkiu Nr. V25-02-4 patvirtintuose „Pirmosios pakopos studijų programos Cheminė technologija ir inžinerija ir antrosios pakopos studijų programos Chemijos inžinerija baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodiniuose reikalavimuose“.
Vadovas	lekt. dr. Andrius Jaskūnas (vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas) 2023–03–02 (data)
Užduotį gavau:	<u>Rimvydas Abromavičius</u> (studento vardas, pavardė) 2023–03–02 (parašas, data)

Abromavičius, Rimvydas. Metano konversijos optimizavimas panaudojant žalią vandenilį. Magistro baigiamasis projektas, vadovas lekt. dr. Andrius Jaskūnas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: metano konversija, žalias vandenilis, metano konversijos optimizavimas.

Kaunas, 2023. 74 p.

Santrauka

Baigiamajame magistro projekte atliekama žalio vandenilio gamybos ir amoniako panaudojimo apžvalga. Atlikus žalio vandenilio gamybos apžvalgą, buvo aprašytos gamybos proceso stadijos ir joms atlikti naudojami įrenginiai bei procesui vyksti reikalingi parametrai. Nubraižoma gamybos technologinė schema, detalus šachtinio konverterio konstrukcinis brėžinys, taip pat nubraižomas statybos teritorijos planas bei įrengimų išdėstymas panaudojant „Autocad“ programinį paketą. Nubraižyta technologinė schema detaliai aprašoma. Naudojantis Aspen HYSYS programiniu paketu sumodeliuojama, išanalizuojama ir tiriama gamybos technologija. Gamybos technologija modeliuojama pritaikant programiniame pakete esančius atitinkamus įrengimus, kurie atstoja realius gamyboje naudojamus aparatus. Sumodeliuota schema pajėgi konvertuoti 33220 kg/h metano. Sudaromas profesinės rizikos vertinimas, įvertinama saugi gamyba, darbo higiena ir gaisrinė sauga. Apskaičiuojami finansiniai bei ekonominiai rekonstrukcijos rodikliai ir pateikiamas aplinkosauginis vertinimas.

Author's surname, name. Optimization Of Methane Conversion for Introduction of Green Hydrogen. Master's Final Degree Project supervisor lekt. dr. Andrius Jaskūnas, Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: methane conversion, green hydrogen, methane conversion optimization.

Kaunas, 2023. Number of Pages 74.

Summary

The master's final project provides an overview of green hydrogen production and ammonia utilization. After an overview of the production of green hydrogen, the stages of the production process and the devices used for them were described, as well as the parameters required for the process. The technological scheme of the production is drawn, the detailed structural drawing of high temperature shaft converter, as well as the plan of the construction area and the layout of the equipment are drawn using the „Autocad“ software package. The drawn technological scheme is described in detail. The production technology is modeled, analyzed and studied using the Aspen HYSYS software package. The production technology is modeled by applying the relevant equipment in the software package, which represent real apparatus used in the production. The modeled scheme is capable of converting 33220 kg/h of methane. A professional risk assessment is made. Safe production, work hygiene and fire safety are evaluated. The financial and economic indicators of the reconstruction are calculated and an environmental assessment is presented.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	10
Paveikslų sąrašas.....	12
Santrumpų ir terminų sąrašas.....	13
Įvadas	14
1. Literatūros apžvalga	15
1.1. Metano konversija.....	15
1.1.1. Metano garų konversijos konvencinės sistemos	15
1.1.2. Problemos atsirandančios naudojant įprastinę metano konversiją.....	15
1.1.3. Galimi tobulinimai metano konversijos procesui	16
1.1.4. Vandenilio gamyba be išmetamų į atmosferą CO ₂ dujų.....	16
1.2. Mėlynasis vandenilis	17
1.2.1. Mėlynojo vandenilio iššūkiai.....	18
1.3. Žalias vandenilis	19
1.4. Žaliojo vandenilio gamybos būdai.....	20
1.4.1. Vandens elektrolizė	20
1.4.2. Vandens termolizė.....	21
1.4.3. Termokatalizinis vandenilio sulfido krekingas.....	21
1.4.4. Branduolinės energijos panaudojimas vandenilio gamybai	22
1.5. Amoniaką kaip kuro panaudojimas	22
1.6. Iššūkiai panaudojant, amoniaką kaip kurą.....	23
1.6.1. Aukšti slėgiai ir temperatūros	23
1.6.2. Korozija	23
2. Tiriamoji dalis	24
2.1. Metano konversijos modelio sudarymas naudojant „Aspen HYSYS“ programinį paketą	24
2.1.1. Daugialaipsnis oro suslėgimas ir drėgmės pašalinimas	25
2.1.2. 1 laipsnio metano konversija	27
2.1.3. Antro laipsnio metano konversija	31

2.1.4. Kūryklinių dujų deginimas	33
2.1.5. 10,55 MPa slėgio garų gamyba.....	34
2.2. Temperatūrinio režimo pakeitimas ir žalio vandenilio pridėjimas į dujų srautą	36
3. Inžinerinė dalis	40
3.1. Dviejų laipsnių metano konversijos technologinės schemos aprašymas	40
3.1.1. Gamtinių dujų redukavimas.....	40
3.1.2. Gamtinių dujų nuo sieros junginių valymas	40
3.1.3. I laipsnio metano konversija	41
3.1.4. II laipsnio metano konversija.....	41
3.1.5. Kūryklinės dujos	42
3.1.6. 10,55 MPa slėgio garų gamyba.....	42
3.2. Technologinė schema	43
3.3. Statybiniai sprendimai.....	43
3.3.1. Sklypo planas	43
3.3.2. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai	43
3.3.3. Statinio architektūrinė ir konstrukcinė sandara.....	44
3.4. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai.....	45
3.4.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė.....	45
3.4.2. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai.....	46
3.4.3. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas.....	46
3.4.4. Produkcijos gamybos apimtį planavimas	47
3.4.5. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas	47
3.4.6. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas	49
3.4.7. Veiklos kaštai.....	49
3.4.8. Finansinės ir investicinės sąnaudos.....	50
3.4.9. Gaminio kainos skaičiavimas	50
3.4.10. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai.....	51
3.4.11. Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas modernizacijos atveju	52

3.4.12. Investicijų efektyvumo vertinimas	53
3.5. Aplinkosauginis vertinimas	54
3.5.1. Bendrieji duomenys.....	54
3.5.2. Atliekos.....	55
3.5.3. Aplinkos oro tarša	56
3.5.4. Vandens sąnaudos	56
3.5.5. Nuotekų tvarkymas	57
4. Darbuotojų sauga ir sveikata.....	58
4.1. Projektuojamo objekto charakteristika	58
4.2. Profesinės rizikos vertinimas	58
4.3. Saugi gamyba.....	61
4.4. Darbo higiena.....	62
4.5. Gaisrinė sauga.....	64
Išvados.....	65
Literatūros sąrašas.....	66
Priedai	69
1 priedas. Įrenginių išdėstymo planas	69
2 priedas. Dviejų laipsnių metano konversijos vandens garais gamybos technologinė schema .	69
3 priedas. Šachtinio konverterio pjūvis	69
4 priedas. Sklypo planas	69
5 priedas. Darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimo konsultanto patvirtinimas	69
6 priedas. Aplinkosauginio vertinimo konsultanto patvirtinimas	69
69	
7 priedas. Statybinių sprendimų konsultantės patvirtinimas	69
8 Finansinių ir ekonominių skaičiavimų konsultantės patvirtinimas	70

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Vandenilio kainos Kanadoje [6].....	18
2 lentelė. Anglies dioksido išlakos.	19
3 lentelė. Oro suslėgimo parametrai po kiekvieno suslėgimo laipsnio	26
4 lentelė. Medžiagų balansas po 1 laipsnio konversijos	30
5 lentelė. Drėgnų ir sausų dujų sudėtis po 1 laipsnio konversijos.....	31
6 lentelė. 2 laipsnio konversijos medžiagų balansas	32
7 lentelė. Drėgnų ir sausų dujų sudėtis po 2 laipsnio konversijos.....	33
8 lentelė. Pagrindiniai parametrai sumažinus deginamą kūryklinių dujų kiekį	36
9 lentelė. Išmetamų dujų kiekiai	36
10 lentelė. Komponentų kiekiai, esant skirtingiems temperatūriniam režimams	37
11 lentelė. Medžiagų balansas 1 laipsnio konversijos, pakeitus temperatūrinį režimą	37
12 lentelė. Dujų sudėtis po 2 laipsnio konversijos kai skiriasi oro kiekis	37
13 lentelė. Medžiagų balansas po 2 laipsnio konversijos, pakeitus 1 laipsnio konversijos temperatūrinį režimą	38
14 lentelė. Dujų sudėtis pridėjus į srautą 30 % žalio vandenilio, nuo viso pagaminamo vandenilio kiekio.....	38
15 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai	43
16 lentelė. Sutaupomas dujų kiekis ir kaina.....	45
17 lentelė. Projekto kaštai ir finansavimo šaltiniai.....	46
18 lentelė. Ilgalaikio turto įsigijimo kaštai	46
19 lentelė. Produkcijos gamybos apimtis, prieš ir po rekonstrukcijos	47
20 lentelė. Išlaidos gamtinėms dujoms.....	47
21 lentelė. Pagrindinių darbininkų darbo užmokestis	48
22 lentelė. Elektros energijos išlaidos	48
23 lentelė. Netiesioginiai gamybos kaštai, tūkst. Eur.....	49
24 lentelė. Amortizaciniai atsiskaitymai.....	49
25 lentelė. Gaminių kainos skaičiavimas.....	50

26 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos gražinimo planas	50
27 lentelė. Gaminių kainos skaičiavimas.....	51
28 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita, tūkst. Eur	51
29 lentelė. Veikos sąnaudų pasiskirstymas prieš ir po modernizacijos	52
30 lentelė. Išlaidos ir sąnaudos.....	52
31 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai	53
32 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai.....	54
33 lentelė. Lūžio taško skaičiavimas	54
34 lentelė. Duomenys apie naudojamas žaliavas, chemines medžiagas ir produktus[16, 17].....	55
35 lentelė. Sunaudojami energetiniai ištekliai	55
36 lentelė. Metano konversijos metu susidaranti atliekos	55
37 lentelė. Vandens balansas	57
38 lentelė. Rizikos veiksniai ir prevencinės priemonės [20,21,22,23,24,25,]	59
39 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai [25]	60
40 lentelė. Zonos ir jų pavojingumo kategorija [25]	60
41 lentelė. Pavojingų medžiagų ribinės vertės. [28]	62
42 lentelė. Žymenų reikšmė. [28].....	63
43 lentelė. Komfortinės sąlygos darbo patalpose [30]	64

Paveikslų sąrašas

1 pav. Įprastinė metano konversijos technologinė linija [1]	15
2 pav. Metano konversijos supaprastinta schema su anglies dioksido surinkimu.[4]	17
3 pav. Branduolinės energijos panaudojimo galimybės vandenilio gamybai naudojant elektrolizę. 22	
4 pav. Amoniakų panaudojimas generatoriuose [8].	23
5 pav. Sumodeliuota metano konversijos schema.....	24
6 pav. Daugialaipsnis oro suslėgimo blokas	25
7 pav. Drėkintuvo parametrai.....	25
8 pav. Deguonies dozavimo stotis	26
9 pav. Srauto sudėtis po separatoriaus	27
10 pav. 1 laipsnio konversijos blokas	27
11 pav. Gamtinių dujų parametrai prieš ir po suslėgimo	28
12 pav. Gamtinių dujų ir garų sumaišymas	28
13 pav. 1 laipsnio konversijos technologiniai parametrai	29
14 pav. 1 laipsnio konversijos analizinis taškas	30
15 pav. 2 laipsnio konversijos blokas	31
16 pav. Antro laipsnio metano konversijos parametrai	31
17 pav. Antro laipsnio konversijos analizinis taškas.....	32
18 pav. Kūryklinių dujų blokas	33
19 pav. Kūryklinių dujų deginimas	33
20 pav. Garų gamybos blokas	34
21 pav. Katilo utilizatoriaus parametrai.....	35
22 pav. 1 laipsnio garų perkaitos parametrai	35
23 pav. 2 laipsnio perkaitos parametrai	36
24 pav. 2 laipsnio reaktoriaus parametrai	38
25 pav. Dviejų laipsnių metano konversijos technologinė schema.....	40
26 pav. Siurblinės evakuacijos planas	64

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

GDM – garų – dujų mišinys;

GOM – garų – oro mišinys.

Įvadas

Šiuolaikiniame pasaulyje pagrindinis energijos šaltinis yra iškastinis kuras, kuris yra neatsinaujantis ir jį išnaudojus pasikeis daugelis dabartinių technologijų. Dvidešimt pirmojo amžiaus pradžioje didžiausi iššūkiai kilo energetikos srityje, sprendžiant iškastinio kuro didėjantį naudojimą ir didėjantis šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimas į atmosferą. Dėl esamos infrastruktūros, iškastinį kurą naudoti yra ekonomiška, tačiau jis daro didelį poveikį aplinkai.

Dėl to, atsinaujinantys energijos šaltiniai vis labiau tiriami kaip potencialūs kandidatai patenkinti didžiąją dalį energijos poreikių. Vandenilis yra vienas iš švariausių degalų, kuriuos galime naudoti. Vandenilis yra švarus, ilgalaikis kuras, turintis potencialą patenkinti didžiąją dalį pasaulio energijos poreikių. Jis gali pakeisti dabar naudojamus iškastinius kurus, todėl yra tiriami būdai, kaip gauti vandenilį kuo mažiau į aplinką išmetant šiltnamio efektą sukeliančias dujas.

Darbo tikslas – išanalizuoti pramonėje naudojamus vandenilio gamybos būdus, įvertinti nagrinėjamos vandenilio gamybos iš metano optimizavimo galimybes panaudojant žalią vandenilį.

Darbo uždaviniai:

1. atlikti vandenilio gamybos būdų literatūros apžvalgą;
2. atlikti metano konversijos proceso bei žaliavų analizę ir vertinimą taikant pasirinktą modeliavimo metodiką ir pateikti technologijos tobulinimo galimybių vertinimą kai į esamą technologiją yra tiekiamas žalias vandenilis;
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.

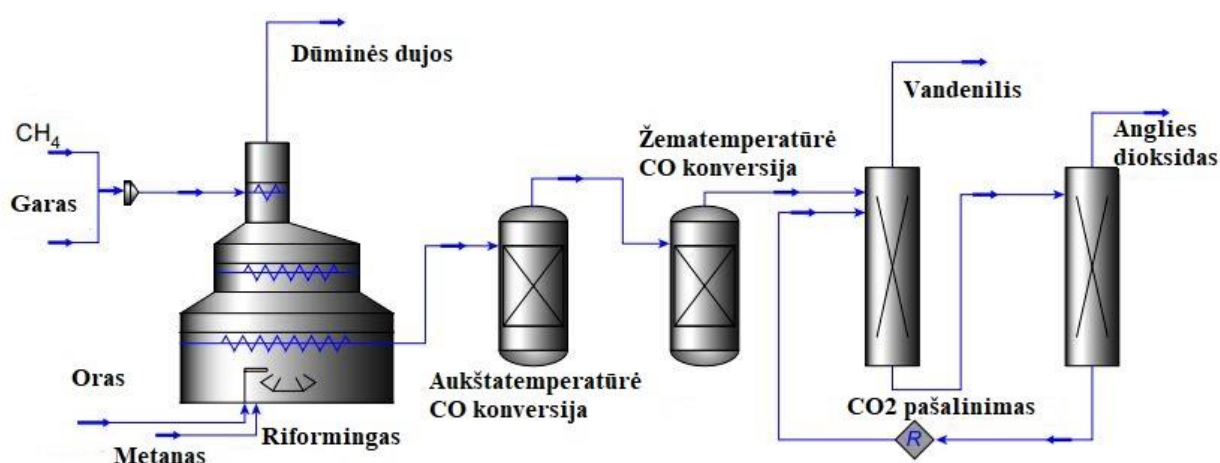
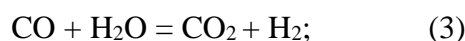
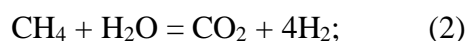
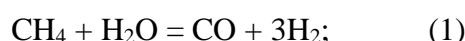
1. Literatūros apžvalga

1.1. Metano konversija

Metano konversija vandens garais yra laikomas labiausiai paplitusiu pramoniniu procesu vandenilio ir sintezės dujų gamybai. Visų pirma, beveik 50 % pasaulinio vandenilio poreikio šiuo metu pagaminama naudojant metano ir vandens garų reakciją. Pasak JAV energetikos departamento apie 95 % naudojamo vandenilio gaunama naudojant būtent šį procesą[1].

1.1.1. Metano garų konversijos konvencinės sistemos

Šiuo metu metano konversija dažniausiai naudojamas procesas vandeniliui gauti, kuris įprastai vyksta vamzdinėje krosnyje ir yra įtrauktas į daugiapakopę sistemą. Vamzdinėje krosnyje naudojant nikelio katalizatorių vyksta tokios reakcijos:



1 pav. Įprastinė metano konversijos technologinė linija [1]

Kadangi vykstant konversijai susidaro labai dideli kiekiai CO dujų, kartu su metano konversija yra vykdoma CO konversija, kurios metu CO dujos yra oksiduojamos vandens garais iki CO₂ aukštos temperatūros ir žemos temperatūros reaktoriuose. Susidariusios konvertuotos dujos yra valomos nuo CO₂ naudojant skruberius. Nepaisant to, po šio proceso dujų sraute vis dar yra mažos koncentracijos CO ir CO₂ dujų kurios vienu metu yra pašalinamos panaudojant metanavimo procesą. Po šio etapo anglies oksidų kiekis yra sumažinamas iki milijoninių dalių lygio.

1.1.2. Problemos atsirandančios naudojant įprastinę metano konversiją

Metano – vandens garų endoterminei konversijai įtakos turi keli apribojimai, tokie kaip:

- Termodinaminė pusiausvyra;
- Masės ir šilumos perdavimo apribojimas;

- Kokso susidarymas.

Šilumos perdavimas yra viena iš svarbiausių problemų kylančių vykstant konversijai. Metano konversija yra endoterminis procesas, todėl siekiant užtikrinti tinkamą šilumos perdavimo greitį iš paviršinio katalizatoriaus sluoksnio į katalizatoriaus vidinį sluoksnį, jis turi būti patalpintas į ilgus siaurus vamzdelius, kurie gaminami iš metalų lydinių ir yra labai brangūs.

Kita proceso problema yra kokso susidarymas, kuris neigiamai veikia katalizatoriaus veikimą. Kokso susidarymas gali sugadinti katalizatoriaus struktūrą arba visiškai užkimšti vamzdinės krosnies vamzdžius ir gali sukelti „karštųjų taškų“ atsiradimą, o kai kuriais atvejais lemti gamybos stabdymą [1].

1.1.3. Galimi tobulinimai metano konversijos procesui

Per pastaruosius kelis dešimtmečius stengiamasi pagerinti šį procesą, tačiau tyrimai vis dar vyksta. Vienas iš būdų konversijos tobulinimui yra pagaminto iš nikelio katalizatoriaus veikimas keičiant atramos tipą, įvedant papildomus priedus ir bandymai surasti patvaresnio katalizatoriaus tipą. Tai pat, skirti tyrimai išsiaiškinti katalizatoriaus paruošimo poveikį jo veikimui.

Kita tyrimų sritis yra pagrįsta membraninio reaktoriaus technologija. Pastaruoju metu plačiai ištirta iš paladžio pagaminta membrana. Pastaroji leidžia suderinti vandenilio gamybą ir atskyrimą viename įrenginyje, tai suteikia galimybę vykdyti procesą efektyviau ir sutaupyti lėšų neperkant papildomų įrengimų [1].

1.1.4. Vandenilio gamyba be išmetamų į atmosferą CO₂ dujų

Siekiant kovoti su klimato kaita, energetikos pramonė ieško technologijų, kurios padėtų sumažinti išmetamų į aplinką šiltnamio dujų kiekį. Vandenilis laikomas potencialia medžiaga, kuri gali pakeisti energetikos sistemas nacionaliniais ir tarptautiniais mastais, todėl naujos technologijos turi būti taikomos įvairiuose sektoriuose – nuo pramonės iki transporto. Naujas vandenilio gamybos technologijas kuria didžiosios pasaulio ekonomikos, įskaitant Japoniją, Vokietiją, Australiją ir Europos sąjungą. Atliekami tyrimai ir ieškomas pramoninis pritaikymas galimiems vandenilio panaudojimo sektoriams – gamybai, laikymo ir transportavimo technologijos [2].

Vandenilis yra panaudojamas kaip žaliava įvairiose pramonės šakose nuo naftos perdirbimo gamyklų iki amoniako ir metanolio gamybos. Pasaulinis gryno vandenilio poreikis padidėjo nuo 20 megatonų 1975 metais iki 70 megatonų 2018 metais. Tačiau dabar vandenilis dažniausiai yra gaminamas naudojant iškastinį kurą, pavyzdžiui [2]:

- Gamtinės dujos;
- Nafta;
- Anglis.

Taip yra todėl, nes panaudojant iškastinį kurą vandenilio gamyba pigiausia [2].

Griežtėjant klimato kontrolei ir keliant sudėtingus tikslus šiltnamio dujų išmetimam sumažinti, atkreipiamas dėmesys į vandenilį ir jo platų panaudojimą. Švaraus vandenilio gamybos

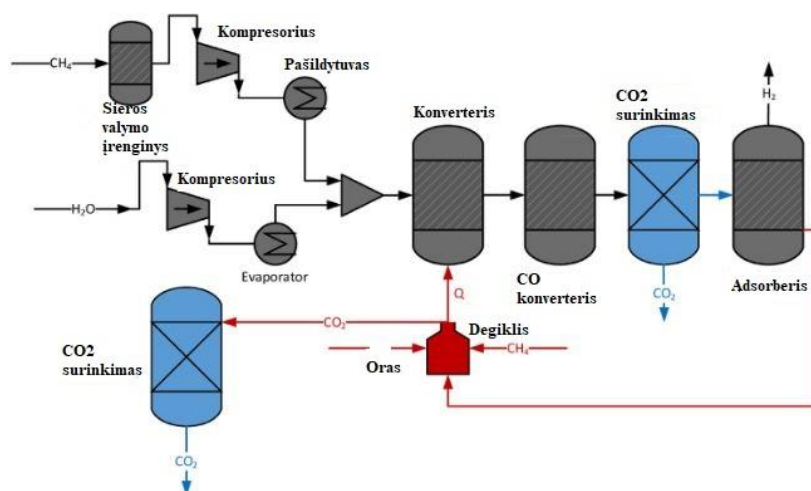
technologijos užtikrins perėjimą prie klimatui nekenkiančių energijos šaltinių. Taip pat, ieškomos vandenilio technologijos, kurių pagalba, būtų galima padėti pramonės sektoriams, kuriems didelę įtaką turėjo COVID 19 pandemija. Vandenilio gamybos technologijos vis dažniau koduojamos remiantis skirtingomis spalvomis[2]. Pagrindinės spalvos yra šios:

- Pilka – vandenilis gaminamas naudojant iškastinį kurą (dažniausiai gamtines dujas ir anglį), dėl to proceso metu išsiskiria anglies dioksidas;
- Mėlynasis vandenilis – tai yra vandenilio gamyba, kurios metu pats gamybos technologijos principas nesikeičia, bet išmetamos anglies dioksido dujos yra surenkamos ir sandėliuojamos saugyklose;
- Žalias vandenilis – gaminamas iš atsinaujinančių šaltinių gaminamos elektros energijos, panaudojant elektrolizės technologiją;
- Geltonas vandenilis – gaminamas naudojant elektrolizę, kuriai elektros energija yra tiekama iš atominių elektrinių.

1.2. Mėlynasis vandenilis

Mėlynasis vandenilis yra pramonės terminas, apibūdinantis vandenilį pagamintą iš gamtinių dujų ir panaudojant technologiją, kuri leidžia surinkti anglies dioksidą. Gamybos proceso metu susidaręs CO₂ surenkamas ir sandėliuojamas, saugomas po žeme. Rezultatas yra mažai anglies dioksido išskirianti technologija, naudojama vandenilio gamybai. Mėlynasis vandenilis vieną dieną gali būti pigiausias pasirinkimas, padedantis sumažinti anglies dioksido išmetimus šildant pramoninius ar gyvenamuosius objektus šalto klimato zonose [3].

Numatoma, kad vandenilis bus svarbus energijos šaltinis norint pereiti į pramonę, kuri visiškai neišmeta į aplinką šiltnamio dujų. Vandenilio gamyboje ir panaudojime būtų galima sumažinti išmetamo anglies dioksido kiekį iki nulio ir taip prisidėti prie išmetamų kenksmingų dujų mažinimo. Tyrimai rodo, kad gaminant vandenilį panaudojant atsinaujinančius energijos šaltinius, gamybos poveikis klimato kaitai gali būti labai mažas, ar kai jis gaminamas iš tam tikrų biologinių išteklių [4].



2 pav. Metano konversijos supaprastinta schema su anglies dioksido surinkimu.[4]

Įprastame metano konversijos procese žaliava įvedama į konversijos reaktorių, iš pradžių dujos yra suslegiamos, įkaitinamos ir vyksta reakcija. Kadangi reakcija yra endoterminė, reakcijos mišinys šildomas, kad būtų viršytas termodinaminis barjeras. Tada pagamintos sintezės dujos perkeliama į CO konversijos reaktorių kur vyksta reakcija, kurios metu anglies monoksidas sureaguoja iki anglies dioksido. Reakcijos virsmai yra gerai žinomi, kadangi yra daug atliktų tyrimų, kurie parodo kaip nikelio katalizatorius paveikia metano konversiją [5].

Metano dujas konvertavus į vandenilį ir anglies dioksidą, sekantis etapas – valymo procesai. Konvencinėje metano konversijoje anglies dioksido valymui iš dujų, naudojamas procesas, kurio metu naudojant aminų tirpalą ir skruberius, kurie iš sintezės dujų visiškai išvalo CO₂. Tada anglies dioksido srautas nukreipiamas į žemėje užkastą rezervuarą [5].

1.2.1. Mėlynojo vandenilio iššūkiai

Ilgainiui vandenilis gaminamas iš iškastinio kuro, panaudojant anglies dioksido surinkimo technologiją, gali pasiekti žemas emisijas į aplinką, už santykinai mažą kainą. Tačiau daug neaiškumų kyla dėl galimo sunkaus šios technologijos įgyvendinamumo. Šiuo metu naudojamos anglies dioksido surinkimo technologijos susiduria su rimtais techniniais sunkumais ir iššūkiais. CO₂ surinkimo efektyvumas yra vienas iš pagrindinių dujų surinkimo technologijos įdiegimo veiksnių, kol kas šis procesas gali surinkti nuo 80 iki 90 % CO₂. Dar pabrėžiama, kad dujų surinkimo technologija yra nepakankamai ištobulinta, kad būtų galima ją naudoti didžiojoje pramonėje. Sekantis iššūkis mėlynojo vandenilio gamyboje yra būtinybė surasti naujas technologijas, kuriose būtų galima sunaudoti didelį kiekį anglies dioksido [6].

Mėlynojo vandenilio kainą daugiausia lemia iškastinio kuro kaina. Be to, mėlynojo vandenilio kainai turi įtakos ir anglies surinkimo, pakartotinio naudojimo ar saugojimo sąnaudos.

1 lentelė. Vandenilio kainos Kanadoje [6].

Metodas	Kuras	Vieta	Vandenilio kaina, \$/kg
Juodasis vandenilis, be surinkimo	anglis	Kanada	1,35
Pilkas vandenilis, be surinkimo	gamtinės dujos	Kanada	1,31
Mėlynas vandenilis, su CO ₂ surinkimu	anglis	Kanada	1,60-2,05
Mėlynas vandenilis, su CO ₂ surinkimu	gamtinės dujos	Kanada	1,62-1,83

Iš lentelės matome, kad mėlynojo vandenilio kaina Kanadoje svyruoja nuo 0,99 iki 2,05 dolerio už kilogramą, tai yra nemažas skirtumas lyginant su juodoju ar pilkuoju vandeniliu. Šiuo metu mėlynasis vandenilis yra kaip pereinamasis sprendimas ir susiduria su tam tikrais iššūkiais [6]:

- Anglies dioksido surinkimo technologija dar nepakankamai ištobulinta;
- Technologijos kaina yra pakankamai didelė;
- Surenkamo anglies dioksido efektyvumas mažas.

Pagal „Global Carbon Capture and Storage Institute“ 2018 metų pasaulinę ataskaitą, pasaulyje yra 43 didelės gamyklos kuriose vystoma ši technologija, 18 gamyklų jau veikia. Tarp jų 10 yra Jungtinėse Amerikos Valstijose, 3 Kanadoje, 2 Norvegijoje ir 1 Kinijoje. Anglies dioksido surinkimo technologija vis dar yra ankstyvos techninės brandos stadijose ir sunaudoja didelius kiekius energijos, todėl ateityje reikės didelio masto patobulinimų. Anglies dioksido transportavimas yra būtina sąlyga didelio masto CO₂ surinkimo plėtrai, tačiau kol kas transportas nėra pasiruošęs transportuoti surinktas dujas [6].

Antra problema yra ta, kad ši technologija susiduria su didelėmis sąnaudomis. Pradiniame projekto etape, investicijos yra labai didelės ir visos jos yra negrįžtamos išlaidos, o tai labiausiai atgraso įmones. Nors dabartinė kaina pastatyti mėlynojo vandenilio gamyklą yra perpus mažesnė nei elektrolizinių elementų gamyklos. Tačiau laikui bėgant ir mažėjant atsinaujinančių šaltinių energijos kainoms ir kylant anglies dioksido laikymo kainoms, žaliojo vandenilio kaina kris, todėl mėlynasis vandenilis bus mažiau konkurencingas [6].

Anglies dioksido surinkimo efektyvumas yra dar vienas svarbus iššūkis mėlynam vandeniliui. Anglies dioksido emisijos atsirandančios dėl vandenilio gamybos iš iškastinio kuro, galima sumažinti panaudojant anglies dioksido „sugavimo“ technologiją, todėl gamyklos turėtų daug mažesnę anglies pėdsaką [6].

2 lentelė. Anglies dioksido išlakos.

Metodas	Juodasis vandenilis	Pilkasis vandenilis	Mėlynasis vandenilis, iš anglies ir 90 % sugaudymu	Mėlynasis vandenilis, iš gamtinių dujų ir 90 % sugaudimu
anglies dioksido išlakos, kg CO ₂ /kg H ₂	20	8,5	2,4	1

Iš 2 lentelės matome CO₂ emisijų dydį vandenilio gamyboje. Iš gamtinių dujų arba anglies naudojant sugavimo technologiją anglies dioksido yra išmetama atitinkamai 1 arba 2,4 kg CO₂/kg H₂. Mėlynojo vandenilio gamyboje išskiriama mažiau anglies dvideginio nei juodojo ar pilkojo vandenilio gamyboje. Tačiau jame vis tiek lieka išmetamų dujų, kurių negalima tiesiogiai pašalinti. Mėlynojo vandenilio gamyboje yra išmetama nuo 5 iki 15 % anglies dioksido ir pats procesas gali būti įgyvendinamas su CO₂ surinkimu ne didesniu nei 85 – 90 % efektyvumu. Didelio masto vandenilio gamyboje bus išmetama milijonai tonų šiltnamio dujų kasmet, todėl Europos sąjungoje, Australijoje ir kitur yra didelis aplinkosaugininkų susirūpinimas dėl išmetamų teršalų, susijusių su vandenilio gamyba [6].

1.3. Žalias vandenilis

Žaliojo vandenilio gamybos technologijos šiuo metu nėra patrauklios lyginant kainą ir efektyvumą. Yra vienas žalio vandenilio gamybos metodas, kuris gali būti laikomas etaloniniu ir gali būti įgyvendintas su jau dabar gaminamais komponentais, būtent fotovoltinė elektrolizė. Ji apjungia fotovoltinę energijos gamybos sistemą su vandens elektrolizeriu. *Mason* ir *Zweibel* išanalizavo šio metodo efektyvumą ir sąnaudas, didelės ir mažos gamybos apimtyse. Šis metodas šiuo metu yra brangus ir generuoja vandenilį labai mažu efektyvumu, kuris yra mažesnis nei 5 %. Kiti metodai apima vieno ar kelių žaliosios energijos šaltinių naudojimą tiesiogiai ar netiesiogiai gaminti vandenilį [7]. Žalieji energijos šaltiniai yra:

- Atsinaujinanti energija;
- Branduolinė energija;
- Energija gauta iš pramoninių procesų kaip šalutinis produktas pvz. šiluma.

Kelios apžvalgos buvo paskelbtos atvirojoje literatūroje dėl vandenilio gamybos iš atsinaujinančių energijos šaltinių ir atsinaujinančių žaliavų. Vienas iš pirmųjų darbų analizuojantis vandenilio gamybą iš vandens naudojant atsinaujinančius energijos šaltinius mini[7]:

- Aukštos temperatūros vandens disociacijos taikymą;
- Termocheminį vandens skaidymą;
- Vandens elektrolizę;
- Vandens fotolizę.

Taip pat yra pateikiamas atsinaujinančių energijos šaltinių sąrašas, kuriuos galima naudoti žaliojo vandenilio gamybai:

- Saulės šviesa;
- Jūros/vandenyno energija;
- Nuotekų vandenys;
- Vėjo energija;
- Termobranduolinė energija;
- Branduolinė energija.

Medžiagos, iš kurių gali būti naudojamos žaliojo vandenilio gamybai:

- Vanduo;
- Sūrymas/jūros vanduo;
- Vandenilio sulfidas;
- Įvairi biomasė.

1.4. Žaliojo vandenilio gamybos būdai

1.4.1. Vandens elektrolizė

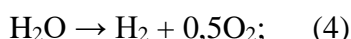
Vandens elektrolizė yra vienas iš pagrindinių metodų gaminti gryną vandenilį ir grindžiamas nuolat cirkuliuojančių elektronų judėjimu per išorinę grandinę. Yra dvi vandens elektrolizės technologijos:

- Elektrolizė naudojant šarminį tirpalą;
- Elektrolizė naudojant protonų mainų membraną.

Vykdamas elektrolizę svarbiausi yra šie parametrai – efektyvumas ir srovės tankis. Elektrolizės elemento efektyvumas apibrėžiamas idealia energija ir faktine energija, reikalinga reakcijai vykti. Norint pagerinti reakcijos greitį reikalingi katalizatoriai ir didelis srovės tankis. Paprastai gali būti naudojama platina heterogeniniam katalizės procesui atlikti. Taip pat, galima naudoti ir homogeninius katalizatorius, kurie kaip manoma yra perspektyvus sprendimas ateičiai, nes jie pigesni, pasižymi dideliu reakcijos greičiu [7].

1.4.2. Vandens termolizė

Vienpakopė vandens disociacija yra žinoma kaip vandens termolizė ir gali būti išreiškiama šia reakcija:



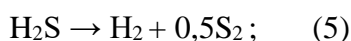
Reakcijai reikalingas aukštos temperatūros šaltinis, kad temperatūra būtų aukštesnė nei 2500 K, norint gauti pakankamą disociacijos laipsnį, pvz. esant 3000 K temperatūrai pasiekiamas 64 % disociacijos laipsnis esant 1 bar slėgiui. Vienas šio proceso trūkumas yra reikalavimas turėti veiksmingą ir sudėtingą techniką, norint atskirti vandenilį nuo deguonies ir nesudaryti sprogaus mišinio. Todėl reikia naudoti pusiau laidžias ZrO_2 membranas, taip pat, gauti produktai turi būti staigiai ataušinami, kad palengvintų gautų medžiagų atskyrimą. Iš paladžio gaminamos membranos taip pat gali būti naudojamos efektyviam vandenilio atskyrimui [7].

1.4.3. Termokatalizinis vandenilio sulfido krekingas

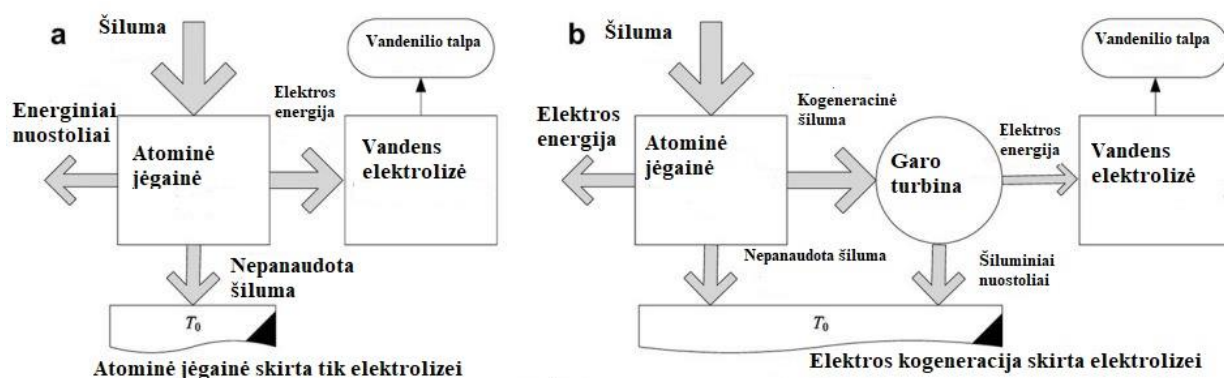
Viename litre vandenilio sulfido yra 76 g vandenilio. Vandenilio sulfido gamtoje galima rasti įvairiose vietose:

- Ugnikalniuose;
- Karštosiose versmėse;
- Šulinių vandenyje;
- Naftos gręžiniuose.

Naujausi tyrimai rodo, kad giliuose Juodosios jūros vandens sluoksniuose yra 4,6 milijardų tonų vandenilio sulfido, iš kurio yra galimybė išgauti 270 milijonų tonų vandenilio. Šiuo metu nėra jokio komerciškai prieinamo metodo gaminti vandenilį iš H_2S . Šis procesas iki šiol yra analizuojamas ir yra ieškoma metodų turinčių potencialą panaudoti termokatalizinį procesą. Termokatalizinis krekingas iš vandenilio sulfido sukuria du vertingus produktus: vandenilį ir sierą pagal šią reakciją[7]:



1.4.4. Branduolinės energijos panaudojimas vandenilio gamybai



3 pav. Branduolinės energijos panaudojimo galimybės vandenilio gamybai naudojant elektrolizę.

Branduolinės energijos naudojimas kaip pirminis energijos šaltinis vandenilio gamybai yra patrauklus tuo, kad šiltnamio dujų išmetimas yra daug mažesnis nei naudojant konvencinius metodus. Branduolinę energiją galima pritaikyti didelio masto vandenilio gamybai. Branduolinio vandenilio gamybos pažanga buvo padaryta pastaraisiais metais, kai buvo atlikta daugybė tyrimų.

Paprasčiausias būdas gauti vandenilį panaudojus branduolinę energiją yra prie atominės elektrinės prijungus elektrolizerį. Tokios sistemos privalumas yra galimybė veikti esant projektinei apkrovai be tiesioginių trukdžių tinkle, kuris tam tikrais laikotarpiais gali būti perpildytas. Kitas svarbus pranašumas yra toks, kad nereikia modifikuoti branduolinio reaktoriaus. Panašios sistemos buvo naudojamos branduoliniuose povandeniniuose laivuose gaminant deguonį ir vandenilį. Taip pat šias sistemas gali pritaikyti jau esamoms atominėms elektrinėms ir panaudoti perteklinę elektros energiją ne piko metu [7].

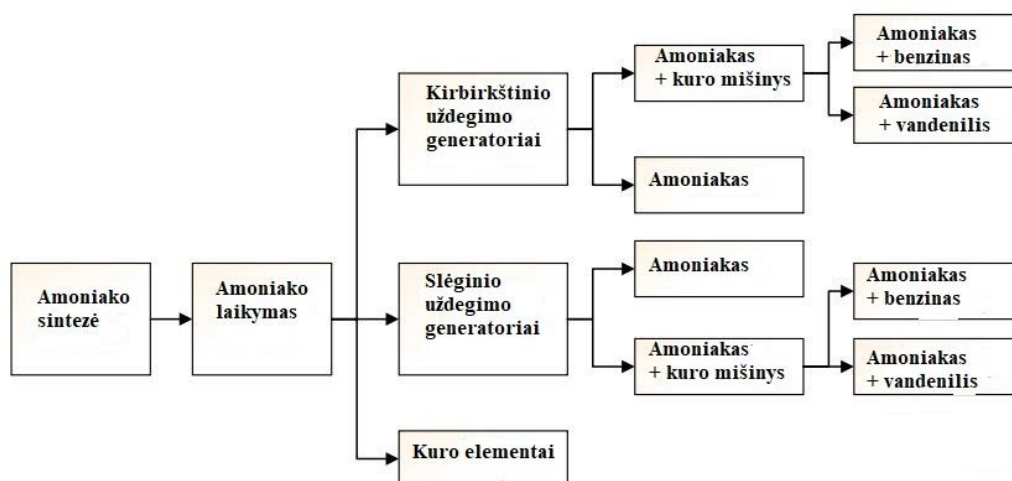
1.5. Amoniakas kaip kuro panaudojimas

Yra daug būdų kaip kaupti energiją. Į energijos kaupimo sąvoką įeina tokie kaupimo būdai:

- Kaupimas didelės galios superlaidininkuose;
- Hidroakumuliacinės talpyklos;
- Cheminės talpyklos.

Hidroakumuliacinės ir cheminės talpyklos gali saugoti labai didelius kiekius energijos, labai ilgą laiką (mėnesius ar metus). Skirtingai nuo mechaninių prietaisų cheminis saugojimas turi unikalią savybę – lankstumą. Cheminės medžiagos gali būti lengvai perkeltamos, laikomos ir platinamos, o ir daugelio jų rinka yra jau išvystyta [8]. Iš visų anglies dioksido neišskiriančių variantų komerciškai labiausiai vertinami yra :

- Vandenilis;
- Amoniakas;
- Hidrazinas.



4 pav. Amoniako panaudojimas generatoriuose [8].

1.6. Iššūkiai panaudojant, amoniaką kaip kurą

Yra daug būdų, kaip pagaminti švarų amoniaką generatorių sistemoms, kurios veikia naudojant amoniaką kaip kurą. Tačiau rinkoje nėra daug galimybių. Didžiausias trūkumas yra reikalingos aukštos amoniako kuro temperatūros ir reikalingo aukšto slėgio, degimo tikslams. Eksperimentiniuose įrenginiuose kuriuose amoniakas naudojamas elektros gamybai, visada yra kitas kuras, kuris sumažina mišinio degimo temperatūrą [9].

1.6.1. Aukšti slėgiai ir temperatūros

Amoniakas užsidega tik esant labai aukštam slėgiui ir temperatūrai apie 651 °C, palyginus su dyzelinu, kuris savaime užsidega esant 256 °C temperatūrai. Jeigu naudojamas aliuminis gaminti cilindrams, tai gali sukelti problemų, nes jis nėra skirtas naudoti tokioje aukštoje temperatūroje. Yra aprašyta šios problemos sprendimo būdų, vienas iš jų, aliuminio lydinio cilindrą pakeisti nerūdijančio plieno cilindru, taip pat galima keisti suspaudimo laipsnį ar pridėti kito kuro į mišinį [9].

1.6.2. Korozija

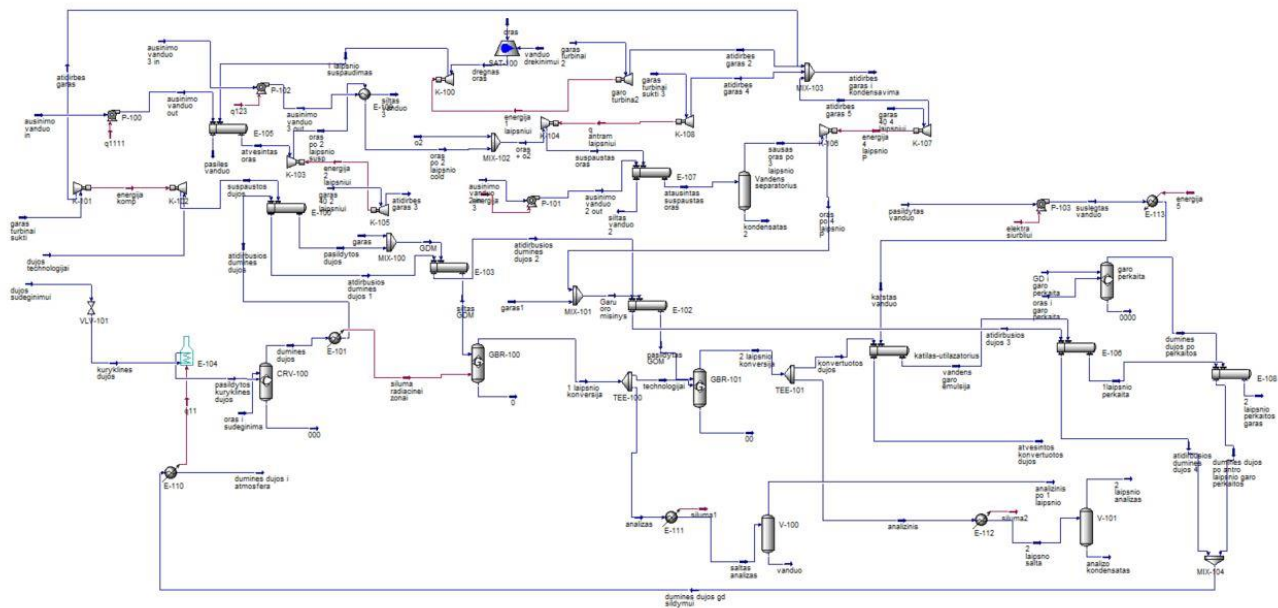
Kaip žinoma, metalai, tokie kaip žalvaris ir varis, koroduoja, kai yra sumaišomi su amoniaku, todėl dalys, pagamintos iš šių medžiagų turėtų būti pakeistos nerūdijančiu plieniu. Vidinės variklio bloko ir kuro sistemos dalys sąveikaus su kuru, dėl šios priežasties labai svarbu užtikrinti, kad šios dalys nekoroduotų [9].

2. Tiriamoji dalis

2.1. Metano konversijos modelio sudarymas naudojant „Aspen HYSYS“ programinį paketą

Aspen HYSYS yra programinis paketas naudojamas cheminių procesų modeliavimui. Paketas leidžia specialistams sukurti naujus procesus arba patobulinti senus. Programa naudoja matematinius modelius nustatyti pasirinkto proceso eigą.

Šiame skyriuje aprašomas sumodeliuotas metano konversijos procesas panaudojant Aspen HYSYS programinį paketą. Modelis leis atlikti tyrimą, kai norima sumažinti sudeginimui skirtų gamtinių dujų kiekį vamzdinėje krosnyje. Gamybos našumas pasirinktas pagal technologijai sunaudojamų dujų kiekį ir yra 33220 kg/h. Taip pat bus aptariami sumodeliuotos schemas blokai ir palyginami su pagrindiniais technologijoje esamais aparatais.

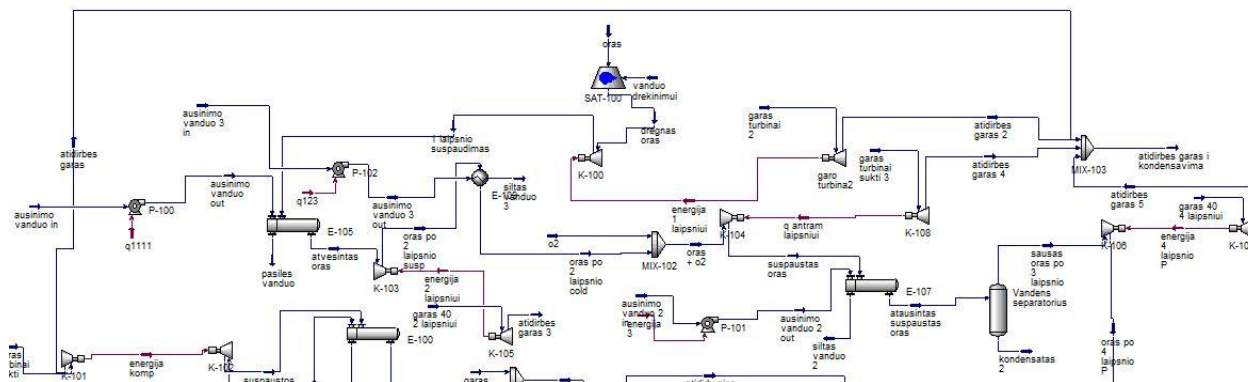


5 pav. Sumodeliuota metano konversijos schema

Visą sumodeliuotą schema galima suskirstyti į:

1. Daugialapsnis oro suspaudimas garo turbinomis ir drėgmės pašalinimas;
2. Pirmo laipsnio metano konversija;
3. Antro laipsnio metano konversija;
4. Kūryklinių dujų deginimas;
5. Aukšto slėgio garų gamyba.

2.1.1. Daugialaipsnis oro suslėgimas ir drėgmės pašalinimas



6 pav. Daugialaipsnis oro suslėgimo blokas

Pirmiausia reikia sumodeliuoti iš atmosferos paimamą orą, tam panaudojamas drėkintuvas. Drėkintuvo veikimui būtina įvesti šiuos parametrus: oro srauto kiekį, norimą santykinį oro drėgnumą, oro ir vandens slėgius, taip pat sauso oro sudėtį.

Worksheet	Name	oras vanduo drekinimui	dregnas oras
Conditions	Vapour	1,0000	0,9379
Properties	Temperature [C]	25,00	99,95
Composition	Pressure [MPa]	0,1013	0,1013
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	2334	41,21
	Mass Flow [kg/h]	6,742e+004	742,3
	LiqVol Flow [m3/h]	77,68	0,7438
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-8,200	-2,419e+005
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	151,8	174,3
	Heat Flow [kJ/h]	-1,914e+004	-9,968e+006

7 pav. Drėkintuvo parametrai

Pagal įvestus parametrus matome, kad pasirinkta oro temperatūra yra 25 °C, slėgis atmosferinis – 0,1013 MPa, oro kiekis 67420 kg/h, taip pat santykinė oro drėgmė 55 %. Po drėkinimo, oro kiekis padidėja iki 68170 kg/h, dėl atsiradusios drėgmės. Sumodeliavus drėgną orą, pereinama prie jo suslėgimo. Oro suslėgimas vyksta 4 suspaudimo laipsniais ir po kiekvieno suspaudimo etapą orą ataušinant iki 30 – 46 °C temperatūros. Kompresoriai sukami garo turbinų, kurios naudoja 4 MPa ir 400 °C slėgio ir temperatūros garus. Oras neaušinamas po paskutinio ketvirto laipsnio, dėl energijos taupymo.

3 lentelė. Oro suslėgimo parametrai po kiekvieno suslėgimo laipsnio

Suslėgimo laipsnis	Oro slėgis prieš suslėgimą, MPa	Oro slėgis po slėgimo, MPa	Oro temperatūra prieš suslėgimą, °C	Oro temperatūra po suslėgimo, °C
I	0,1013	0,1481	25	70,17
II	0,1480	0,5	34,23	200,2
III	0,4990	1,1	46,57	152,3
IV	1,1	3	29,98	161,8

Pirmo laipsnio suslėgimas įvardijamas kaip oro įsiurbimas į kompresorių, todėl oro slėgis pasikeičia sąlyginai nedaug – nuo 0,1013 MPa iki 0,1481 MPa. Taip pat pakyla ir slėgiamo oro temperatūra nuo 25 °C iki 70 °C. Pirmo laipsnio suspaudimui garo turbina sunaudoja 10 tonų per valandą garų. Toliau oras yra ataušinamas nuo 70 °C iki 34 °C aušintuve, kaip šaldalas naudojamas vanduo. Daugiau aušinti negalima, nes oro sraute susidaro drėgmės lašai, kurie gali pakenkti kompresoriaus rotoriams. Po aušinimo oras patenka į 2 laipsnio suspaudimą.

Antro laipsnio suslėgimo metu, oras suspaudžiamas nuo 0,1480 MPa iki 0,5 MPa slėgio. Suspaudimo metu temperatūra pakyla iki 200 °C. Antro laipsnio suspaudimui garo turbina suvartoja 37 t/h garų. Tuomet oras vėl aušinamas aušintuve vandeniu iki 46 °C temperatūros. Po ataušinimo yra numatytas gryno deguonies dozavimas į srautą iš įmonės tinklo su tikslu padidinti deguonies kiekį oro sraute, kuris bus reikalingas tyrimo metu, norint pakelti temperatūrą šachtiniame konverteryje.

Worksheet	Name	grynas O2	oras po 2 laipsnių	oras + O2
Conditions	Vapour	1,0000	1,0000	1,0000
Properties	Temperature [C]	25,00	46,57	46,57
Composition	Pressure [MPa]	2,000	0,4990	0,4990
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	0,0000	2375	2375
	Mass Flow [kg/h]	0,0000	6,817e+004	6,817e+004
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	0,0000	78,43	78,43
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-186,2	-3604	-3604
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	119,7	141,6	141,6
	Heat Flow [kJ/h]	-0,0000	-8,559e+006	-8,559e+006

8 pav. Deguonies dozavimo stotis

Kaip matome iš 8 paveikslo, modeliuojant prieš tobulinimą deguonis nėra dozuojamas į oro srautą. Po deguonies dozavimo seka sekantis 3 oro suspaudimo laipsnis.

Trečio laipsnio oro suslėgimo metu srauto temperatūra pakyla nuo 46 °C iki 152 °C, slėgis pakyla iki 1,1 MPa, taip pat garo turbina suvartoja 23,66 tonas per valandą garų. Tuomet, srautas atvėsinamas iki 30 °C ir paduodamas į separatorių.

Separator: Vandens separatorius

Design Reactions Rating Worksheet Dynamics

Worksheet

		atausintas suspaustas oras	kondensatas 2	sausas oras po 3
Conditions	Methane	0,0000	0,0000	0,0000
Properties	Oxygen	0,2161	0,0000	0,2190
Composition	CO	0,0000	0,0000	0,0000
PF Specs	CO2	0,0000	0,0000	0,0000
	H2O	0,0173	0,9999	0,0043
	Nitrogen	0,7665	0,0001	0,7767
	Ammonia	0,0000	0,0000	0,0000
	Hydrogen	0,0000	0,0000	0,0000
	Air	0,0000	0,0000	0,0000
	Ethane	0,0000	0,0000	0,0000
	Propane	0,0000	0,0000	0,0000

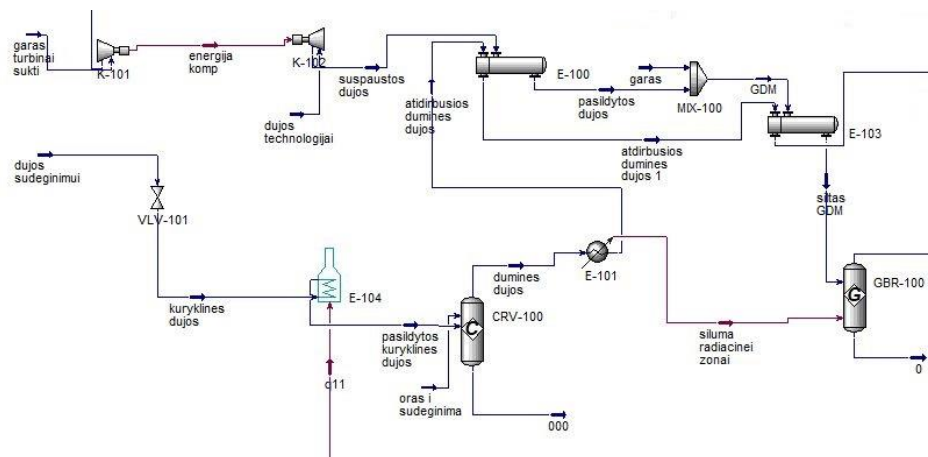
Delete OK Ignored

9 pav. Srauto sudėtis po separatoriaus

Iš 9 paveikslo matome, kad prieš separatorių vandens kiekis sraute buvo 1,7 %, separatoriui atskyrus vandenį iš srauto jo liko tik 0,04 %. Visą kondensato srautą sudaro vanduo, taigi priimame, kad drėgmė yra pašalinta iš oro srauto. Po oro džiovinimo srautas nukreipiamas į paskutinį 4 suspaudimo laipsnį.

Po 4 laipsnio oro suslėgimo srauto slėgis pakeliamas iki 3 MPa, temperatūra pakyla iki 162 °C. Garo turbina sunaudoja 29 t/h garų. Sudėjus visus suspaudimo laipsnius gaunama, kad oro kompresorius iš viso sunaudoja 85 t/h garų.

2.1.2. 1 laipsnio metano konversija



10 pav. 1 laipsnio konversijos blokas

Gamtinės dujos gaunamos iš įmonės tinklo ir jų slėgis redukuojamas iki 2,1 MPa, redukuotos dujos yra suslegiamos gamtinių dujų kompresoriumi. Priimta, kad gamtines dujas sudaro: 91,5 % metano, 1 % anglies dioksido, 1,5 % azoto, 5 % etano ir 1 % propano.

Name	dujos technologijai	suspaustos dujos	energija komp
Vapour	1,0000	1,0000	<empty>
Temperature [C]	10,41	56,57	<empty>
Pressure [MPa]	2,100	3,500	<empty>
Molar Flow [kgmole/h]	1900	1900	<empty>
Mass Flow [kg/h]	3,322e+004	3,322e+004	<empty>
LiqVol Flow [m3/h]	104,8	104,8	<empty>
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-7,875e+004	-7,714e+004	<empty>
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	158,3	159,5	<empty>
Heat Flow [kJ/h]	-1,496e+008	-1,466e+008	3,042e+006

11 pav. Gamtinių dujų parametrai prieš ir po suslėgimo

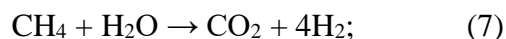
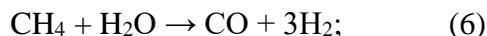
Po redukavimo, gamtinių dujų temperatūra sumažėja iki 10,41 °C. Iš paveikslo matome, kad dujų masės srautas yra 33220 kg/h ir dujos slegiamos iki 3,5 MPa. Slėgimo metu dujų temperatūra pakyla iki 56 °C. Gamtinių dujų kompresorius sunaudoja 9,7 t/h garų. Po slėgimo gamtinės dujos pašildomos iki 410 °C temperatūros, kad vyktų sieros hidrinimo reakcija ir iš srauto būtų pašalinta siera, kuri yra nuodas nikelio katalizatoriams.

Name	garas	pasildytos dujos	GDM
Vapour	1,0000	1,0000	1,0000
Temperature [C]	370,0	410,0	376,8
Pressure [MPa]	3,920	3,500	3,500
Molar Flow [kgmole/h]	5700	1900	7600
Mass Flow [kg/h]	1,027e+005	3,322e+004	1,359e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	102,9	104,8	207,7
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-2,310e+005	-5,943e+004	-1,881e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	168,7	195,2	180,6
Heat Flow [kJ/h]	-1,316e+009	-1,129e+008	-1,429e+009

12 pav. Gamtinių dujų ir garų sumaišymas

Gamtinės dujos maišomos su garais santykiu 3:1 siekiant išvengti metano krekingo, todėl 33220 kg/h gamtinių dujų sumaišoma su 102686 kg/h garų. Po sumaišymo, garų – dujų mišinio temperatūra sumažėja iki 377 °C, slėgis išlieka toks pats – 3,5 MPa. Toliau, garų – dujų mišinys yra šildomas dūminėmis dujomis iki 510 °C temperatūros ir patenka į vamzdinę krosnį.

Modelyje vamzdinę krosnį atitinka GBR – 100 „Gibbs reactor“, kadangi jis gali būti naudojamas kaip alternatyva pusiausvirajam reaktoriui, jei reakcijos stecheometrija yra žinoma. Reaktoriuje vyksta šios reakcijos:



Šiluma reikalinga reakcijai vykti gaunama iš sumodeliuoto degiklio/reaktoriaus, deginant gamtines dujas.

Worksheet	Name	siltas GDM	0	1 laipsnio konvers	siluma radiacinei :
Conditions	Vapour	1,0000	0,0000	1,0000	<empty>
Properties	Temperature [C]	510,0	810,7	810,7	<empty>
Composition	Pressure [MPa]	3,920	3,920	3,920	<empty>
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	7600	0,0000	9954	<empty>
	Mass Flow [kg/h]	1,359e+005	0,0000	1,359e+005	<empty>
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	207,7	0,0000	283,3	<empty>
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-1,821e+005	-1,039e+005	-1,039e+005	<empty>
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	188,1	178,9	178,9	<empty>
	Heat Flow [kJ/h]	-1,384e+009	0,0000	-1,034e+009	3,500e+008

13 pav. 1 laipsnio konversijos technologiniai parametrai

4 lentelė. Medžiagų balansas po 1 laipsnio konversijos

Medžiaga	Įeinančių medžiagų kiekis kg/h	Išeinančių medžiagų kiekis kg/h
Metanas	27890,58	12970,87
Anglies monoksidas	0	16559,19
Anglies dioksidas	836,14	26613,24
Vandens garai	102686,07	70932,73
Vandenilis	0	8030,56
Azotas	798,37	798,37
Etanas	2856,64	1,58
Propanas	837,84	0,0004
Viso:	135905,69	135906,69

Iš 13 paveikslo ir 4 lentelės matome, kad dujų temperatūra reaktoriuje pakyla nuo 510 °C iki 810 °C. Į reaktorių įteka 135905 kg/h srautas ir ištekančiame sraute 135905 kg/h medžiagų. Taip pat 1 kg/h nuo viso srauto paimama patikrinti sauso srauto medžiagų sudėtį, tam panaudojamas aušintuvas E – 111 ir kondensatui atskirti separatorius V – 100.

	saltas analizas	kondensatas	sausas analizas 1 laipsnio
Methane	0,0794	0,0000	0,1306
Oxygen	0,0000	0,0000	0,0000
CO	0,0598	0,0000	0,0984
CO2	0,0615	0,0017	0,1001
H2O	0,3919	0,9983	0,0008
Nitrogen	0,0029	0,0000	0,0047
Ammonia	0,0000	0,0000	0,0000
Hydrogen	0,4045	0,0000	0,6654
Air	0,0000	0,0000	0,0000
Ethane	0,0000	0,0000	0,0000
Propane	0,0000	0,0000	0,0000

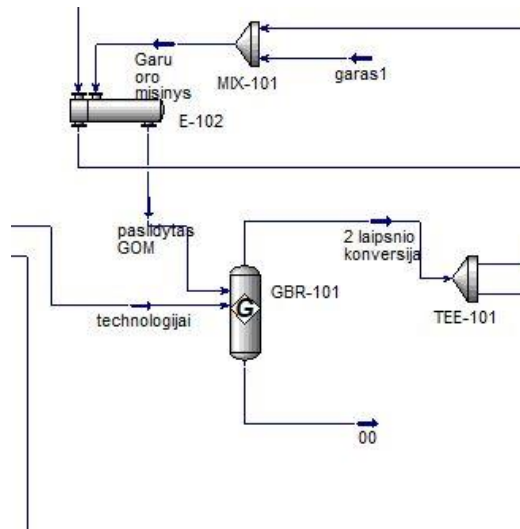
14 pav. 1 laipsnio konversijos analizinis taškas

Iš 14 paveikslo matome, kad didelę dalį viso drėgno srauto sudaro vandens garai, todėl turime juos pašalinti, kad gautumėme sausų dujų sudėtį.

5 lentelė. Drėgnų ir sausų dujų sudėtis po 1 laipsnio konversijos

Medžiaga	Drėgnų dujų sudėtis %	Sausų dujų sudėtis %
Metanas	7,94	13,06
Anglies monoksidas	5,98	9,84
Anglies dioksidas	6,15	10,01
Vandens garai	39,19	0,08
Vandenilis	40,45	66,54
Azotas	0,29	0,47

2.1.3. Antro laipsnio metano konversija



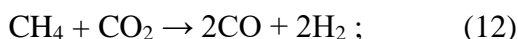
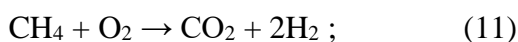
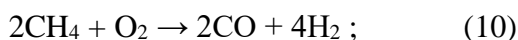
15 pav. 2 laipsnio konversijos blokas

Po pirmo laipsnio metano konversijos seka antro laipsnio metano konversija, taip siekiama konvertuoti likusį sraute metaną ir išgauti kuo didesnę vandenilio išėigą.

Worksheet	Name	pasildytas GOM	technologijai	00	2 laipsnio konvers
Conditions	Vapour	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [C]	500,0	810,7	944,7	944,7
Composition	Pressure [MPa]	3,000	3,920	3,000	3,000
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	2526	9954	0,0000	1,344e+004
	Mass Flow [kg/h]	7,092e+004	1,359e+005	0,0000	2,068e+005
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	81,18	283,3	0,0000	378,2
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-3349	-1,039e+005	-7,758e+004	-7,758e+004
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	156,7	178,9	179,4	179,4
	Heat Flow [kJ/h]	-8,458e+006	-1,034e+009	0,0000	-1,042e+009

16 pav. Antro laipsnio metano konversijos parametrai

Antro laipsnio metano konversija vykdoma taip pat „Gibbs Reactor“ reaktoriuje GBR – 101. Pagal 16 paveikslą matome, kad į reaktorių patenka dujos po pirmo laipsnio konversijos ir garų oro mišinys (GOM). Reaktoriuje vyksta šios reakcijos:



6 lentelė. 2 laipsnio konversijos medžiagų balansas

Medžiaga	Įeinančių medžiagų kiekis kg/h	Išeinančių medžiagų kiekis kg/h
Metanas	12970,87	1163,04
Anglies monoksidas	16559,19	34611,14
Anglies dioksidas	26613,24	30641,88
Vandens garai	74332,7	78029,41
Vandenilis	8030,56	10584,35
Azotas	51797,77	51797,76
Etanas	1,58	1,58
Propanas	0,0004	0,0004
Deguonis	16524,55	0
Viso:	206829,61	206829,61

16 paveiksle matome, kad reakcija yra egzoterminė ir dujų mišinio temperatūra pakyla iki 944 °C, slėgis nukrenta iki 3 MPa ir gauname 206800 kg/h konvertuotų dujų srautą. Dujų sraute vis dar yra nemažas kiekis garų, todėl norint gauti tikslų sausų dujų sudėtį, reikia vėl pašalinti garus iš dujų srauto. Tikslui pasiekti, nuo bendro srauto atskiriamas 1 kg/h masės srautas ir naudojamas šaldytuvas E – 112 dujoms atvėsinti ir separatorius V – 101 susidariusiam kondensatui pašalinti.

	2 laipsnio salta	analizo kondensatas	2 laipsnio analiza
Methane	0,0054	0,0000	0,0080
Oxygen	0,0000	0,0000	0,0000
CO	0,0920	0,0000	0,1356
CO2	0,0518	0,0010	0,0759
H2O	0,3224	0,9989	0,0013
Nitrogen	0,1376	0,0001	0,2029
Ammonia	0,0000	0,0000	0,0000
Hydrogen	0,3908	0,0000	0,5762
Air	0,0000	0,0000	0,0000
Ethane	0,0000	0,0000	0,0000
Propane	0,0000	0,0000	0,0000

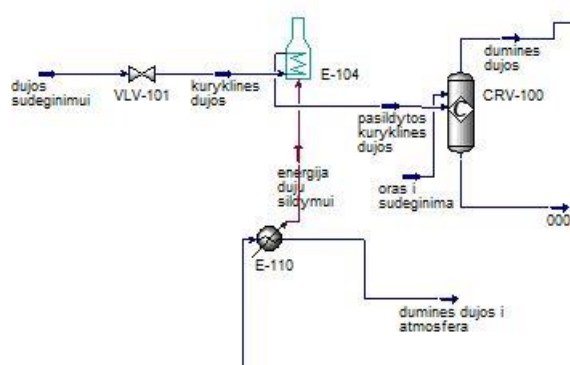
17 pav. Antro laipsnio konversijos analizinis taškas

7 lentelė. Drėgnų ir sausų dujų sudėtis po 2 laipsnio konversijos

Medžiaga	Drėgnų dujų sudėtis %	Sausų dujų sudėtis %
Metanas	0,54	0,8
Anglies monoksidas	9,2	13,56
Anglies dioksidas	5,18	7,59
Vanduo	32,24	0,13
Azotas	13,76	20,29
Vandenilis	39,08	57,62

Kaip matome iš 7 lentelės, po dviejų laipsnių konversijos reaktoriuose sureaguoja beveik visas metanas. Taip pat didžiąją dalį sausos dujų sudėties užima vandenilis ir iš laikomas azoto – vandenilio santykis apie 1 : 3.

2.1.4. Kūryklinių dujų deginimas



18 pav. Kūryklinių dujų blokas

Norint gauti šilumą dujų srautams šildyti ir palaikyti reakcijos temperatūrą reaktoriuje GBR – 100, reikia deginti gamtines dujas. Modeliuojant gamtinių dujų deginimą pasitelktas konversijos reaktorius CRV – 100.

Kūryklinių dujų slėgis redukuojamas iki 0,15 MPa slėgio, dujoms plečiantis jų temperatūra nukrenta iki -1 °C. Po redukavimo, dujos pašildomos dūminėmis dujomis šildytuve E – 104 iki 140 °C temperatūros ir patenka į reaktorių CRV – 100. Degimui reikalingas deguonis, todėl į reaktorių taip pat yra tiekiamas perteklinis oro srautas, su tikslu iki galo sudeginti gamtines dujas.

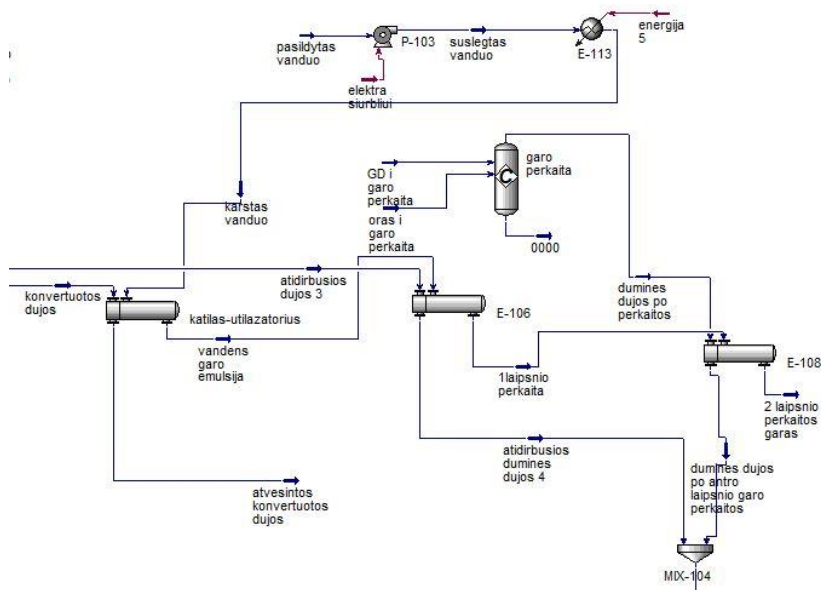
Worksheet	Name	oras i sudeginima	pasildytos kurykli	000	dumines dujos
Conditions	Vapour	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000
Properties	Temperature [C]	25,00	140,0	1920	1920
Composition	Pressure [MPa]	0,1113	0,1500	0,1113	0,1113
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	9705	1030	0,0000	1,075e+004
	Mass Flow [kg/h]	2,800e+005	1,800e+004	0,0000	2,980e+005
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	323,7	56,81	0,0000	361,2
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-8,987	-7,318e+004	-7017	-7017
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	150,9	196,1	233,0	233,0
	Heat Flow [kJ/h]	-8,723e+004	-7,533e+007	0,0000	-7,542e+007

19 pav. Kūryklinių dujų deginimas

Pagal 19 paveikslą matome, kad degimo metu susidaro dūminės dujos kurių temperatūra yra 1920 °C. Deginimui sunaudojama 18000 kg/h gamtinių dujų, norint pasiekti reikiamą temperatūrą 1 laipsnio konversijos reaktoriuje. Taip pat papildomai 3000 kg/h gamtinių dujų yra deginama su tikslu pakelti aukšto slėgio garų temperatūrą. Susidariusios karštos dūminės dujos naudojamos šildyti:

- Gamtinių dujų srautą;
- Garų – dujų mišinį;
- Garų – oro mišinį;
- Aukštų slėgio garų kaitinimui.

2.1.5. 10,55 MPa slėgio garų gamyba



20 pav. Garų gamybos blokas

10,55 MPa slėgio vandens garai gaminami panaudojant perteklinę konvertuotų dujų šilumą, dūminių dujų šilumą ir papildomai deginant kūryklines dujas garų perkaitinimui. Pašildytas vanduo iki 105 °C temperatūros ir 0,18 MPa slėgiu savitaka teka į siurblio P – 103 įsiurbimą. Siurblys P – 103 vandenį suslegia iki 10,55 MPa slėgio. Po suslėgimo, vanduo papildomai šildomas šildytuvu E – 113 iki 303 °C temperatūros ir patenka į katilą – utilizatorių.

Name	konvertuotos dujos	atvesintos konver	karstas vanduo	vandens garo emu
Vapour	1,0000	1,0000	0,0000	0,6543
Temperature [C]	944,7	321,0	303,0	314,0
Pressure [MPa]	3,000	3,000	10,55	10,55
Molar Flow [kgmole/h]	1,343e+004	1,343e+004	1,743e+004	1,743e+004
Mass Flow [kg/h]	2,068e+005	2,068e+005	3,140e+005	3,140e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	378,2	378,2	314,6	314,6
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-7,758e+004	-9,973e+004	-2,620e+005	-2,450e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	179,4	154,1	109,2	138,3
Heat Flow [kJ/h]	-1,042e+009	-1,340e+009	-4,567e+009	-4,270e+009

21 pav. Katilo utilizatoriaus parametrai

Katile utilizatoriuje, konvertuotų dujų temperatūra sumažėja nuo 944 °C iki 321 °C, o šildomo vandens temperatūra pakyla iki 314 °C ir vanduo virsta vandens – garų emulsija. Vandens – garų emulsiją sudaro 65 % garų ir 35 % vandens. Tada vandens – garų emulsija šildoma dūminėmis dujomis norint pasiekti, kad visas srautas būtų garų frakcijos.

Name	atidirbusios dujos	atidirbusios dumi	vandens garo emu	1laipsnio perkaita
Vapour	1,0000	1,0000	0,6543	1,0000
Temperature [C]	901,1	370,0	314,0	375,2
Pressure [MPa]	0,1113	0,1113	10,55	10,55
Molar Flow [kgmole/h]	1,075e+004	1,075e+004	1,743e+004	1,743e+004
Mass Flow [kg/h]	2,980e+005	2,980e+005	3,140e+005	3,140e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	361,2	361,2	314,6	314,6
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-4,912e+004	-6,816e+004	-2,450e+005	-2,332e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	207,5	186,0	138,3	158,0
Heat Flow [kJ/h]	-5,280e+008	-7,325e+008	-4,270e+009	-4,065e+009

22 pav. 1 laipsnio garų perkaitos parametrai

Garų – vandens emulsija kaitinama dūminėmis dujomis virsta į garus ir garų temperatūra pirmo laipsnio perkaitoje pakyla iki 375 °C. Dūminių dujų temperatūra nukrenta nuo 901 °C iki 370 °C.

Toliau garai patenka į 2 laipsnio garų perkaitą, kur jų temperatūra pakeliama deginant gamtines dujas iki reikiamos temperatūros.

Name	dumines dujos po	dumines dujos po	1 laipsnio perkaita	2 laipsnio perkaita
Vapour	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Temperature [C]	1895	460,0	375,2	481,6
Pressure [MPa]	0,1013	0,1013	10,55	10,55
Molar Flow [kgmole/h]	1526	1526	1,743e+004	1,743e+004
Mass Flow [kg/h]	4,200e+004	4,200e+004	3,140e+005	3,140e+005
Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	51,79	51,79	314,6	314,6
Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-8238	-6,700e+004	-2,332e+005	-2,281e+005
Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	235,8	192,6	158,0	165,4
Heat Flow [kJ/h]	-1,257e+007	-1,022e+008	-4,065e+009	-3,975e+009

23 pav. 2 laipsnio perkaitos parametrai

Antro laipsnio garų perkaitoje aukštų parametrų garų temperatūra padidinama iki 481 °C. Iš paveikslo matome, kad naudojant šį modelį galima pagaminti 314 t/h aukštų parametrų garų.

2.2. Temperatūrinio režimo pakeitimas ir žalio vandenilio pridėjimas į dujų srautą

Technologijai patobulinti, bus keičiamas temperatūrinis 1 laipsnio konversijos režimas sumažinant sudegimui skirtų dujų kiekį, padidinant oro kiekį į antro laipsnio konversijos reaktorių, taip pat pridėdant gryno deguonies į oro srautą, su tikslu konvertuoti likusį metaną. Taip pat papildomai pridėdant papildomai 30 % žalio vandenilio, nuo viso gaminamo vandenilio kiekio.

8 lentelė. Pagrindiniai parametrai sumažinus deginamą kūrinių dujų kiekį

Parametrai, dūminių dujų	Deginamų gamtinių dujų kiekis	
	18000 kg/h	13000 kg/h
Temperatūra	1920 °C	1862 °C
Slėgis	0,1113 MPa	0,1113 MPa
Temperatūra 1 laipsnio konversijos reaktoriuje	810 °C	746 °C

Sumažinus deginamų dujų kiekį 5000 kg/h dūminių dujų temperatūra sumažėjo nuo 1920 °C iki 1862 °C. Lygiagrečiai sumažėjo 1 laipsnio konversijos reaktoriuje temperatūra nuo 810 °C iki 746 °C.

9 lentelė. Išmetamų dujų kiekiai

Medžiaga	Deginamų gamtinių dujų kiekis	
	18000 kg/h	13000 kg/h
Deguonis	3778,21 kg/h	7007,46 kg/h
Anglies dioksidas	42816,54 kg/h	34522,57 kg/h
Vanduo	34641,44 kg/h	27057,66 kg/h
Azotas	215213,10 kg/h	184410,00 kg/h

Pagal 9 lentelę matome, kad sumažindami deginamų gamtinių dujų kiekį, taip pat žymiai sumažiname CO₂ išmetimus į aplinką.

10 lentelė. Komponentų kiekiai, esant skirtingiems temperatūriniam režimams

Temperatūrinis režimas		
Komponentas	810 °C	746 °C
CH ₄ , kiekis %	13,06	21,04
CO, kiekis %	9,84	6,39
CO ₂ , kiekis %	10,01	11,23
H ₂ , kiekis %	66,54	60,71

Pagal 10 lentelę matome, kad temperatūrai reaktoriuje sumažėjus 64 °C, metano sraute lieka beveik du kartus daugiau, o vandenilio kiekis sumažėja apie 6 %, taip pat sumažėja CO dalis sraute, o anglies dioksido kiekis padidėja 1 %.

11 lentelė. Medžiagų balansas 1 laipsnio konversijos, pakeitus temperatūrinį režimą

Medžiaga	Įeinančių medžiagų kiekis kg/h	Išeinančių medžiagų kiekis kg/h
Metanas	27890,58	17422,88
Anglies monoksidas	0	9241,43
Anglies dioksidas	836,14	25895,22
Vandens garai	102686,07	76226,96
Vandenilis	0	6319,03
Azotas	798,37	798,37
Etanas	2856,64	2,42
Propanas	837,84	0,0007
Viso:	135905,69	135906,69

Pridedant žalio vandenilio, privaloma išlaikyti reikiama azoto – vandenilio santykį ir sunaudoti metaną, likusį po 1 laipsnio metano konversijos, į 2 laipsnio konversijos reaktorių padidinamas oro kiekis ir į oro srautą papildomai dozuojamas grynas deguonis. Oro srautas padidėja nuo 67420 kg/h iki 90990 kg/h, todėl kompresoriaus sąnaudos padidėja nuo 85 t/h garų iki 105 t/h garų, taip pat papildomai dozuojama 2500 kg/h gyno deguonies.

12 lentelė. Dujų sudėtis po 2 laipsnio konversijos kai skiriasi oro kiekis

Medžiaga	Dujų sudėtis %, kai oro kiekis mažesnis	Dujų sudėtis %, kai oro kiekis didesnis
Metanas	0,8	0,32
Anglies monoksidas	13,56	13,00
Anglies dioksidas	7,59	7,93
Vanduo	0,14	0,14
Azotas	20,29	26,13
Vandenilis	57,62	52,48

12 lentelėje matome, kad padidinus oro kiekį, azoto – vandenilio santykis tampa nebe 1 : 3, todėl norint santykį priartinti prie norimos vertės, bus dozuojamas žalias vandenilis, kurio kiekis lygus 3101 kg/h.

Worksheet	Name	pasildytas GOM	technologijai	00 2 laipsnio konvers
Conditions	Vapour	1,0000	1,0000	0,0000
Properties	Temperature [C]	500,0	746,4	970,9
Composition	Pressure [MPa]	3,000	3,920	3,000
PF Specs	Molar Flow [kgmole/h]	3415	9399	0,0000
	Mass Flow [kg/h]	9,649e+004	1,359e+005	0,0000
	Std Ideal Liq Vol Flow [m3/h]	109,9	269,0	0,0000
	Molar Enthalpy [kJ/kgmole]	-980,0	-1,194e+005	-7,947e+004
	Molar Entropy [kJ/kgmole-C]	156,4	181,8	181,7
	Heat Flow [kJ/h]	-3,347e+006	-1,122e+009	0,0000

24 pav. 2 laipsnio reaktoriaus parametrai

Pagal 24 paveikslą matome, kad padidinus oro srautą ir papildomai dozuojuant gryną deguonį reaktoriuje temperatūra aukštesnė ir pakyla iki 971 °C. Taip pat padidėja medžiagų srautas, dėl didesnio kiekio oro.

13 lentelė. Medžiagų balansas po 2 laipsnio konversijos, pakeitus 1 laipsnio konversijos temperatūrinį režimą

Medžiaga	Įeinančių medžiagų kiekis kg/h	Išeinančių medžiagų kiekis kg/h
Metanas	17422,75	489,51
Anglies monoksidas	9241,36	34245,31
Anglies dioksidas	25895,02	33061,85
Vandens garai	80217,28	85768,85
Vandenilis	6318,98	9953,49
Azotas	68874,27	68874,27
Etanas	2,42	2,42
Propanas	0,0007	0,0007
Deguonis	16524,55	0
Viso:	232395,73	232395,73

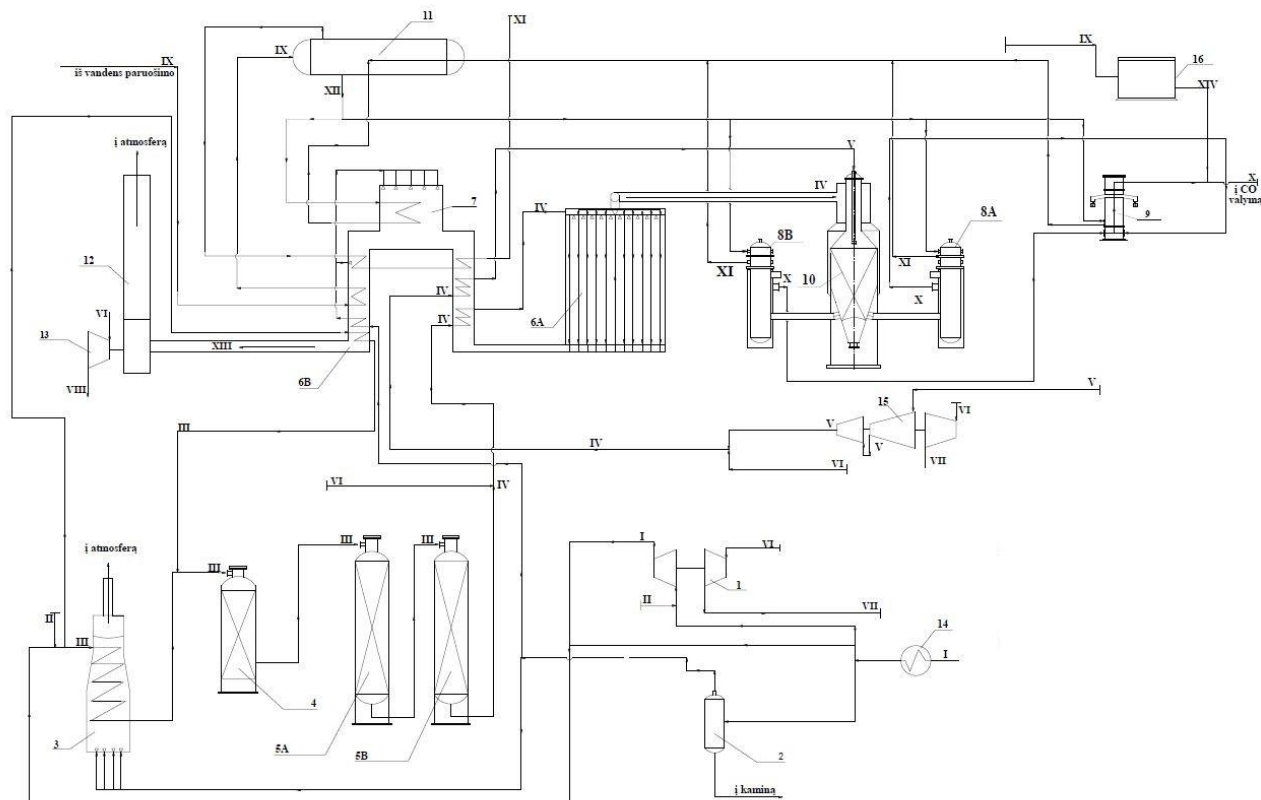
14 lentelė. Dujų sudėtis pridėjus į srautą 30 % žalio vandenilio, nuo viso pagaminamo vandenilio kiekio

Medžiaga	Dujų sudėtis %
Metanas	0,28
Anglies monoksidas	11,17
Anglies dioksidas	6,82
Vanduo	0,13
Azotas	22,45
Vandenilis	59,14

Pagal 14 lentelę matome, kad dozuojant į srautą 3101 kg/h žalio vandenilio azoto – vandenilio santykis tampa artimas 3 : 1, todėl padidėja ir viso agregato našumas.

Padarius šiuos pakeitimus technologinėje linijoje, vis dar galime pagaminti tokį pat kiekį aukštų parametrų garų, tik šiek tiek žemesnės temperatūros. Aukštų parametrų garų temperatūra sumažėja nuo 481 °C iki 468 °C. Žemesnė garų temperatūra yra vis dar tinkama sklandžiam įrengimų darbui.

3. Inžinerinė dalis



25 pav. Dviejų laipsnių metano konversijos technologinė schema. 1 – gamtinių dujų kompresorius, 2 – gamtinių dujų separatorius, 3 – gamtinių dujų ugninis šildytuvas, 4 – sieros junginių hidrinimo aparatas, 5 – sieros junginių absorbcijos aparatas, 6 – vamzdinės krosnies radiacinė ir konvekcinė dalis, 7 – pagalbinė krosnis, 8 – I- o laipsnio katilas – utilizatorius, 9 – II- o laipsnio katilas – utilizatorius, 10 – šachtinis reaktorius su sumaišytuvu, 11 – vandens garų rinktuvas, 12 – kaminas, 13 – dūmsiurbis, 14 – gamtinių dujų pašildytuvas, 15 – oro kompresorius, 16 – elektrolizeris.

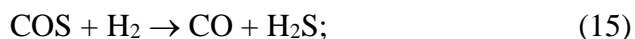
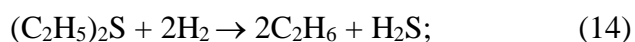
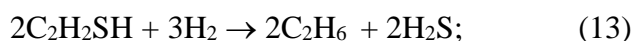
3.1. Dviejų laipsnių metano konversijos technologinės schemos aprašymas

3.1.1. Gamtinių dujų redukavimas

Pagrindinis dviejų laipsnių metano konversijos proceso žaliavos šaltinis yra gamtinės dujos, gaunamos iš bendrovės tinklo. Gamtinių dujų slėgis reguliuojančiais vožtuvais redukuojamas ir palaikomas apie 2,1 MPa. Šaltuoju metų laikotarpiu, gamtinės dujos pašildomos pašildytuve (14), panaudojant 0,35 MPa ar 0,7 MPa slėgio garus. Toliau gamtinės dujos reguliuojančiais vožtuvais, paskirstomos į du srautus: technologijai ir sudeginimui. Taip pat yra gamtinių dujų apvadas, apeinantis kompresorių (1), naudojamas jam nedirbant.

3.1.2. Gamtinių dujų nuo sieros junginių valymas

Po redukavimo mazgo gamtinės dujos suslegiamos iki 3,5 MPa slėgio ir patenka į gamtinių dujų pašildytuvą, kuriame yra pašildomos iki 410 °C, panaudojant dūminių dujų šilumą, vamzdinės krosnies (6) konvekcinėje dalyje. Po pašildytuvo, dujos patenka į sieros junginių suhidrinimo aparatą (4), kuris yra pakrautas aliuminio – kobalto – molibdeno katalizatoriumi, katalizatoriaus paviršiuje vyksta šios reakcijos:



Norint hidrinti sieros junginius, reikia dozuoti vandenilio – azoto mišinį (nemažiau 3 % tūrio), kuris patenka į dujų kompresoriaus (1) išsiurbimo liniją. Kompresoriui (1) sustojus azoto – vandenilio mišinys paimamas iš metanavimo bloko ir nukreipiamas į suslėgimo liniją. Po hidrinimo, dujų mišinys tiekiamas į sieros junginių adsorberius (5A, 5B), kurie yra pakrauti cinko – vario oksido katalizatoriais ir vyksta šios reakcijos:



3.1.3. I laipsnio metano konversija

Išvalius sieros junginius iš gamtinių dujų, dujų mišinys apie 3,5 MPa slėgio ir 400 °C temperatūros maišomas su vandens garais, kurių slėgis apie 4 MPa ir nukreipiamas į vamzdinę krosnį (6). Dujų ir garų santykis išlaikomas 1:3. Susimaišius dujoms ir vandens garams susidaro 370 °C dujų – garų mišinys, kuris šildomas iki 510 °C temperatūros vamzdinės krosnies (6) konvekciniėje dalyje, panaudojant dūminių dujų šilumą.

Konvekciniėje vamzdinės krosnies (6) dalyje šildomi šie srautai:

- Garų – dujų mišinys, kuris tiekiamas į vamzdinės krosnies (6) reakcinius vamzdžius, pašildomas iki 510 °C temperatūros;
- Garų – oro mišinys prieš šachtinį metano konverterį (10) pašildomas iki 500 °C temperatūros;
- 10,55 MPa slėgio vandens garai dviejų laipsnių perkaitintuve pašildomi iki 470 – 490 °C temperatūros;
- Gamtinės dujos į sieros valymo bloką pašildomos iki 410 °C temperatūros;
- Kūryklinės dujos pašildomos iki 140 °C temperatūros prieš joms susimaišant su tankinėmis ir prapūtimo dujomis;
- Maitinantis vanduo pašildomas iki 314 °C į garų rinktuvą (11).

Dūminės dujos, kurių temperatūra apie 200 °C, po vamzdinės krosnies konvekcinės dalies, atsiurbiamos dūmsiurbliais (13) ir per kaminą (12) išmetamos į atmosferą.

3.1.4. II laipsnio metano konversija

Antro laipsnio metano konversija vyksta šachtiniame metano konverteryje (10), kur galutinai konvertuojamas metanas likęs dujų sraute, po pirmo laipsnio metano konversijos. Likutinis metanas

reaguoja su oro deguonimi ir garais, kartu su oru įvedamas amoniako sintezei reikalingas azotas (H_2 : N_2 santykis 3 : 1). Prieš tiekiant oro – garų mišinį į šachtinį konverterį, oras suslegiamas kompresoriumi (15) ir santykiu 1 : 0,1 sumaišomas su 4 MPa slėgio garais. Tada oro – garų mišinys įkaitinamas vamzdinės krosnies konvekciniėje dalyje iki 500 °C temperatūros ir visas srautas nukreipiamas į viršutinę šachtinio konverterio dalį. Dalinai konvertuotos dujos iš pirmo laipsnio konversijos, tūriniu santykiu dujos – garai 1 : 0,7, o temperatūra ne didesnė kaip 860 °C, susimaišo su garų – oro mišiniu ir dega. Siekiant išvengti katalizatoriaus perkaitimo ir pasiekti optimalų jo veikimą, konverteris suprojektuotas su laisva erdve virš katalizatoriaus, kurioje vyksta dalinis degimas. Dėl to temperatūra pakyla iki 1250 °C, todėl apatiniuose katalizatoriaus sluoksniuose likusio metano konversija pagerėja. Įkaitęs dujų mišinys prasiskverbdamas, pro šešiakampių ugniai atsparių plytų sluoksnį, tolygiai pasiskirsto ant katalizatoriaus sluoksnio.

Konvertuotų dujų šiluma panaudojama lygiagrečiai sujungtuose pirmo ir antro laipsnio katiluose – utilizatoriuose (8A, 8B, 9) 10,55 MPa slėgio garų gamybai. Į pirmo laipsnio katilus – utilizatorius (8A ir 8B) dujos patenka apie 950 °C temperatūros ir atvėsta iki 380 °C. Vėliau, dujos dar kartą aušinamos antro laipsnio katile – utilizatoriuje (9) ir atvėsta iki 320 °C temperatūros.

Su tikslu apsaugoti metalą nuo aukštų temperatūrų, pirmo laipsnio katilai – utilizatoriai, perdavimo kolektorius ir šachtinis metano konverteris yra iš vidaus futeruoti, o išorėje apgaubti vandens marškiniai. Vandens apvalkalas ištaisai pildomi bedruskiu vandeniu.

3.1.5. Kūryklinės dujos

Redukavus dujas gamtinių dujų redukavimo mazge, slėgio reguliavimo vožtuvai naudojami siekiant užtikrinti, kad gamtinių dujų kolektoriuje būtų palaikomas 0,85 MPa slėgis. Dujos tiekiamos į gamtinių separatorių (2) ir pasiskirsto į:

- Gamtinių dujų šildytuvo (3) keturis degiklius;
- Pagalbinės krosnies (7) penkis rotacinius degiklius;
- Vamzdinės krosnies (6) dvylikai tunelinių degiklių ir 260 lubinių degiklių;
- Vamzdinės krosnies (6) dviejų laipsnių garų perkaitos 24 degikliams;

Didžioji dalis kūryklinių dujų tiekama į vamzdinės krosnies (6) lubinius degiklius.

3.1.6. 10,55 MPa slėgio garų gamyba

Gaminant aukšto slėgio garus naudojamas tik deaeruotas vanduo. Deaeruotas vanduo gaminamas dviem lygiagrečiai veikiančiais terminiais deaeratoriais, į kuriuos patenka bedruskis vanduo ir 0,35 MPa slėgio garas. Terminis deaeravimas naudojamas remiantis faktu, kad deguonies tirpumas vandenyje mažėja, kylant vandens temperatūrai. Atskirtos dujos išleidžiamos į aplinką, o atvėsintas garų kondensatas gražinamas į deaeratorių bakus. Terminė deaeracija naudojama skiekiant sumažinti vandenyje ir įrengimų korozija.

Deaeruotas vanduo, kurio temperatūra neviršija 105 °C, siurbliais slegiamas iki 12 – 15 MPa ir pumpuojamas į vamzdinės krosnies konvekcines ertmes, kur temperatūra pakyla iki 314 °C. Iš ten karštas vanduo patenka į garų surinktuvą (11). Vykstant natūraliai cirkuliacijai, tarp garų rinktuvo ir

katilų – utilizatorių (8, 9) bei pagalbinio katilo (7), gaunami 10,55 MPa slėgio vandens garai. Garų rinktuve esantys separatoriai, atskiria vandens garus nuo vandens, o gauti garai tiekiami į dviejų pakopų perkaitintuvą, esantį vamzdinės krosnies konvekcinėje dalyje. 10,55 MPa slėgio vandens garai naudojami sukti amoniako sintezės kompresoriaus turbiną, kurioje garų slėgis sumažėja iki 4 MPa. 4 MPa slėgio vandens garai panaudojami pirmo laipsnio konversijoje, oro ir gamtinių dujų kompresorių turbinoms sukti, taip pat ir dūmsiurblių bei aukšto slėgio vandens siurblių turbinoms sukti.

3.2. Technologinė schema

Technologinė dviejų laipsnių metano konversijos schema pateikta Priede Nr. 1, A1 formatu.

Technologinės schemos pakeitimai:

Į technologinę schemą pridedamas vandens elektrolizės įrenginys (16) žalio vandenilio gamybai.

3.3. Statybiniai sprendimai

Dviejų laipsnių metano konversijos technologinė linija yra rekonstruojama AB „Achema“ įmonėje, amoniako cecho Nr.1 teritorijoje, Jonalaukio kaime, Ruklos seniūnijoje, Jonavos rajone. Įmonė įsikūrusi prie pat Neries upės ir 3 kilometrų atstumu nuo labai svarbaus magistralinio kelio A6, taip pat įmonėje įrengti geležinkelio bėgiai. Amoniako cechas Nr.1 per metus pagamina apie 525,6 tūkstančius tonų amoniako.

15 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
1.	I. SKLYPAS		
	1.1. sklypo plotas	ha	0,9
	1.2. statinio užimtas žemės plotas	m ²	2500
	1.3. apželdintas žemės plotas (žalasis plotas)	m ²	1500
	1.4. asfaltuotas sklypo plotas	m ²	5000

3.3.1. Sklypo planas

Sklypo plotas yra 0,9 ha ir jame rekonstruojama gamybinė linija. Patekti į teritoriją galima iš Azoto gatvės. Gatvė yra išasfaltuota ir šalia jos yra 1,5 metro pločio trinkelėmis klotas šaligatvis. Iš lentelėje pateiktų duomenų matome, kad didžiausia dalis sklypo yra padengta asfalto danga. Žalasis sklypo plotas užima 1500 m² ir pagrinde apželdintas žole.

3.3.2. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai

Pagrindinės inžinerinės sistemos yra vandens ir gamtinių dujų vamzdynai. Vanduo panaudojamas kaip aušinimo agentas ir garų gamybai. AB „Achema“ naudoja didelius kiekius vandens, kuris siurbliais siurbiamas iš Neries upės, tada yra chemiškai apdorojamas ir patenka į įmonės tinklą.

Gamtinės dujos panaudojamos technologijoje ir jas deginant, kaip šiluminę energiją. Įmonės gamtinių dujų tiekėjas yra Klaipėdos suskystintų dujų terminalas.

Pagrindiniai įrengimai:

- Gamtinių dujų kompresorius;
- Gamtinių dujų separatorius;
- Sieros junginių hidrinimo įrenginys;
- 2 vnt. sieros junginių adsorbicijos aparatų;
- Vamzdinės krosnies radiacinė ir konvekcinė dalys;
- 2 vnt I-o laipsnio katilai – utizatoriai;
- II – o laipsnio katilas utilizatorius;
- Šachtinis konverteris;
- Vandens garų rinktuvas;
- Kaminas;
- 2 vnt. dūmsiurblių.

Kadangi įrengimuose temperatūros yra didesnės nei 200 °C, visi įrengimai turi šiluminę izoliaciją iš 10 cm akmens vatos. Ant akmens vatos dedama skardinė izoliacija.

3.3.3. Statinio architektūrinė ir konstrukcinė sandara

Dviejų laipsnių metano konversijos technologinė linija yra 58.5m ilgio, 55m pločio ir 37m aukščio. Pagrindinė įranga stovi lauke ir yra laikoma metalinio karkaso. Tokio statinio nebūdinga statyti uždaroje patalpoje, dėl šių priežasčių:

- Naudojami dideli kiekiai sprogių ir degių dujų;
- Technologiniai srautai yra aukšto slėgio ir siekia iki 10,55 MPa;
- Atsiradus dujų pralaidai, sprogių ar degių dujų koncentracija gryname ore staigiai mažėja.

Prie pagrindinės įrangos yra įrengtos apžiūros aikštelės atitinkamose atžymose: vamzdinės krosnies radiacinės ir konvekcinės dalies 6,7 m aukštyje. Pirmo laipsnio katilų utizatorių 9,6; 13,6 m aukštyje. Šachtinio konverterio apžiūros aikštelė įrengta 10 m aukštyje. Sieros junginių valymo bloke apžiūros aikštelės įrengtos 7,1: 10,9 m aukštyje. Vandens garų rinktuvo apžiūros aikštelės įrengtos 31,2 m ir 36,6 m aukščiuose.

3.4. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

3.4.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė

Tobulinant dviejų laipsnių metano konversijos technologinę liniją, reikią ją įvertinti daugeliu atvejų, tai yra technologiniu, aplinkosauginiu ir ekonomiais aspektais. Kiekvienas patobulinimas turi būti pagrįstas ekonomiais skaičiavimais. Tobulinamas objektas yra metano konversijos technologinė linija, kurios gaminamas vandenilis panaudojamas amoniako sintezei, todėl yra siekiama nustatyti ekonomines ir organizacines problemas, atliekant įmonės makroaplinkos, mikroaplinkos ir SSGG analizę, atsižvelgiant į tobulinamą objektą.

Makroaplinkos analizė apima išorinių veiksnių, darančių poveikį įmonei, įskaitant demografinius, ekonominius, socialinius ir kultūrinius bei vyriausybės reguliavimo aspektus, vertinimą [11]. Tobulinamo objekto atžvilgiu, teigiama, kad svarbiausia yra technologiniai veiksniai, nes amoniako paklausa sparčiai didėja, kadangi daugiausiai jo sunaudojama trąšų gamybai, kurių poreikis sparčiai didėja. Europos sąjungai pradėjus iniciatyvą pereiti prie žaliojo kurso, kuris reiškia, kad iki 2030 metų šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimai tu sumažėti 60 proc. lyginant su 1990 metais [12], būtina pradėti ir plėsti vandenilio gamybą elektrolizės būdu ir mažinti sudeginamų dujų kiekį.

Mikroaplinka – tai visuma jėgų (pirkėjai, tiekėjai, konkurentai ir pan.), kurioms įmonė, siekdama savo tikslų, gali padaryti įtaką [11]. Įmonės svarbiausias tikslas aplenkti konkurentus pereinant prie žaliojo kurso gamybos ir teikti pirkėjams produktą, kurio gamyba yra draugiškesnė aplinkai, kadangi vis daugiau vartotojų/ pirkėjų atsižvelgia ar produktas gaminamas tausojant aplinką. Amoniako gamyba vyksta nepertraukiamai, todėl svarbus aspektas yra nuolatinis žaliavų tiekimas, atsižvelgiant į žaliavos kainą.

SSGG analizė atspindi organizacijos stiprybes, silpnybes, galimybes ir grėsmes [13]. Įmonės pagrindinė stiprybė kvalifikuotų specialistų gausa, kurie pritaikydami savo žinias ir patirtį, geba patobulinti technologinę liniją ir įvertinti grėsmes tokias kaip: ar pakaks finansavimo, ar pakankamas vamzdyno apsauginių elementų kiekis.

Įvertinus įmonės makroaplinkos, mikroaplinkos ir SSGG, taip pat atkreipiant dėmesį į tobulinamą objektą, galima teigti, kad ekonominė problema apibrėžiama, kaip dviejų laipsnių metano konversijos optimizavimas tobulinant technologinę liniją, siekiant gaminti produktą mažiau teršiant aplinką, analizuojant patiriamas išlaidas prieš patobulinimą ir po patobulinimo. Dviejų laipsnių metano konversijos metu sunaudojama dideli kiekiai gamtinių dujų, vandens ir oro. Vandens ir oro kaina yra pakankamai maža, kadangi žaliavos paaimamos iš atmosferos ir upės. Pagrindinė žaliava, kuri nusako produkto ir proceso kainą yra gamtinės dujos. Remiantis UAB „Ignitis“ duomenimis, dujų kaina vartotojams, kurie suvartoja daugiau nei 20000 m³ gamtinių dujų per metus, jų kaina yra 0,88 eur/m³ [14].

16 lentelė. Sutaupomas dujų kiekis ir kaina

Pavadinimas	Kiekis, m ³ /h	Kiekis, m ³ /metus	Vertė, mln. Eur.	
			Vieno m ³	Visų
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5 = 4 × 3</i>
Gamtinės dujos	5000	43800000	0,00000088	38,544
Viso:				38,544

Sutaupomas dujų kiekis gamybai veikiant nepertraukiamai 365 dienas per metus lygus:

$$V_{CH_4} = 5000 \cdot 24 \cdot 365 = 43800000m^3$$

Atlikus skaičiavimus, po technologijos patobulinimo, įmonė gali sutaupyti 38,54 mln. Eur. Tačiau šį teiginį būtina pagrįsti finansiniais skaičiavimais.

3.4.2. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai

Tobulinamo objekto – metano konversijos technologinė linija – investicijų skaičiavimas pradedamas nuo kaštų, reikalingų įrenginių pirkimui skaičiavimo. Kadangi atliekami skaičiavimai tik keičiant technologiją, trumpalaikio turto vertė nevertinama .

17 lentelė. Projekto kaštai ir finansavimo šaltiniai

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	mln. Eur	Struktūra	mln. Eur
Ilgalaikiam turtui įsigyti, tarp jo gamybos priemonėms	10,450	Akcininkų nuosavybė; akcinis kapitalas, rezervai	7,105
		Paskolos	3,345
Viso kaštų:	10,450	Viso šaltinių:	10,450

Projekto kaštams padengti bus naudojamas akcinis kapitalas, įmonės rezervas ir reikės ilgalaikės paskolos, kurios vertė siekia 3,345 mln. Eur. Ilgalaikė paskola imama 5 metams.

3.4.3. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas

Norint apskaičiuoti ilgalaikio turto vertę, reikia žinoti perkamų įrengimų ir montavimo kainas

18 lentelė. Ilgalaikio turto įsigijimo kaštai

Eil. Nr.	Įrengimo pavadinimas	Vieneto kaina, Eur	Kiekis	Vertė, Eur.
1	Elektrolizeris	10000000	1	10000000
2	Vamzdyno paruošimo išlaidos	150000	1	150000
3	Kitos išlaidos	300000	1	300000

Pagal lentelės duomenis matome, kad tobulinant dviejų laipsnių metano konversijos agregatą, didžiausios išlaidos gaunamos perkant inventorių. Elektrolizeris reikalingas siekiant sumažinti deginamų gamtinių dujų kiekį ir gaminti žalią vandenilį pasitelkus elektros energiją. Įrenginių ir jų įrengimo kainos yra preliminarios, nustatytos remiantis panašių objektų vertės rodikliais.

Trumpalaikio turto įsigijama nebus, todėl trumpalaikio turto skaičiavimai atliekami nebus.

3.4.4. Produkcijos gamybos apimtys planavimas

Galutinė metano konversijos gaminama produkcija yra amoniakas. Prieš rekonstrukcija jo pagaminama:

19 lentelė. Produkcijos gamybos apimtys, prieš ir po rekonstrukcijos

Projekto metai	Įsisavinimo koeficientas	Gamybos apimtys	
		Po rekonstrukcijos, amoniakas C	Prieš rekonstrukcija, amoniakas R
1	0,9	536112	560640
2	1,0	595680	560640
3	1,0	595680	560640
4	0,9	536112	560640
5	0,9	536112	560640

Atliekant dviejų laipsnių metano konversijos modernizaciją, pasikeičia ir pagaminamo amoniako kiekis, jis padidėja nuo 560640 t/m iki 595680 t/m. projekto brandos metais.

3.4.5. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

20 lentelė. Išlaidos gamtinėms dujoms

Medžiagos (žaliavos) pavadinimas	Gamybos planas, t/metus.	Medžiagų sunaudojimo norma gaminiui, natūriniais vienetais, m ³ /t amoniako	Medžiagos kaina, Eur/m ³ .	Medžiagos poreikis, natūriniais vienetais	Medžiagų kaštai	
					Gaminio, Eur/t.	iš viso, mln. Eur
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5=2x3</i>	<i>6=3x4</i>	<i>7=6x5</i>
Prieš rekonstrukcija						
Gamtinės dujos	560640	1197,91	0,88	671596262	1054,17	591
Po rekonstrukcijos						
Gamtinės dujos	595680	955,88	0,88	569398598,4	841,17	501,07

Prieš rekonstrukcija įmonė per valandą pagamina 64 tonas amoniako, todėl gamybos planas lygus:

$$m_{NH_3} = 64 \cdot 24 \cdot 365 = 560640 \text{ t/metus}$$

Po rekonstrukcijos įmonė per valandą pagamins 68 tonas amoniako, todėl gamybos metinis planas lygus:

$$m_{NH_3} = 68 \cdot 24 \cdot 365 = 595680 \text{ t/metus}$$

Gamtinių dujų suvartojimas technologijai nepasikeičia ir išlieka nepakitęs:

$$V_{CH_4} = 44000 \cdot 24 \cdot 365 = 385440000 \text{ m}^3/\text{metus}$$

Išlaidos pagrindinių gamybos darbininkų darbo užmokesčiui: iš viso įmonėje dirba 10 gamybos darbininkų, kurių valandinis atlyginimas siekia 8 Eur/h, tačiau pridėjus premijas jis pakyla iki 10,2 Eur/h. Darbuotojo mokesčiai už gautas pajamas sudaro 39,5 %, o darbdavys sumoka 1,77 % atlyginimo sumos socialiniam draudimui. Kadangi dirbama nenutraukiamai, tai darbo imlumas:

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

21 lentelė. Pagrindinių darbininkų darbo užmokestis

Gaminys	Metinė gamybos apimtis, t/metus	Programos darbo imlumas, tūkst. h	Darbininkų skaičius	Valandinis tarifinis atlyginimas, Eur/val	Darbo užmokestis, mln. Eur	Atskaitymai soc.draudimui, mln.Eur
1	2	3	4	5	6=3x4x5	7=6x0,0177
Prieš rekonstrukciją						
Amoniakas	560640	8,76	10	10,2	0,9828	0,0174
Viso suma:	-				1,0002	
Po rekonstrukcijos						
Amoniakas	595680	8,76	10	10,3	0,9828	0,0174
Viso suma:	-				1,0002	

Atlikus technologijos linijos patobulinimą pagrindinių darbininkų darbo užmokestis lieka nepakitęs, kadangi elektrolizerio papildomai aptarnauti nereikia.

Išlaidos technologinių procesų energijai – įmonėje sunaudojamas didelis kiekis elektros energijos, kuri panaudojama įrenginių darbui. Prieš rekonstrukciją naudojami 4 dozatoriai ir 1 pagr. siurblys, o po rekonstrukcijos prisideda ir elektrolizeris, kuris naudoja elektros energiją.

22 lentelė. Elektros energijos išlaidos

Įrenginių pavadinimas	Įrengimų skaičius, vnt.	Variklio galia, kW	Darbo valandų skaičius metuose, h	Elektros energijos poreikis, kWh	1 kWh kaina, Eur	Išlaidos elektros energijai, mln. Eur
1	2	3	4	5=2x3x4	6	7=5x6
Prieš rekonstrukciją						
Dozatoriai	4	12	8760	420480	0,084	0,035
Pagr. siurblys	1	442	8760	3871920	0,084	0,325
Iš viso:	-				0,36	
Po rekonstrukcijos						
Elektrolizeris	1	210000	8760	1655640000	0,02	33,112
Dozatoriai	4	12	8760	420480	0,02	0,0084
Pagr.siurblys	1	442	8760	3871920	0,02	0,0774
Iš viso:	-				33,197	

Remiantis UAB „ESO“ duomenimis, atsinaujinančiu būdu gautos elektros saugojimo kaina už 1 kWh yra 0,02 Eur/kWh [15]. Po rekonstrukcijos, didžiausią kiekį elektros energijos sunaudoja

elektrolizeris ir elektros sunaudojimo kiekis labai stipriai išauga. Šiluminei energijai išlaidos neskačiuojamos, nes sudeginamų dujų kiekis yra įtrauktas į sunaudojamus reagentus.

3.4.6. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Su gamyba nesusijusios išlaidos sudaro netiesioginius gamybos kaštus, tokios kaip: pagalbines medžiagas, darbo užmokestis, amortizaciniai atsiskaitymai, remontai.

23 lentelė. Netiesioginiai gamybos kaštai, tūkst. Eur.

Išlaidų rūšys	Projekto metai				
	1	2	3	4	5
Pagalbinės medžiagos	236,7	236,7	236,7	213,0	189,4
Darbo užmokestis, vadovų, papildomų darbininkų	182,8	194,1	194,1	178,4	180,1
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	3,2	3,4	3,4	3,2	3,2
Elektros energija	33657,4	33657,4	33657,4	33657,4	33657,4
Vanduo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Šiluminė energija	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Amortizaciniai atskaitymai	472,5	472,5	472,5	472,5	472,5
Elektrolizerio remontas	200,0	200,0	200,0	200,0	200,0
Priežiūros darbai	1390,1	1390,1	1390,1	1390,1	1390,1
Iš viso tūkst. Eur:	36142,8	36154,3	36154,3	36114,6	36092,7

Netiesioginiams gamybos kaštams priklauso amortizaciniai atsiskaitymai, jie vertinami tik rekonstrukcijos metu pastatytiems įrenginiams. Pagal 23 lentelę matome, kad kiekvienais projekto metais bendra suma netiesioginių kaštų yra panaši apie 361,3 mln. Eur.

24 lentelė. Amortizaciniai atsiskaitymai

Ilgalaikio turto rūšis	Išsigijimo vertė, tūkst. Eur	Normatyvinė eksploataavimo trukmė	Nusidėvėjimo suma, tūkst. Eur metams					Likutinė vertė, tūkst. Eur
			1	2	3	4	5	
Elektrolizeris	10000	20	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	7750,00
Vamzdyno paruošimo išlaidos	150	15	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	105,00
Viso:	10150		459,00	459,00	459,00	459,00	459,00	7855,00

3.4.7. Veiklos kaštai

Veiklos kaštus sudaro pagalbinių medžiagų ir administracijos patalpų išlaikymo išlaidos, pardavimų sąnaudos, administracijos darbuotojų darbo užmokestis, atskaitymai socialiniam ir sveikatos draudimams bei kitos išlaidos.

25 lentelė. Gaminių kainos skaičiavimas

Išlaidų rūšys	Suma, tūkst. Eur
1. Pardavimų sąnaudos:	525,37
• Reklama ir skelbimai	197,01
• Prekių išvežimas	328,36
2. Bendrosios ir administracinės sąnaudos:	3380,52
• Pagalbinės medžiagos	9,60
• Administracijos darbuotojų darbo užmokestis	100
• Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	56,16
• Energija (šiluminė ir elektros)	11,30
• Amortizaciniai atskaitymai	45,59
• Paslaugos	10,00
• Komandiruotės	5,00
• Mokesčiai ir rinkliavos	65,67
Viso:	828,69

Veiklos sąnaudos sudaro 0,16 % gamybos kaštų.

3.4.8. Finansinės ir investicinės sąnaudos

Finansinėms ir investicinėms sąnaudoms, šiuo atveju, priskiriamos palūkanos už banko paskolas. Trumpalaikių paskolų palūkanos yra didesnės lyginant su ilgalaikėmis paskolomis, todėl pasirinkta ilgalaikė paskola įrangai pirkti.

26 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
1. Paskolos suma, tūkst. Eur.	3045,00	2436,00	1827	1218,00	609,00
2. Metinė palūkanų norma, proc.	3,14	3,14	3,14	3,14	3,14
3. Palūkanos, tūkst. Eur.	95,61	76,49	57,37	38,25	19,12
4. Paskolos padengimas, tūkst. Eur	609,00	609,00	609,00	609,00	609,00

Ilgalaikės paskolos grąžinimas numatytas penkiems metams, o palūkanų dydis yra lygus 3,14 procentų.

3.4.9. Gaminio kainos skaičiavimas

Apskaičiavus gamybos, finansines bei investicines sąnaudas, veiklos kaštus, nustatoma gaminių kaina.

27 lentelė. Gaminių kainos skaičiavimas

Gaminiai	Gaminio gamybinė savikaina, Eur	Gaminiui, tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	Gaminiui, tenkančios investicinės veiklos sąnaudos, Eur	Gaminio pilnoji savikaina, Eur	Pelnas		Kaina
					%	Eur/vnt.	Eur
1 metai							
C po rekonstrukcijos	871,24	3,23	0,92	875,39	12	105,05	980,44
R prieš rekonstrukciją	1090,21	3,88	1,11	1095,19	12	131,42	1226,62
Brandos metai (2, 3 metai)							
C	868,18	2,91	1,04	872,13	24	209,31	1081,45
R	1089,95	3,88	1,11	1094,93	27	295,63	1390,57
4 metai							
C	784,10	3,23	0,92	788,26	25	197,06	985,32
R	1091,86	3,88	1,11	1096,84	28	307,12	1403,96
5 metai							
C	871,21	3,23	0,92	875,36	23	201,33	1076,70
R	1091,65	3,88	1,11	1096,63	19	208,36	1304,99

Pagal lentelės duomenis matome, kad gaminio pilnoji savikaina po rekonstrukcijos, brandos metais, sumažėjo nuo 1095,19 Eur. Iki 872,13 Eur.

3.4.10. Projekto pelnas ir grynujų pinigų sratai

Šioje dalyje pateikiama pelno (nuostolio) ataskaita ir apskaičiuojami grynujų pinigų sratai, kurie vertinami tik po rekonstrukcijos.

28 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita, tūkst. Eur

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
1. Pardavimų pajamos	550766,47	672448,27	672448,27	616823,87	604893,27
2. Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	487292,46	537225,12	537225,12	488208,94	488084,11
3. Bendras pelnas (nuostolis)	63474,00	135223,15	135223,15	128614,93	116809,16
4. Veiklos sąnaudos	3905,89	3905,89	3905,89	3905,89	3905,89
5. Veiklos pelnas (nuostolis)	59568,11	131317,26	131317,26	124709,04	112903,27
6. Finansinė ir investicinė veikla;					
6.1. Pajamos	17753,77	14203,02	10652,26	7101,51	3550,75
6.2. Sąnaudos	4108,22	3996,73	3885,24	3773,74	3662,25
7. Pelnas (nuostolis) prieš apmokestinimą	73213,66	141523,55	138084,29	128036,81	112791,77
8. Pelną mokestis	10982,05	21228,53	20712,64	19205,52	16918,77
9. Grynasis pelnas (nuostolis)	62231,61	120295,01	117371,64	108831,29	95873,01

Bendrasis pelnas (nuostolis) gaunamas iš pardavimo apimties, atimant paroduamos produkcijos gamybos kaštus, o veiklos pelnas (nuostolis) gaunamas iš bendrojo pelno (nuostolio), atimant veiklos sąnaudas. Iš lentelės matome, kad gaunamas grynas pelnas brandos metais yra 117371,64 tūkst. Eur.

3.4.11. Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas modernizacijos atveju

Šiame skyriuje apskaičiuojamos išlaidos, produkto vienetui pagaminti prieš ir po modernizacijos. Gamybos apimtis sutampa su projekte numatytu kiekiu.

29 lentelė. Veikos sąnaudų pasiskirstymas prieš ir po modernizacijos

Rodikliai	Gaminiai	
	C po modernizacijos	R prieš modernizaciją
Veiklos sąnaudos, tūkst. Eur	1732,82	2173,02
1 metai		
Pardavimo planas, tūkst. vnt.	536,11	560,64
Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	3,23	3,88
Brandos metai (2 , 3 metai)		
Pardavimo planas, tūkst. vnt.	595,68	560,64
Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	2,91	3,88
4 metai		
Pardavimo planas, tūkst. vnt.	536,11	560,64
Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	3,23	3,88
5 metai		
Pardavimo planas, tūkst. vnt.	536,11	560,64
Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	3,23	3,88

Įvertinus skaičiavimus tobulinant dviejų laipsnių metano konversijos technologiją, matoma, kad gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos po rekonstrukcijos yra mažesnės, taip pat brandos metais amoniako yra pagaminama daugiau. Tai reiškia, kad pelno bus gaunama po rekonstrukcijos daugiau.

30 lentelė. Išlaidos ir sąnaudos

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	591	1054,1	501,07	841,17	212,93
Išlaidos pagalbinėms medžiagoms	204,6	353,9	196,5	339,9	14
Amortizacija	-	-	0,064	0,11	0,11
Darbo užmokesčio išlaidos	0,58	1	0,58	1	0

Soc.draudimo išlaidos	0,17	0,29	0,17	0,29	0
Bazinė gamybos apimtis, t	560640				
Gamybos apimtis projekte, t	595680				
Iš viso išlaidų ekonomija gaminio vienetui (be amortizacijos), Eur/t.				227,04	
Iš viso išlaidų ekonomija (nuostoliai), mln.Eur				19,13	

Analizuojant skaičiavimus, vykdant metano konversijos technologinės linijos tobulinimą, pastebima, kad išlaidų ekonomija vienetui bus 227,04 Eur/t, o papildomas pelnas įgyvendinus projektą bus 19,13 mln. Eur. Daroma išvada, kad didesnė pelno suma rodo, kokią naudą įmonė gaus atlikus rekonstrukciją.

3.4.12. Investicijų efektyvumo vertinimas

Vertinant projekto ekonominį tikslumą naudojami šie rodikliai:

- Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai;
- Diskontuotas investicijų atsipirkimo laikotarpio skaičiavimas;
- Grynosios esamosios vertės skaičiavimas (GEV);
- Vidinės pelno normos skaičiavimas;
- Pelningumo arba rentabilumo indekso skaičiavimas;
- Lūžio taško skaičiavimas.

Norint apskaičiuoti diskontuotą atsipirkimo laikotarpį, reikia žinoti projekto paprastus ir diskontuotus pinigų srautus:

31 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai

Projekto metai	Paprasti GPS		Diskontuoti GPS	
	metiniai GPS	bendri GPS	metiniai GPS	bendri GPS
0	-59179	-59179	-59179	-59179,25
1	-55106	-114285	-53571	-112749,99
2	100127	-14158	94626	-18123,68
3	113959	99801	104699	86575,25
4	121869	221669	108847	195422,55
5	100812	322482	87533	282955,27

Kai žinomi projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai, tada galima apskaičiuoti diskontuotą atsipirkimo laiką, taip pat sužinome grynąją esamą vertę GEV. Naudojantis „Microsoft Excel“ programinio paketo funkcijomis „IRR“ ir „MIRR“ gaunamos vidinės pelno normos ir modifikuotos vidinės pelno normos reikšmės.

32 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai

Rodikliai	Matavimo vienetai	Reikšmės
Diskontuotas atsipirkimo laikas	metai	2,17
Grynoji esamoji vertė (GEV)	tūkst. Eur	282955,27
Vidinė pelno norma (IRR)	%	60,99%
Modifikuota vidinė pelno norma (MIRR)	%	32%
Pelningumo indeksas (PI)	koeficientas	3,5

Investicijų atsipirkimo laikotarpis lygus :

$$T = 4 + \frac{-(-112749,99)}{94626} = 2,17.$$

Pagal 32 lentelės duomenis matome, kad grynoji esamoji vertė yra 282955,27 tūkst. Eur. Vidutinė pelno norma lygi 60,99 % . Modifikuota pelno norma lygi 32 %, o pelningumo indeksas 3,5 % .

33 lentelė. Lūžio taško skaičiavimas

Rodikliai	C, amoniako po rekonstrukcijos
Pastoviųjų kaštų suma, priskirta gaminiui Eur	10450000
Gaminio kaina, Eur	1080,80
Gaminio kintamieji kaštai, Eur	868,18
Lūžio taškas, vnt.	49149,42
Pardavimų planas, vnt.	595680

Lūžio taško skaičiavimas yra vienas iš investicijų efektyvumo vertinimo kriterijų. Naudojantis juo nustatoma, kokį kiekį produkcijos reikia pagaminti ir parduoti, kad įmonės veikla būtų pelninga. Pagal lentelės duomenis matome, kad pasiekiamas pagaminus ir pardavus 49149,42 tonas amoniako.

3.5. Aplinkosauginis vertinimas

3.5.1. Bendrieji duomenys

Įmonės vykdančios didelio masto gamybą turi atsižvelgti į aplinkosauginius aspektus, nes siekiama produktus gaminti kuo tvariau ir efektyviau. Dviejų laipsnių metano konversijos metu, pagrindinis pagaminamas produktas yra vandenilis, kurio per valandą pagaminama apie 10500 kg. Metano konversijoje pagrindinė žaliava yra gamtinės dujos, jų per valandą sunaudojama apie 68 tūkst. m³. Gamtinės dujos ir vandenilis pagal CLP reglamentą priskiriami labai degioms dujoms.

34 lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavas, chemines medžiagas ir produktus[16, 17]

Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Kiekis per metus	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklavimas		
		Kategorija	Pavojaus nuoroda	Rizikos frazės
Gamtinės dujos	$5,9568 \cdot 10^8$ m ³	1	H220 H280	Degios dujos Turi slėgio veikiamų dujų, kaitinant gali sprogti.
Vandenilis	$9.198 \cdot 10^7$ kg	1	H280 H220	Turi slėgio veikiamų dujų, kaitinant gali sprogti. Degios dujos

Gaminant tokį kiekį vandenilio dujų sunaudojama dideli kiekiai elektros energijos. Taip pat kaip kuras yra deginamos gamtinės dujos, kurių per valandą yra sudeginama apie 25 tūkst. m³.

35 lentelė. Sunaudojami energetiniai išteklių

Energetiniai ir technologiniai išteklių	Matavimo vnt.	Sunaudojamas kiekis per metus	Išteklių gavimo šaltiniai
Elektros energija	MW	550	UAB „Ignitis“, įmonės kogeneracinė jėgainė
Gamtinės dujos (kuras)	m ³	$2,190 \cdot 10^7$	Įmonės tinklas

3.5.2. Atliekos

Gaminant vandenilį pagrindinės vienintelės atliekos yra katalizatoriai, kurie naudojami paspartinti reakciją bei chemisorbentas naudojamas gamtinių dujų valymui nuo sieros junginių. Sieros hidrinimo katalizatoriaus ir chemisorbento eksploatacinis laikotarpis yra 8 metai. Vamzdinės krosnies katalizatoriaus eksploatacinis laikotarpis 6 metai, o antro laipsnio metano konversijos šachtinio konverterio katalizatoriaus eksploatacinis laikotarpis yra 12 metų.

36 lentelė. Metano konversijos metu susidaranti atliekos

Atliekos	Susidarymo šaltinis	Susidarymas	Atliekų susidarymo periodiškumas	Iš viso atliekų
Sieros junginių hidrinimo katalizatorius	Hidrinimo aparatas	4,1 tonų per metus	8 metai	32,8t
Sieros junginių adsorbentas	Adsorberiai 2 vnt.	19 tonų per metus	8 metai	152t
Metano konversijos katalizatorius	Vamzdinė krosnis	3,5 tonų per metus	6 metų	21t
Metano konversijos katalizatorius	Šachtinis konverteris	3,5 tonų per metus	12 metų	42t

Pagal lentelę matome, kad susidaro didžiuliai kiekiai katalizatorių atliekų, kurios turi būti sutvarkytos. Įmonėje yra įrengta atliekų laikymo aikštelė, kurioje telpa visos Amoniako cecho Nr.1

atliekos. Dėl katalizatoriuose esančių metalų oksidų, juos galima išgauti ir naudoti tolimesniai perdirbimui. Dažniausiai katalizatorių atliekas pasiima atgal pats gamintojas, kuris jas pakartotinai perdirba, arba atliekos yra perduodamos atliekų tvarkytojams. Visų šių atliekų kodas yra 16 08 03 [18].

3.5.3. Aplinkos oro tarša

Vamzdinė krosnis yra pagrindinis proceso taršos šaltinis, kurioje deginamos gamtinės dujos. Susidariusios dūminės dujos yra atsiurbiamos dūmsiurbliais ir išmetamos į atmosferą per kaminą. Dūminės dujos yra azoto oksidų bei anglies monoksido. Išmetimai apskaičiuojami pagal analizatorių duomenis gautus iš AB „Achema“ Amoniako cecho Nr.1 reformingo skyriaus.

$$\bullet C_{NOx} = 55 \text{ mg} / \text{m}^3$$

$$\bullet C_{CO} = 16 \text{ mg} / \text{m}^3$$

$$\bullet \text{Išmetamų dūminių dujų tūrinis debitas } V_{dūmai} = 240000 \text{ m}^3 / \text{h}$$

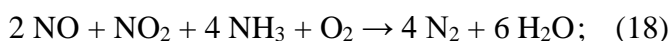
Turint šiuos duomenis apskaičiuojami per metus išmetami azoto oksidų ir anglies monoksido kiekiai:

$$m_{NOx} = C_{NOx} \cdot V_{dūmai} \cdot 365 = 55 \cdot 240000 \cdot 365 = 4818 \text{ kg/metus}$$

$$m_{CO} = C_{CO} \cdot V_{dūmai} \cdot 365 = 16 \cdot 240000 \cdot 365 = 1401,6 \text{ kg/metus}$$

Remiantis skaičiavimais matome, kad yra išmetami dideli kiekiai anglies monoksido ir azoto oksidų į atmosferą.

Vamzdinėje krosnyje degimo produktai yra valomi nuo azoto oksidų, tam sumontuotame homogeninio valymo įrenginyje. Į dūminių dujų traktą tiekiamas dujinis amoniakas, kuris reaguodamas su azoto oksidais juos redukuoja iki azoto. Šis procesas vyksta 930 °C – 960 °C laipsnių temperatūroje, pagal reakciją:



Homogeninio valymo įrenginio pagalba, išmetamų azoto oksidų kiekis sumažinamas nuo 400 – 500 mg / m³ iki 50 – 100 mg / m³. Šio įrenginio pagalba išmetamų azoto oksidų kiekis sumažėjo 10 kartų.

3.5.4. Vandens sąnaudos

Įmonėje AB „Achema“ naudoja šalia gamyklos tekančios Neries upės vandenį. Geriamu vandeniu gamykla aprūpinama iš Jonavos miesto vandentiekio.

37 lentelė. Vandens balansas

Vandens tiekimo (gavybos) šaltinis	Vandens naudojimo sritys (tikslai)	Didžiausias debitas m ³ /h.	Vidutinis metinis kiekis, m ³ /m.	Taupymo ir apsaugos priemonės
Neries upė	Technologiniams procesams	314	2750640	Visas vanduo sunaudojamas vandens garų gamybai, kurie naudojami technologijoje ir garo turbinų sukimui. Atidirbęs garas iš turbinų yra kondensuojamas ir gražinamas į garų gamybą
Neries upė	Įrengimų aušinimui	300	2628000	Pašilęs vanduo yra ataušinamas ir vėl gražinamas į naudojimą. Todėl įrenginių aušinimui upės vanduo naudojamas tik sistemos papildymui
Jonavos miesto vandentiekis	Geriamasis vanduo, higienai ir sanitarinėms reikmėms	5	43800	Panaudotas vanduo išleidžiamas į nuotekų valymo įrenginį, iš kurio išvalytas vanduo gražinamas į Neries upę.

3.5.5. Nuotekų tvarkymas

Metano konversijoje naudojamas vanduo yra chemiškai paruoštas, todėl pavojingų nuotekų nėra ir jų tvarkyti nereikia.

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

Šiame skyriuje analizuojama ir įvertinama darbuotojų sauga ir sveikata.

4.1. Projektuojamo objekto charakteristika

Dviejų laipsnių metano konversijos linija yra rekonstruojama AB „Achema“ gamykloje, amoniako cecho teritorijoje. Metano konversijos metu yra naudojamos tokios medžiagos kaip: gamtinės dujos, hidrazino hidrato tirpalas, vandenilis, aukšto slėgio vandens garai, vanduo, oras, trinatrio ortofosfatas. Cecho teritorijoje yra sproginimo, gaisro, nusideginimo garais, apsiliejimo tirpalais pavojus. Viso proceso metu yra deginamos gamtinės dujos, o jų degimo produktai išmetami į atmosferą.

Vykstant metano konversijai kyla šie pavojai:

- Dujos esančios vamzdynuose, su oru sudaro degius ir sprogius mišinius;
- Procesas vyksta esant aukštai temperatūrai (daugiau nei 1000 °C);
- Didelis akustinis triukšmas.

Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymas nurodo, kad azoto junginių gamybinių objektų sanitarinės apsaugos zonos riba yra 500m [19].

4.2. Profesinės rizikos vertinimas

Profesinės rizikos vertinimas padeda suprasti esamus ar galimus profesinius pavojus ir numatyti priemones, kaip jų išvengti ar sumažinti [20]. Rizikos vertinimas atliekamas organizuojant ir pradedant veiklą, taip pat projektuojant ir įrengiant darbo vietas, projektuojant ar keičiant technologinius procesus. Rizikos vertinimas turėtų būti atliekamas dalyvaujant darbuotojams arba jų atstovams, taip pat atstovams, atsakingiems už darbuotojų saugą ir sveikatą. Rizikos vertinimas atliekamas keliais etapais [20].

Analizuojant įmonėje atliekamus darbus, gamybos procesus bei aplinką, nustatomi rizikos veiksniai, kurie gali kelti pavojų darbuotojų saugumui ar sveikatai. Pagal įmonės plotus pastatų viduje ar išorėje, suklasifikuojami gamybos procesai ar darbai. Yra identifikuojami darbuotojai, kuriems gali kilti pavojus dėl jų pačių ar kitų asmenų veiklos. Taip pat surenkama informacija apie profesines ligas, įmonėje įvykusius nelaimingus atsitikimus, anksčiau atliktą rizikos vertinimą.[20]

Dirbdami darbuotojai amoniako ceche gali susidurti su cheminiais, fiziniaisiais, fizikiniais, ergonominiais ir psichosocialiniais veiksniais.

38 lentelė. Rizikos veiksniai ir prevencinės priemonės [20,21,22,23,24,25,]

Rizikos veiksnys, keliantis pavojų profesinei saugai ir sveikatai	Rizikos veiksnio veikimo vieta	Rizikos veiksnio dydis (lygis), matavimo vnt.	Rizikos veiksnio leidžiamas dydis (lygis), ribinė vertė, matavimo vnt.	Prevencinės priemonės
Cheminiai veiksniai				
Amoniakas	Technologiniai įrengimai	20 mg/m ³	IPRD - 14 mg/m ³	Izoliuojanti dujokaukė
Anglies monoksidas	Technologiniai įrengimai	55 mg/m ³	IPRD - 40 mg/m ³	Izoliuojanti dujokaukė
Anglies dioksidas	Technologiniai įrengimai	12000 mg/m ³	IPRD - 9000 mg/m ³	Izoliuojanti dujokaukė
Vandenilis	Technologiniai įrengimai	-	-	Izoliuojanti dujokaukė
Metanas	Technologiniai įrengimai	480 mg/m ³	300 mg/m ³	Izoliuojanti dujokaukė
Fizikiniai veiksniai				
Triukšmas	Technologiniai įrengimai, siurblinė	91dBA	87 dBA	Apsauginės ausinės
Apšvieta	Centrinis valdymo pultas, siurblinė	300 lx	200 lx	-
Statinės elektros pavojus	Technologiniai įrengimai, siurblinė	-	-	Įžeminimas Įnulinimas
Šiluminė aplinka, oro drėgnis	Technologiniai įrengimai, siurblinė	40-60 %	iki 75 %	-
		18-23 °C	18-27 °C	
Ergonominiai veiksniai				
Nuovargis	Centrinis valdymo pultas	-	-	Pertraukos darbo metu po 10 minučių kas 2 valandas
Darbo poza		Sėdimas darbas, 80 % darbo laiko	Sėdimas darbas, 25% darbo laiko	
Fiziniai veiksniai				
Galimybė apsideginti nuo karštų įrenginių paviršių	Technologiniai įrengimai, siurblinė	140 °C	-	Apsauginiai drabužiai, avalynė
Slėginiai indai	Technologiniai įrengimai	105 bar	0,5 bar	Apsauginiai vožtuvai, patikros, manometrai

Pavojingumo kategorijos zonoms priskiriamos pagal procese naudojamų medžiagų tipus. Lentelėje nurodomi medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai.

39 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai [25]

Medžiagos pavadinimas	Pliūpsnio temperatūra, °C	Sprogumo ribos mg/m ³		Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C
		apatinė	viršutinė	
Metanas	-188	5,25	14,1	537
Vandenilis	-	4,12	75	510
Anglies monoksidas	-	12,5	74	610
Amoniakas	-	15	28	650

Metanas – bespalvės bekvapės dujos, lengvesnės už orą. Fiziologiškai inertinės dujos, sukeliančios uždusimą dėl deguonies trūkumo [24].

Anglies monoksidas – bespalvės, silpno česnako kvapo dujos. Žmogui toksiškas. Pagrindiniai apsinuodijimo simptomai: galvos skausmai, bendras silpnumas, pulso padažnėjimas, vėmimas, sąmonės netekimas, traukuliai ir dusimas [24].

Vandenilis – bespalvės, bekvapės dujos. Fiziologiškai inertinės dujos, sukeliančios uždusimą dėl deguonies trūkumo [24].

Amoniakas – toksiškas, gali būti skystos, dujinės fazės. Amoniakas yra toksiškas įkvėpus, prarijus, susilietus su oda. Gali sukelti nudegimus. Amoniakio garai dirgina drėgną odos paviršių. Amoniakio vanduo gali sukelti stiprų odos skausmą, paraudimą, o greit nesiėmus priemonių ir pūsles. Patekę į akis, skysto amoniako lašai gali sukelti negrįžtamą akių pažeidimą, kurio pasekmės gali pasireikšti po kelių parų. Patekęs į akis, amoniakas gali apakinti, nes jis greitai prasiskverbia į akių gilumą. Amoniakio garai dirgina akių gleivinę ir sukelia ašarojimą, akių skausmą. Prarijus, skystas amoniakas sukelia stiprų virškinimo trakto nudegimą [24].

40 lentelė. Zonos ir jų pavojingumo kategorija [25]

Zonos pavadinimas	Požymis, nulemiantis kategoriją, pavojingos vietos zoną	Pavojingumo kategorija
Centrinis valdymo pultas	Pastatas nepriskiriamas A _{sg} , B _{sg} , C _g , D _g kategorijoms	Eg
Siurblinė	Naudojami ypač degūs skysčiai	A _{sg} , 1 zona
Lauke esantys technologiniai įrengimai	Naudojamos ypač degios dujos	A _{sg} , 1 zona

Metano konversijos metu susidaro didelis kiekis vandenilio. Vandenilis su deguonimi sudaro sprogius mišinius .

4.3. Saugi gamyba

Įvertinant metano konversijos skyriaus darbo specifiką bei medžiagas, su kuriomis susiduriama proceso metu, turi būti užtikrinama darbų ir darbuotojų sauga.

Vykdam atitinkamus darbus, kurie reikalauja ypatingo dėmesio, ruošiami darbo planai ir instrukcijos, norint užtikrinti konstrukcijų, įrengimų, pastatų bei darbuotojų saugumą. Lietuvos Respublikos įstatymai nurodo, kad darbdavys yra asmeniškai atsakingas už darbuotojų saugos palaikymą. Darbdavys įsipareigoja palaikyti nekenksmingas ir saugias darbo sąlygas darbuotojams. Nauji darbuotojai privalo išklaustyti saugaus darbo instruktažą. Bent kartą metuose, visiems darbuotojams būtina išklaustyti periodinius mokymus ir turi būti patikrintos darbuotojų saugaus darbo žinios bei sveikata [24].

Užtikrinti saugias darbo sąlygas būtina laikytis šių reikalavimų:

Apsauginiai įrenginiai, kontrolės ir matavimo prietaisai, apsaugos ir signalizacijos sistemos privalo būti tvarkingi [24]. Darbo vietoje naudoti būtinas apsaugos priemonės kaip dujokaukė ir kitos priemonės, kurių reikalauja saugos ženklai. Privaloma naudotis tik kibirkščių nesukeliančiais įrankiais. Visi įrengimai ir vamzdiniai privalo būti įžeminti, turi būti naudojami ne aukštesnės kaip 24 V maitinimo įtampos šviestuvai [24].

Negalima užkrauti praėjimų, laiptų, avarinių išėjimų, privažiavimų ar laikymo vietų, kuriose laikomas avarinis inventorių. Esant netvarkingiems mechanizmų judančių dalių gaubtams ar aptvėrimams ar jų nesant – draudžiama dirbti [24].

Dėl ceche esančių elektros įrengimų, būtina atsižvelgti ir į elektros poveikį darbuotojui. Per žmogaus kūną tekanti elektros srovė didesnė už 0,025 A yra pavojinga jo gyvybei, o didesnė už 0,1 A laikoma mirtina. Norint užtikrinti saugų darbą su elektros įrenginiais privaloma laikytis šių taisyklių:

- Į elektros paskirstymo patalpas eiti su lydinčiu asmeniu atsakingu už elektros įrengimus ir tik gavus leidimą;
- Gesinti gaisrą veikiančiuose įrengimuose reikia tik su priešgaisrinio azotu, o iki 1000 V elektros įrengimuose naudoti miltelinius ABC klasės ir angliarūgštės gesintuvus [25].
- Nešiojami šviestuvai naudojami darbui turi būti neaukštesnės kaip 50 V kintamos įtampos bei 75 V nuolatinės įtampos [26].

Slėginių indų priežiūros taisyklės numato, kad visa armatūra, kontrolės ir matavimo priemonės, saugos įtaisai turi būti patogiai prieinami prižiūrėti ir remontuoti. Taip pat jei gamintojas nenumato kitaip indo slėgį rodančio manometro tikslumo klasė turėtų būti 2,5, kai slėgis yra iki 25 barų ir 1,5, kai slėgis viršija 25 barus. Manometrą privaloma parinkti su tokia skale, kad darbinio slėgio matavimo riba būtų antrame skalės trečdalyje, taip pat indo darbinio slėgio reikšmė turi būti pažymėta ant prietaiso matavimo skalės [27].

Induose kuriuose, slėgis gali padidėti virš darbinio slėgio reikšmės, reikia įrengti saugos įtaisai, kurie neleistų viršyti darbinio slėgio daugiau nei 10 %, jei kitaip nenumato gamintojas. Saugos įtaisai negali būti naudojami kaip reguliatoriai. Pagal galimybes, saugos įtaisų suveikimo turi būti

vengiama, palaikant indo darbinį slėgį pakankamą tarp darbinio slėgio ir didžiausio leidžiamojo slėgio [27].

Saugos įtaisų funkcijas atlieka[27]:

1. Apsauginiai vožtuvai;
2. Trūkiosios membranos;
3. Hidraulinės užtvaros;
4. Saugos smeigės.

Saugos įtaisai gali būti prijungiami prie[27]:

1. Indo korpuso;
2. Slėgio šaltinio;
3. Slėgį sudarančios terpės.

4.4. Darbo higiena

Darbo higieną sudaro: šiluminė aplinka, triukšmas, vibracija, apšvietimas, cheminiai veiksniai. Įmonės darbuotojams darbdavys privalo užtikrinti komfortines darbo sąlygas, kurios susideda iš: asmeninių apsaugos priemonių, kolektyvinių apsaugos priemonių, šiluminės aplinkos, triukšmo lygio. Įmonėje yra įrengti poilsio, persirengimo kambariai, taip pat dušai ir tualetai.

Metano konversijos procesu metu, vykstant reakcijoms išsiskiria sveikatai pavojingos medžiagos, tam yra nustatoma medžiagų ribinės vertės.

41 lentelė. Pavojingų medžiagų ribinės vertės. [28]

Cheminė medžiaga	Ribinis dydis						Poveikio sveikatai ypatumų žymenys	Poveikio sveikatai žymenų reikšmė
	Ilgalaikio poveikio ribinis dydis (IPRD)		Trumpalaikio poveikio ribinis dydis (TPRD)		Neviršytinas ribinis dydis (NRB)			
Pavadinimas	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm		
Hidrazinas ir jo junginiai	0,1	-	-	-	-	-	KOJ	Kancerogeninis ir jautrinantis poveikis, medžiaga į odą gali prasiskverbti per nepažeistą odą
Anglies dioksidas	9000	5000	-	-	-	-	-	
Anglies monoksidas	40	35	120	100	-	-	RŪ	Reprodukcijai toksiškas ir ūmus poveikis
Amoniakas	14	20	36	50	-	-	-	-

42 lentelė. Žymenų reikšmė. [28]

Žymuo	Reikšmė
K	kancerogeninis poveikis.
O	medžiaga į organizmą gali prasiskverbti pro nepažeistą odą.
J	Jautrinantis poveikis
R	Reprodukcijai toksiškas poveikis
Ū	Ūmus poveikis

Darbuotojams, kurie dirba dviejų laipsnių metano konversijos skyriuje išduodamos šios asmeninės apsaugos priemonės:

- Šalmas;
- Apsauginiai akiniai ir ausinės slopinančios triukšmą;
- Nuo cheminio poveikio apsaugančios pirštinės;
- Izoliuojančios dujokaukės;
- Apsauginiai batai;
- Nuo cheminio poveikio apsaugantys darbo rūbai.

Kolektyvinės priemonės naudojamos įmonėje:

- Statiniai kuriuose personalas gali pasislėpti;
- Įspėjamieji ženklai;
- Vėdinimo sistemos.

Darbuotojai įgalioti laikytis įstatymų, darbų saugos standartų ir įmonės vidinių taisyklių. Taisyklės keliamos darbuotojams:

- Įmonės turto saugojimas;
- Asmeninių apsaugos priemonių priežiūra;
- Švaros palaikymas darbo vietoje;
- Nenaudoti su darbu nesusijusių asmeninių daiktų.

Centriniame valdymo pulte numatytas kombinuotas apšvietimas: dienos metu naudojamas natūralus bei dirbtinis, o nakties metu – dirbtinis. Remiantis reikalavimais, visose gamyklos darbo vietose turi būti 300 lx apšvietimas. Administracinėse patalpose, kuriose darbai priskiriami tiksliais ar vidutiniškai tiksliais, taip pat turi būti 300 lx apšvietimas [29].

Darbo patalpų šiluminės aplinkos parametrai: oro temperatūra, santykinė drėgmė, oro judėjimo greitis ir šiluminio spinduliavimo intensyvumas [30].

43 lentelė. Komfortinės sąlygos darbo patalpose [30]

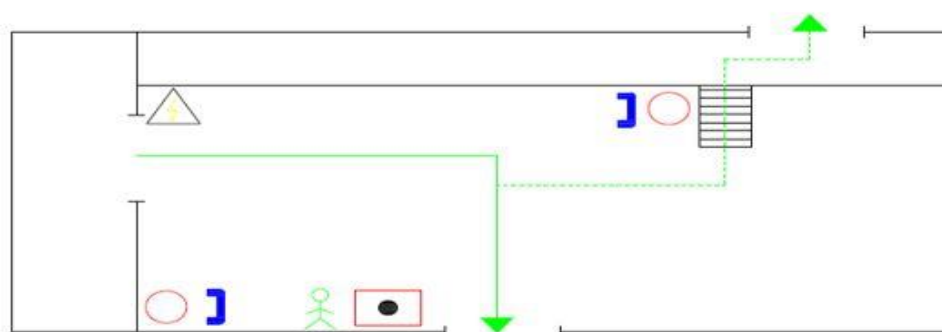
Metų laikotarpis	Darbų kategorija	Oro temperatūra, °C	Oro santykinis drėgnumas, %	Oro judėjimo greitis, m/s, ne daugiau kaip
Šaltasis	IIa	18 – 20	40 – 60	0,2
Šiltasis	Ib	21 – 23	40 – 60	0,1

4.5. Gaisrinė sauga

Gamykloje pagrindinės medžiagos naudojamos yra skystos arba dujinės būsenos, todėl gali kilti B ir C klasės gaisrai. B klasės gaisrus galima gesinti putų ir milteliniais gesintuvais. C klasės gaisrus galima gesinti tik milteliniais ABC tipo gesintuvais [25].

Projektuojant metano konversijos liniją siekiant apsaugoti darbuotojus, įdiegiamos šios priešgaisrinės saugos priemonės::

- Priešgaisrinis azotas (efektyviausias gesina ore degančias vandenilio dujas);
- Milteliniai ir putų gesintuvai;
- Vandens hidrantai;
- Nedegaus audeklo dėžės;
- Smėlio dėžės.



Sutartiniai žymėjimai:



26 pav. Siurblinės evakuacijos planas

Paveiksle matome siurblinės evakuacijos planą. Siurblinė priskiriama C_g kategorijai. Šiai patalpai yra numatyti du gesintuvai: 20 kg ABC tipo miltelinis ir 20 litrų talpos putų gesintuvas.

Išvados

- 1) Atlikus galimų vandenilio gamybos būdų literatūros apžvalgą, buvo rasta, kad vandenilis gali būti gaminamas naudojant šiuos būdus: metano konversija, vandens elektrolizę, vandens termolizę ir termokatalizinis vandenilio sulfido krekingas.
- 2) Atlikus metano konversijos proceso vertinimą, taikant Aspen HYSYS programinį paketą, sumodeliuotas metano konversijos modelis pajėgus konvertuoti 33220 kg/h gamtinių dujų ir papildomai tiekiant 3101 kg/h žalio vandenilio, sumažinamas deginamų dujų kiekis nuo 18000 kg/h iki 13000 kg/h, todėl sumažinamos CO₂ emisijos į aplinką 8293, 97 kg/h.
- 3) Pateikta gamybinio proceso technologinė schema bei detalus technologijoje naudojamo šachtinio konverterio konstrukcinis brėžinys, sklypo ir įrenginių išdėstymo planai A1 formatu, pagal keliamus reikalavimus.
- 4) Remiantis darbe išanalizuotais statybiniais sprendimais nustatyta, kad metano konversijos linija turi būti statoma lauke, dėl didelių įrengimų matmenų, procese naudojamų labai degių dujų ir aukštų slėgių, kurie siekia iki 10,55 MPa. Atlikus ekonominius ir finansinius skaičiavimus nustatyta, kad įrengus vandens elektrolizės įrenginį, pagal gaunamus rezultatus, 10 mln. Eur investicija atsipirks per 2,17 metų ir lūžio taškas pasiekiamas pardavus 49149,42 tonas amoniako. Įvertinus aplinkosauginius duomenis nustatyta, kad pagrindinės atliekos susidaranti metano konversijos metu yra panaudoti katalizatoriai, kurių per metus susidaro apie 30 tonų. Taip pat įmonė sunaudoja 619 m³/h vandens. Atlikus darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimą, nustatyta, kad labiausiai darbuotojams grėsmę keliantys veiksniai vykstant metano konversijai yra: technologijoje naudojamos dujos su oru sudaro degius ir sprogius mišinius, procesas vyksta esant aukštai temperatūrai (daugiau nei 1000 °C), didelis akustinis triukšmas.

Literatūros sąrašas

1. A. Basile, S. Liguori, A. Lulianelli. *Membrane reactors for methane steam reforming* [interaktyvus] [žiūrėta 2023 01 20]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978178242235000029>
2. Michel Noussan, Pier Paolo Raimondi, Rossana Scita, Manfred Hafner. *The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition – A Technological and Geopolitical Perspective* [interaktyvus] [žiūrėta 2023 01 20]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/1/298>
3. ExxonMobil įmonės internetinis puslapis. *Climate Solutions – Hydrogen a low carbon fuel* [interaktyvus] [žiūrėta 2023 01 21] Prieiga per internetą :<https://corporate.exxonmobil.com/what-we-do/delivering-industrial-solutions/hydrogen>
4. Christian Bauer, Karin Treyer, Christina Antonini. *On the climate impacts of blue hydrogen production* [interaktyvus] [žiūrėta 2023 01 21] Prieiga per internetą: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/se/d1se01508g>
5. Salman Masoudi Soltani, Abhishek Lahiri, Husain Bahzad, Peter Clough, Mokhail Gorbounov, Yongliang Yan. *Sorption – enhanced Steam Methane Reforming for Combined CO₂ Capture and Hydrogen Production: A State – of – the – Art Review* [interaktyvus] [žiūrėta 2023 01 21] Prieiga per internetą: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2772656821000038?token=8AC4435E615E8FF1102CC8D1AD7F47A7732A8F5DFFB2AEC42936C10E87B30EB9152337451BBCF0EFBBFC078E5661DA81&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220628132330>
6. Minli Yu, Ke Wang, Harrie Vredenburg. *Insights into low – carbon hydrogen production methods: Green, blue and aqua hydrogen* [interaktyvus] [žiūrėta 2023 01 21] Prieiga per internetą: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921012684?casa_token=-fdRcK43KXwAAAAA:-Z_HuNg5KS7vm6-xxJvOH6knNT5I4K8nx-aAR1asakw1C-DW-JCm94nJmSWHfR7JBxMA1Hlvuq8
7. Ibrahim Dincer. *Green methods for hydrogen production hydrogen* [interaktyvus] [žiūrėta 2023 01 22] Prieiga per internetą: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319911019823?casa_token=JgiuMBtuU68AAAAA:GMRthfKLCRPvVzn5SNnTvjqMhc8R7TCIbwYnVJCby0y5KQckm7jFV0Uo1tQnRJ1Tjg_u4n8vCxQ
8. A. Valera – Medina, F. Amer – Hatem. *Review on Ammonia as a Potential Fuel: From Synthesis to Economics* [interaktyvus] [žiūrėta 2023 01 22] Prieiga per internetą: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acs.energyfuels.0c03685>
9. Arda Yapicioglu, Ibrahim Dincer. *A review on clean ammonia as a potential fuel for power generators* [interaktyvus] [žiūrėta 2023 01 22] Prieiga per internetą: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118308189?casa_token=THUIwuPbwoMAAAAA:Gm6d232lk_yUUHPr1xIHO-mGxmCDovfTlz5C1R9IBR3aZvoQUXngfnH61AL1ogLkADVPC9j4GQ
10. Asem Alzoubi. *Renewable Green hydrogen energy impact on sustainability performance* [interaktyvus] [žiūrėta 2023 05 01] Prieiga per internetą: <https://journals.gaftim.com/index.php/ijcim/article/view/46>
11. Kauno technologijos universitetas [interaktyvus]. [žiūrėta 2023 05 15]. Prieiga per internetą:

http://distance.ktu.lt/kursai/verslumas/pardavimai_I/116359.html

12. PRANEŠIMAS dėl Europos strategijos dėl vandenilio [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-20] Prieiga per internetą: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2021-0116_LT.html#_section7
13. SSGG (SWOT) ANALIZĖ [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-20] Prieiga per: <https://www.vorso.lt/blog/ssgg-analize/>
14. GAMTINIŲ DUJŲ planai ir kainos. [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-20] Prieiga per: <https://ignitis.lt/lt/duju-kainos>
15. Nepriklausomo-tiekimo-kainos. UAB „Ignitis“ [interaktyvus] [žiūrėta 2023-05-20] Prieiga per: <https://ignitis.lt/lt/nepriklausomo-tiekimo-kainos/planai>
16. UAB „Gaschema“ SAUGOS DUOMENŲ LAPAS 00067_GAS. Redakcija 2012-02-19 [žiūrėta 2023-05-23] Prieiga per: https://gaschema.lt/wp-content/uploads/2020/06/H2-5.0_LT.pdf
17. UAB „ORLEN Lietuva“ SAUGOS DUOMENŲ LAPAS, Pagal Europos Komisijos Reglamentą Nr. 2015/830. [žiūrėta 2023-05-23] Prieiga per: <https://gaschema.lt/wp-content/uploads/2022/11/Propan-butano-SDL.pdf>
18. Dėl Atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo 1997-07-14 Nr. 217 [žiūrėta 2023-05-23] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.84302>
19. *Lietuvos Respublikos specialiujų žemės naudojimo sąlygų įstatymas 2019 m. birželio 6 d. Nr. XIII-2166 Vilnius (2019)* [žiūrėta 2023-05-19]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/46c841f290cf11e98a8298567570d639>.
20. *Dėl Profesinės rizikos vertinimo bendrųjų nuostatų patvirtinimo, 2012 m. spalio 25 d. Nr. AI-457/V-961 Vilnius (2012)* [žiūrėta 2023-04-20]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.435935?jfwid>.
21. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 "Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai" patvirtinimo 2003 m. gruodžio 24 d. Nr. V-770 Vilnius (2003)* [žiūrėta 2023-05-20]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>.
22. *Dėl Darbuotojų aprūpinimo asmeninėmis apsaugos priemonėmis nuostatų patvirtinimo 2007 m. lapkričio 26 d. Nr. AI-331 Vilnius* [žiūrėta 2023-05-21]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.309802>.
23. AB „Achema“ Instrukcija AT – 109 – 01, keitimas Nr.7, 2020 06 23
24. *Dėl Gaisrinės saugos pagrindinių reikalavimų patvirtinimo 2010 m. gruodžio 7 d. Nr. I-338 Vilnius* [žiūrėta 2023-04-21]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.388658/asr>.
25. *Dėl Bendrųjų gaisrinės saugos taisyklių patvirtinimo 2005 m. vasario 18 d. Nr. 64 Vilnius* [žiūrėta 2023-05-11]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.250714/asr>.
26. *Dėl Specialiujų patalpų ir technologinių procesų elektros įrenginių įrengimo taisyklių patvirtinimo. Valstybės žinios, 2013, Nr. 27-1299.* [žiūrėta 2023-05-23] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.444266>
27. *Slėginių indų naudojimo taisyklės DT 12 – 02. Valstybės žinios, 2002, Nr 115 – 5165* [žiūrėta 2023-05-23]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.196494>

28. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 23:2011 „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai“ patvirtinimo.* [žiūrėta 2023-05-23] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.405920>
29. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 98 : 2000 "Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai" 2000 m. gegužės 24 d. Nr. 277 Vilnius (2000)* [žiūrėta 2023-05-20]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.101854/asr>.
30. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“ patvirtinimo.* [žiūrėta 2023-05-23] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>

Priedai

1 priedas. Įrenginių išdėstymo planas

2 priedas. Dviejų laipsnių metano konversijos vandens garais gamybos technologinė schema

3 priedas. Šachtinio konverterio pjūvis

4 priedas. Sklypo planas

5 priedas. Darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimo konsultanto patvirtinimas

Studento *Rimvydo Abromavičiaus* baigiamojo magistro projekto „**Metano konversijos optimizacija panaudojant žalią vandenilį**“ skyrius „*Darbuotojų sauga ir sveikata*“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas *doc. dr. Dalia Nizevičienė*

6 priedas. Aplinkosauginio vertinimo konsultantės patvirtinimas

Denafas Gintaras

Kam: Abromavičius Rimvydas
Kopija: Jaskūnas Andrius

2023-05-24, Tr 15:04

Laba diena,

Rimvydo Abromavičiaus baigiamojo magistro projekto "Metano konversijos optimizavimas panaudojant žalią vandenilį" aplinkosauginė dalis yra parengta tinkamai.

Pagarbiai / Sincerely

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

7 priedas. Statybinių sprendimų konsultantės patvirtinimas

Viliūnienė Odeta

Kam: Abromavičius Rimvydas

2023-05-30, An 11:16

Šiuo laišku informuoju, kad studento *Rimvydo Abromavičiaus* baigiamojo magistro projekto "Metano konversijos optimizacija panaudojant žalią vandenilį" skyrius „*Statybiniai sprendimai*“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas *lekt. Odeta Viliūnienė*

...

Atsakyti Persiųsti

8 Finansinių ir ekonominių skaičiavimų konsultantės patvirtinimas



Pekarskienė Irena

Kam: Abromavičius Rimvydas

2023-06-01, Kt 10:35

Laba diena,

Šiuo laišku informuoju, kad studento *Rimvydo Abromavičiaus* baigiamasis magistro projektas magistro projekto „*Metano konversijos optimizavimas panaudojant žalią vandenilį*“ skyrius „*Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai*“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas *prof. dr. Irena Pekarskienė*

Pagarbiai! Best regards

dr. Irena Pekarskienė

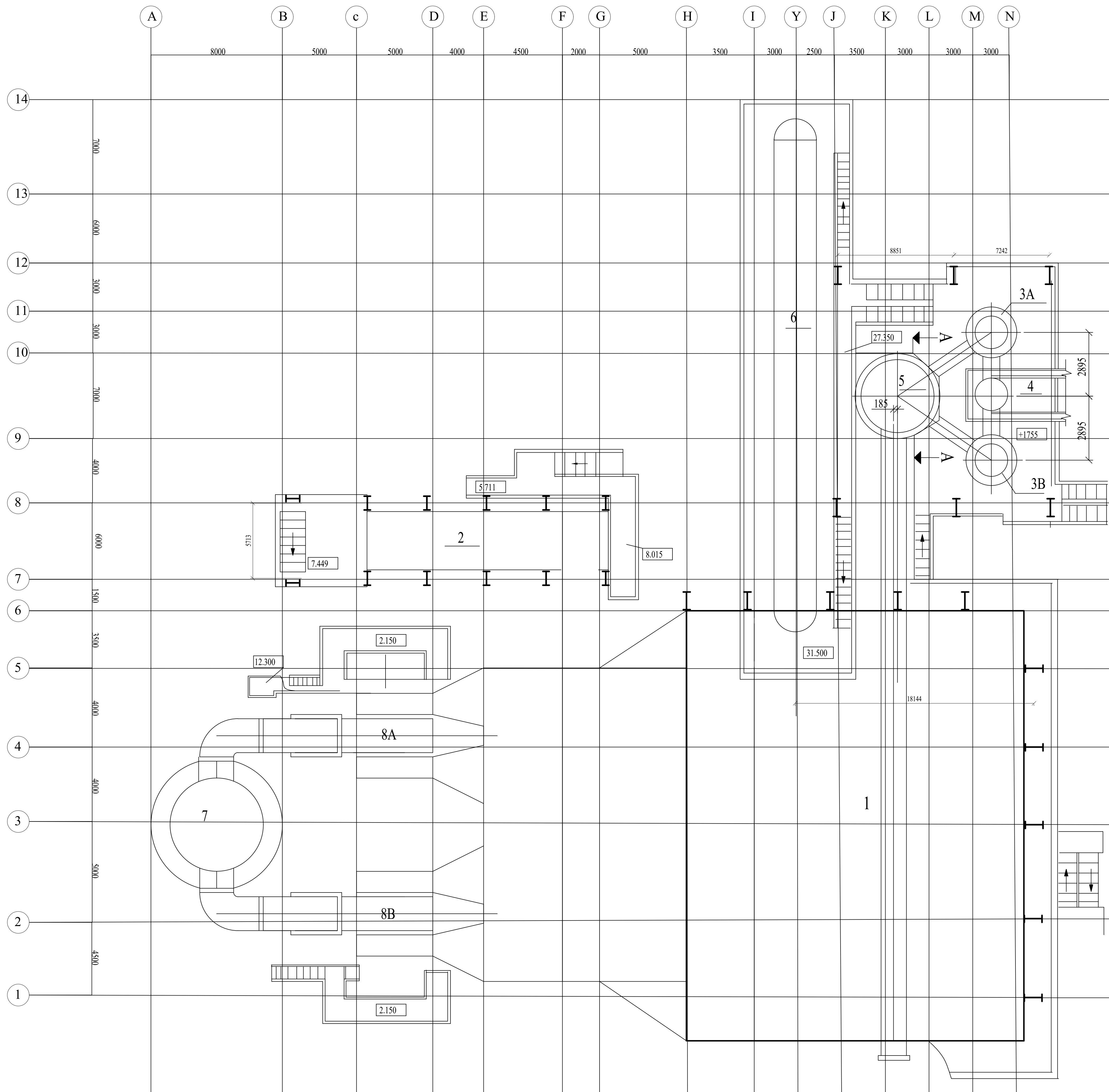
Profesorė | Professor

Kauno technologijos universitetas | Kaunas university of technology

Ekonomikos ir verslo fakultetas | School of Economics and Business

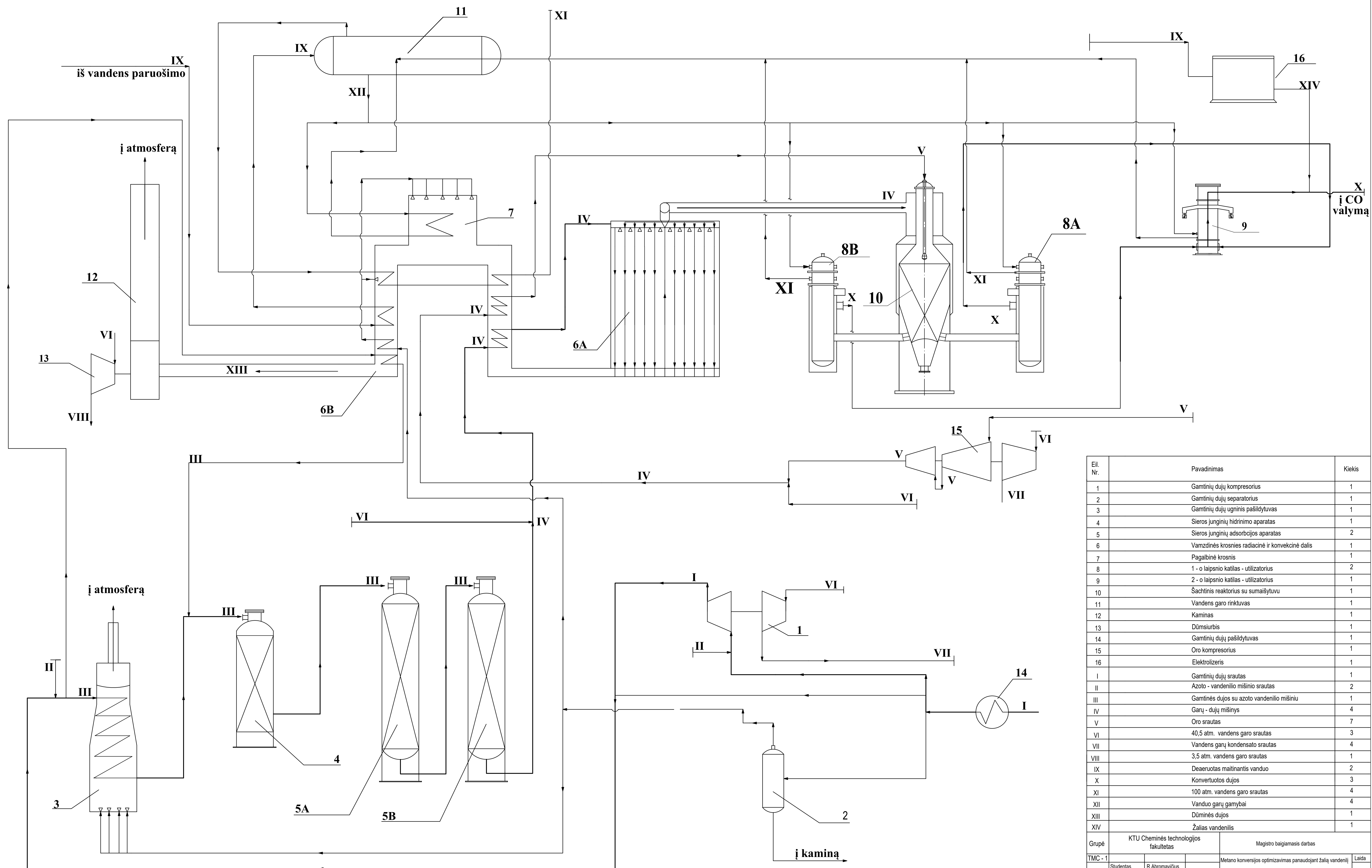
Gedimino g. 50-507, LT-44239 Kaunas

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



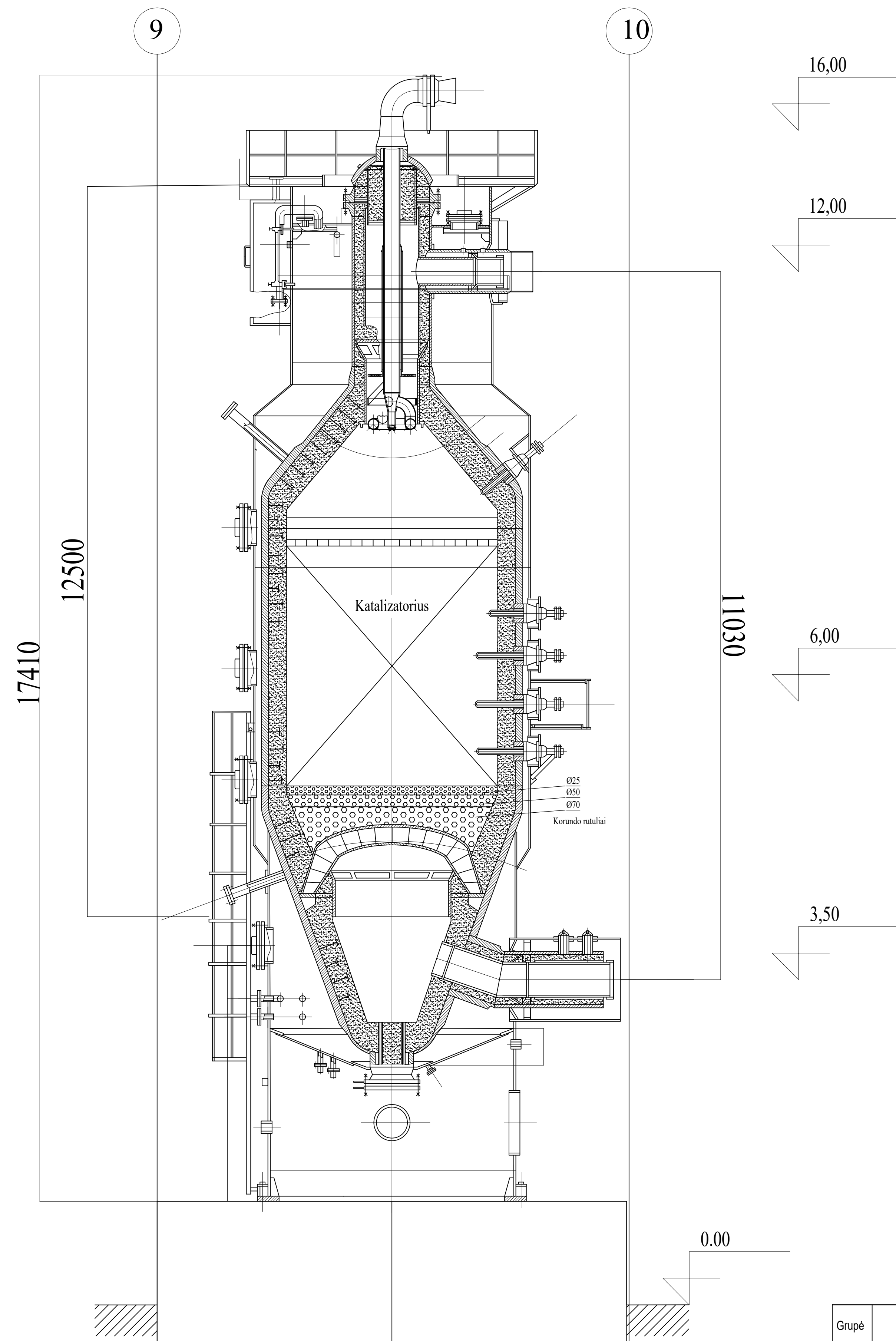
Eil. Nr.	Pavadinimas	Kiekis
1	Vamzdinės krosnies radiacinė ir konvekcinė dalis	1
2	Pagalbinė krosnis	1
3	1 - ojo laipsnio katilas - utilizatorius	2
4	2 - ojo laipsnio katilas - utilizatorius	1
5	Sąctinis reaktorius su sumaišytuvu	1
6	Vandens garų rinktuvas	1
7	Kaminas	1
8	Dūmsiurbis	2

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis darbas	
TMC - 1	Dėstytoja	O.Viliūnienė	Metano konversijos optimizavimas panaudojant žalią vandenį	Laida
	Studentas	R. Abromavičius		Mastelis
	Vadovas	A. Jaskūnas	[renginių išdėstymo planas]	Lapas/Lapų
	Recenzentas	R. Šlinkšienė		1 / 4
Pr. etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra			
MBD	LT - 50254 Radvilėnų pl.19, Kaunas			



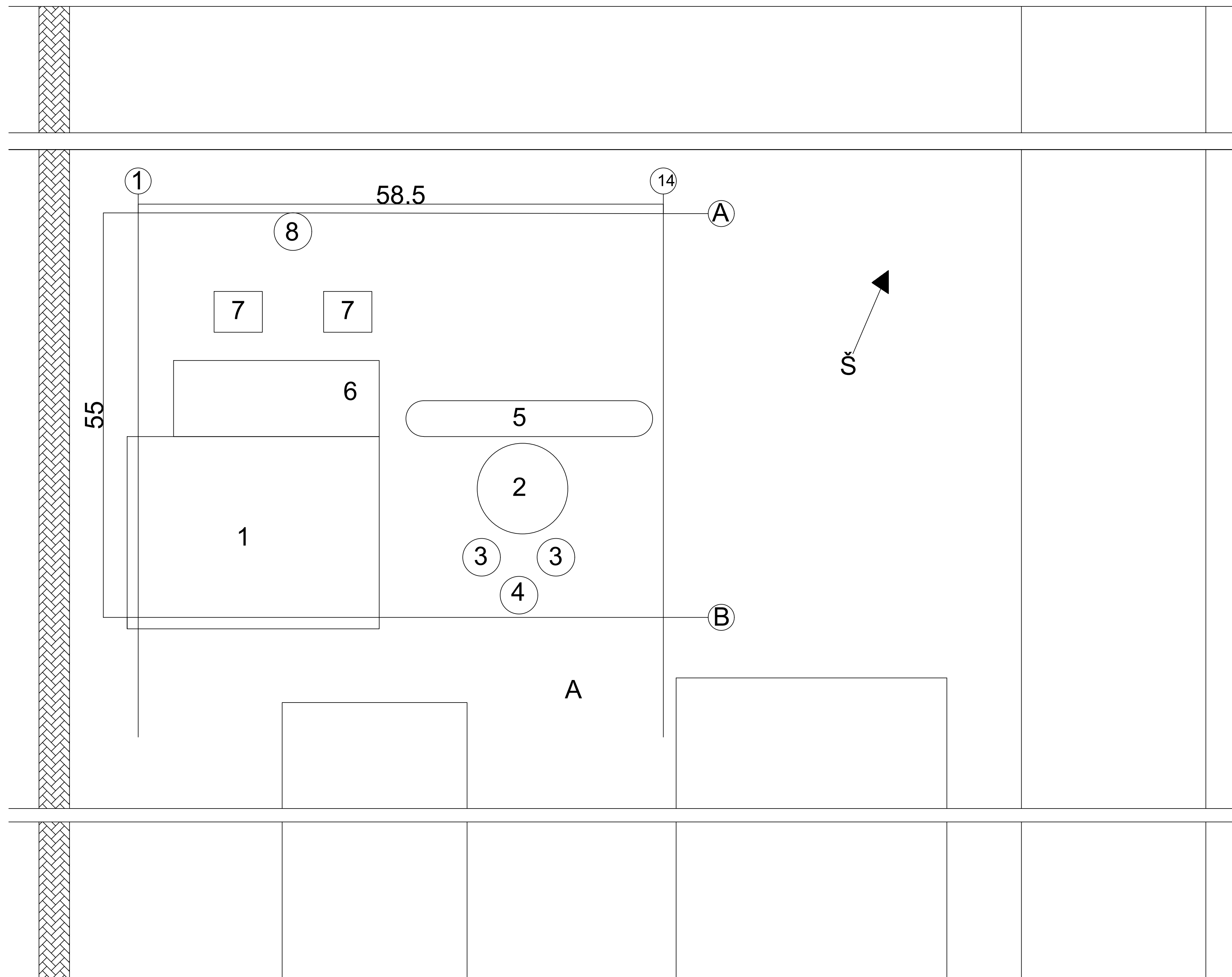
Eil. Nr.	Pavadinimas	Kiekis
1	Gamtinių dujų kompresorius	1
2	Gamtinių dujų separatorius	1
3	Gamtinių dujų ugninis pašildytuvas	1
4	Sieros junginių hidrinimo aparatas	1
5	Sieros junginių adsorbcijos aparatas	2
6	Vamzdinės krosnies radiacinė ir konvekcinė dalis	1
7	Pagalbinė krosnis	1
8	1 - o laipsnio katilas - utilizatorius	2
9	2 - o laipsnio katilas - utilizatorius	1
10	Šachtinis reaktorius su sumaišytuvu	1
11	Vandens garo rinktuvas	1
12	Kaminas	1
13	Dūmsiurbis	1
14	Gamtinių dujų pašildytuvas	1
15	Oro kompresorius	1
16	Elektrolizeris	1
I	Gamtinių dujų srautas	1
II	Azoto - vandenilio mišinio srautas	2
III	Gamtinės dujos su azoto vandenilio mišiniu	1
IV	Garų - dujų mišinys	4
V	Oro srautas	7
VI	40,5 atm. vandens garo srautas	3
VII	Vandens garų kondensato srautas	4
VIII	3,5 atm. vandens garo srautas	1
IX	Deaeruosas maitinantis vanduo	2
X	Konvertuotos dujos	3
XI	100 atm. vandens garo srautas	4
XII	Vanduo garų gamybai	4
XIII	Dūminės dujos	1
XIV	Žalias vandenilis	1

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis darbas	
TMC - 1	Studentas	R. Abramavičius	Metano konversijos optimizavimas panaudojant žalią vandenį	Laida
	Vadovas	A. Jaskūnas	Dvitaipinės metano konversijos vandens garais gamybos linija	Mastelis
	Recenzentas	R. Šlinkienė		
Pr. etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra			Lapas/Lapų
MBD	LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas		2023 - MBD	2 / 4



Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis darbas	
TMC - 1	Dėstytoja	O.Viliūnienė		Šachtinio konverterio pjūvis	Laida
	Studentas	R. Abromavičius			Mastelis
	Vadovas	A. Jaskūnas			
	Recenzentas	R. Šlinšienė			
Pr. etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra				Lapas/Lapų
MBD	LT - 50254 Radvilėnų pl.19, Kaunas				3 / 4

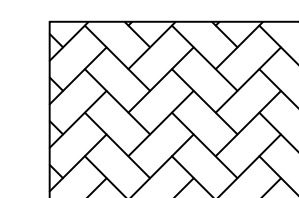
Sklypo planas



Situacijos planas



Sutartiniai žymėjimai



Trinkelių danga

A

Asfalto danga

Eil. Nr.	Pavadinimas	Kiekis	Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis darbas	
1	Vamzdinės krosnies radiacinė ir konvekcinė dalis	1	TMC - 1	Studentas	R. Abromavičius	Metano konversijos optimizacija panaudojant žalią vandenilį	Laida	
2	Šachtinis reaktorius su sumaišytuvu	1			Vadovas			A. Jaskūnas
3	1 - ojo laipsnio katilas - utilizatorius	2		Dėstytoja				O. Viliūnienė
4	2 - ojo laipsnio katilas - utilizatorius	1			Recenzentas			R. Šlinkšienė
5	Vandens garų rinktuvas	1	Pr.etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra				
6	Pagalbinė krosnis	1						
7	Dūmsiurbis	2	MBD	LT - 50254 Radvilėnų pl.19, Kaunas			Lapas	
8	Kaminas	1					Lapas	