



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

# **Anglies monoksido konversijos proceso modernizavimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Deividas Timinskas**

Projekto autorius

**Lekt. dr. Andrius Jaskūnas**

Vadovas

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

## **Anglies monoksido konversijos proceso modernizavimas**

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

---

Konsultantai:

**Prof. dr. Gintaras Denafas**

Aplinkosauginis vertinimas

**Deividas Timinskas**

Projekto autorius

**Doc. dr. Dalia Nizevičienė**

Darbuotojų sauga ir sveikata

**Lekt. dr. Andrius Jaskūnas**

Vadovas

**Prof. dr. Irena Pekarskienė**

Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

**Lekt. dr. Kristina Jančaitienė**

Recenzentė

**Lekt. dr. Odeta Viliūnienė**

Statybų sprendimai

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

Deividas Timinskas

## **Anglies monoksido konversijos proceso modernizavimas**

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

Deividas Timinskas

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:  
Cheminės technologijos fakulteto dekanas  
prof. K. Baltakys

Suderinta:  
Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra  
prof. I. Ancutienė

Dekano potvarkis Nr. Nr. ST18-F-02-03, 2021-04-15 2021 m. kovo mėn. 3 d.

## Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema	Anglies monoksido konversijos proceso modernizavimas
Darbo tikslas ir uždaviniai	Darbo tikslas – išanalizuoti pramonėje naudojamus CO konversijos būdus, žinomus technologinius sprendimus, įvertinti nagrinėjamos CO konversijos technologijos tobulinimo galimybes. Darbo uždaviniai: atlikti CO konversijos būdų literatūros apžvalgą techniniais ir ekonominiais aspektais; atlikti technologinio proceso bei žaliavų analizę ir vertinimą taikant pasirinktą skaičiavimo/modeliavimo/analizės metodiką ir pateikti technologijos tobulinimo galimybių vertinimą; pateikti gamybinio proceso vykdymo technologinę schemą ir pagrindinio aparato brėžinį; pateikti statybinius sprendimus, finansinius ir ekonominius skaičiavimus, aplinkosauginį vertinimą bei reikalavimus dėl darbuotojų saugos ir sveikatos.
Reikalavimai ir sąlygos	Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanu 2021 m. vasario 24 d. potvarkiu Nr. V25-02-03 patvirtintuose „Pirmosios pakopos Cheminė technologija ir inžinerija ir antrosios pakopos Chemijos inžinerija studijų programų baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodiniuose reikalavimuose“.
Vadovas / Vadovė	lekt. dr. Andrius Jaskūnas 2021-03-02 (vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas) (data)
Užduotį gavau:	<u>Deividas Timinskas</u> 2021-03-02 (studento vardas, pavardė) (parašas, data)

Timinskas, Deividas. Anglies monoksido konversijos proceso modernizavimas. Magistro baigiamasis projektas, vadovas lekt. dr. A.Jaskūnas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: anglies monoksido konversija, katalizė.

Kaunas, 2021. 66 p.

### **Santrauka**

Anglies monoksido konversijos technologinės linijos paskirtis, pašalinti anglies monoksidą iš sintezės dujų mišinio skirta amoniako sintezei. Ši technologinė linija komplektuojama po metano konversijos linijos, kadangi po jos sintezės dujų mišinyje yra daug anglies monoksido. Anglies monoksidas- nuodas sintezės katalizatoriui. Remiantis darbe atliktais skaičiavimais, panaudojus aktyvesnį katalizatorių, vandens garų kiekį technologijai galima sumažinti 39380 kg/h. Toks vandens garų kiekio sumažinimas leistų sutaupyti 1485 m<sup>3</sup>/h gamtinių dujų, reikalingų vandens garų gamybai.

Modernizuojama technologinė linija yra Jonavos rajone, Jonalaukio kaime. Jai numatytas sklypo plotas 0,515 ha. Sklypo plote išdėstyti įrenginiai.

Pagal atliktus finansinius ir ekonominius skaičiavimus, nustatyta, kad per metus įmonė sutaupys 5,07 mln. Eur. Gamtinių dujų išlaidoms. Sumažinus gamtinių dujų kiekį technologijai, gaminio savikaina sumažėtų 10,52 Eur 1 tonai amoniako. Sutaupytos išlaidos gamtinėms dujoms, būtų tiesiogiai proporcingos padidėjusioms pajamoms.

Atlikus darbuotoju saugos ir sveikatos įvertinimą, pateikta informacija apie gamyboje naudojamus kenksmingas ir pavojingas medžiagas, jų ribinius dydžius, bei prevencijos priemones.

Įvertinus technologinę liniją aplinkosauginių požiūriu, nustatyta, kad gaminant vandens garus, į aplinką patenka gamtinių dujų degimo produktai, anglies monoksidas, anglies dioksidas ir azoto oksidai. Didžiausia taršą sukeliančių azoto oksidų mažinimui numatytas homogeninis valymo įrenginys, kuris taršą sumažintų per pusę.

Timinskas Deividas. Modernization of Carbon Monoxide Conversion Process. Master's Final Degree Project. Supervisor lect. dr. A. Jaskūnas; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: water gas shift reaction, modernisation, wgsr, catalysis.

Kaunas, 2021. 66p.

### **Summary**

The purpose of the carbon monoxide conversion technological line is to remove carbon monoxide from synthesis gas mixture, which is used for ammonia synthesis. Water gas shift unit is commonly placed after two-step methane conversion unit, because after its synthesis gas mixture is rich in carbon monoxide. Carbon monoxide is a poison for ammonia synthesis catalyst. According to the calculations made in the work, by using more active catalyst, the amount of water vapor used for technology can be reduced by 39380 kg/h. Such a reduction of water vapor content would let to save 1485 m<sup>3</sup>/h of natural gas required for water vapor production.

Technological line of carbon monoxide is in Jonava district, Jonalaukis village. The area of the plot is 0,515 ha.

According to financial and economic calculations, the company will save 5,17 million euros per year for natural gas consumption. Reduction of natural gas usage would reduce the cost of the product by 10,52 euros per ton of ammonia. The savings in natural gas usage would be directly proportional to the increase in revenue.

Following the assessment of the safety and health of staff, information on harmful and dangerous substances used in production, their limit values and prevention measures was provided.

An environmental assessment of the technological line has shown that the production of water vapor releases natural gas combustion products, carbon monoxide, carbon dioxide and nitrogen oxides. For the reduction of nitrogen oxides homogeneous treatment with gaseous ammonia is used. Such a technology would result in nitrous oxide reduction in halve.

## Turinys

Lentelių sąrašas .....	9
Paveikslų sąrašas .....	11
Santrumpų ir terminų sąrašas .....	12
<b>ĮVADAS.....</b>	<b>13</b>
<b>1. BENDRAS DARBO APIBŪDINIMAS IR PAGRINDINIAI RODIKLIAI .....</b>	<b>14</b>
1.1. Pradinė padėtis .....	14
1.2. Žaliavų zonos charakteristika ir materialinio aprūpinimo pagrindimas.....	14
1.3. Gamybinio pajėgumo ir gamybinės programos pagrindimas.....	15
1.4. Statybos aikštelės charakteristika bei pagrindimas .....	15
<b>2. LITERATŪROS APŽVALGA .....</b>	<b>16</b>
2.1. Fizikinės anglies monoksido savybės.....	16
2.2. Anglies monoksido gamybos būdai .....	16
2.2.1. Anglies sudujinimas .....	16
2.2.2. Katalizinė gamtinių dujų konversija vandens garais.....	16
2.3. Anglies monoksido konversija vandens garais .....	17
2.3.1. Proceso aprašymas .....	17
2.3.2. Anglies monoksido konversijos kinetika .....	17
2.3.3. Reakcijos mechanizmas .....	19
2.4. Katalizatoriai naudojami anglies monoksido konversijai .....	21
2.4.1. Aukštatemperatūrės CO konversijos katalizatoriai .....	21
2.4.2. Žematemperatūrės CO konversijos katalizatoriai .....	22
2.4.3. Tirtų katalizatorių aktyvumo parametrai.....	23
<b>3. TIRIAMOJI DALIS.....</b>	<b>24</b>
3.1. Modelio sudarymo metodika.....	24
3.2. Modelio gauto su Aspen HYSYS rezultatų įvertinimas.....	32
3.3. Sudaryto modelio panaudojimas aukštatemperatūrių katalizatorių aktyvumo įvertinimui.....	33
3.4. Sudaryto modelio panaudojimas žematemperatūrių katalizatorių aktyvumo įvertinimui.....	35
3.5. II-o laipsnio katilo utilizatoriaus aušinančios terpės medžiagų balansas .....	36
3.6. Vandens garų ir anglies monoksido santykio įtaka medžiagų ir šilumos balansui .....	37
<b>4. INŽINERINĖ DALIS.....</b>	<b>40</b>
4.1. Anglies monoksido konversijos technologinės schemos aprašymas .....	40
4.1.1. Aukštatemperatūre anglies monoksido konversija.....	40
4.1.2. Žematemperatūre anglies monoksido konversija .....	40
4.1.3. Šilumos utilizavimas technologinių srautų pašildymui.....	40
4.1.4. Vandens garų gamybos sistema .....	40
4.2. Technologiniai sprendimai .....	40
4.3. Technologinė schema .....	41
4.4. Statybiniai sprendimai .....	41
4.4.1. Bendrieji duomenys.....	41
4.4.2. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai .....	41
4.4.3. Statinio architektūrinė ir konstrukcinė sandara .....	41
4.5. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai.....	42

4.5.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė: ekonominių ir organizacinių problemų nustatymas .....	42
4.5.2. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinos pajamos .....	43
4.5.3. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas .....	44
4.5.4. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas .....	46
4.5.5. Veiklos kaštai .....	47
4.5.6. Gaminio kainos skaičiavimas .....	47
4.5.7. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai .....	48
4.5.8. Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas rekonstrukcijos (modernizacijos) atveju .....	48
4.5.9. Investicijų efektyvumo vertinimas .....	51
4.5.10. Lūžio taško skaičiavimas .....	51
4.5.11. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai .....	52
4.6. Aplinkosauginis vertinimas .....	52
4.6.1. Bendrieji duomenys .....	52
4.6.2. Atliekos .....	54
4.6.3. Aplinkos oro tarša .....	54
4.6.4. Naudojamo vandens balansas .....	56
<b>5. DARBUOTOJŲ SAUGA IR SVEIKATA.....</b>	<b>57</b>
5.1. Projektuojamo objekto charakteristika .....	57
5.2. Profesinės rizikos vertinimas .....	57
5.3. Saugi gamyba .....	59
5.4. Darbo higiena .....	60
5.5. Gaisrinė sauga .....	61
<b>IŠVADOS .....</b>	<b>62</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>63</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>66</b>



## Lentelių sąrašas

<b>1.1 lentelė.</b> Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai .....	14
<b>2.1 lentelė.</b> Anglies monoksido fizikinės savybės .....	16
<b>2.2 lentelė.</b> Kinetinės anglies monoksido konversijos lygtis aprašančios katalizės procesą [14].....	19
<b>2.3 lentelė.</b> Reakcijos mechanizmai [14] .....	20
<b>2.4 lentelė.</b> Tirtų katalizatorių kinetiniai rodikliai .....	23
<b>3.1 lentelė.</b> Anglies monoksido konversijos technologiniai parametrai ir duomenys .....	24
<b>3.2 lentelė.</b> Konvertuotų dujų sudėtis .....	25
<b>3.3 lentelė.</b> Vidutiniai konvertuotų dujų sudėties duomenys .....	26
<b>3.4 lentelė.</b> Molinės pradinių srautų koncentracijos .....	30
<b>3.5 lentelė.</b> Įtekančių ir ištekančio srautų technologiniai parametrai.....	30
<b>3.6 lentelė.</b> II-o laipsnio katilo utilizatoriaus medžiagų balansas .....	31
<b>3.7 lentelė.</b> Šilumokaičio dujos/dujos medžiagų balansas .....	32
<b>3.8 lentelė.</b> Palyginamoji dujų sudėtis modeliuojant su „Aspen HYSYS“ .....	32
<b>3.9 lentelė.</b> Tyrimui su "Aspen HYSYS" naudoti katalizatoriai ir jų kinetiniai parametrai .....	33
<b>3.10 lentelė.</b> Molinis medžiagų balansas po aukštatemperatūros CO konversijos, esant skirtingiems katalizatoriams.....	34
<b>3.11 lentelė.</b> Procentinė komponentų dalis sausose dujose po aukštatemperatūros konversijos esant skirtingiems katalizatoriams.....	34
<b>3.12 lentelė.</b> Žematemperatūrinių katalizatorių aktyvumo parametrai .....	35
<b>3.13 lentelė.</b> Žematemperatūros CO konversijos efektyvumas, esant skirtingam medžiagų balansui .....	35
<b>3.14 lentelė.</b> Procentinė komponentų dalis sausose dujose keičiant tik žematemperatūrinių katalizatorių .....	35
<b>3.15 lentelė.</b> II laipsnio katilo utilizatoriaus aušinančio agento medžiagų balansas.....	36
<b>3.16 lentelė.</b> Molinė konvertuotų dujų sudėtis esant skirtingam konvertuotų dujų – garų santykiui. ....	37
<b>3.17 lentelė.</b> Procentinė konvertuotų dujų sudėtis esant skirtingam konvertuotų dujų – garų santykiui .....	38
<b>4.1 lentelė.</b> Bendrieji statinio techniniai rodikliai .....	41
<b>4.2 lentelė.</b> Sutaupomas gamtinių dujų kiekis po modernizacijos .....	43
<b>4.3 lentelė.</b> Produkcijos gamybos apimtys ir gautinos pajamos .....	43
<b>4.4 lentelė.</b> Išlaidos pagrindinei žaliavai .....	44
<b>4.5 lentelė.</b> Tiesioginės išlaidos darbininkų darbo užmokesčiui.....	44
<b>4.6 lentelė.</b> Tiesioginės išlaidos technologinių procesų energijai.....	45
<b>4.7 lentelė.</b> Išlaidos šiluminei energijai.....	45
<b>4.8 lentelė.</b> Tiesioginiai gamybos kaštai .....	46
<b>4.9 lentelė.</b> Netiesioginiai gamybos kaštai.....	46
<b>4.10 lentelė.</b> Gamybos kaštai .....	46
<b>4.11 lentelė.</b> Veiklos kaštai .....	47
<b>4.12 lentelė.</b> Gaminio kaina .....	48
<b>4.13 lentelė.</b> Įmonės projekto pelno (nuostolių) ataskaita .....	48
<b>4.14 lentelė.</b> Sąnaudų pasikeitimas, įgyvendinus projektą .....	49
<b>4.15 lentelė.</b> Projekto grynujų pinigų srautų skaičiavimas .....	50

<b>4.16 lentelė.</b> Efektyvumo ir efekto skaičiavimas .....	51
<b>4.17 lentelė.</b> Lūžio taško skaičiavimas .....	52
<b>4.18 lentelė.</b> Duomenys apie gaminius (produkciją) .....	53
<b>4.19 lentelė.</b> Kuro ir energijos vartojimas .....	53
<b>4.20 lentelė.</b> Duomenys apie naudojamą žaliavą, chemines medžiagas ar preparatus .....	53
<b>4.21 lentelė.</b> Atliekos, atliekų tvarkymas .....	54
<b>4.22 lentelė.</b> Stacionarių taršos šaltinių fiziniai duomenys .....	54
<b>4.23 lentelė.</b> Tarša į aplinkos orą .....	55
<b>4.24 lentelė.</b> Išmetamųjų dujų valymo įrenginiai ir kitos taršos prevencijos priemonės .....	56
<b>4.25 lentelė.</b> Naudojamo vandens balansas .....	56
<b>5.1 lentelė.</b> Rizikos veiksniai, jų ribiniai dydžiai ir prevencijos priemonės [28] .....	57
<b>5.2 lentelė.</b> Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai [29] .....	58
<b>5.3 lentelė.</b> Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų [29]	58
<b>5.4 lentelė.</b> Elektros įrangos parinkimas [30] .....	59
<b>5.5 lentelė.</b> Kenksmingų medžiagų ribiniai dydžiai [28] .....	60
<b>5.6 lentelė.</b> Darbo patalpos komfortinės sąlygos .....	61

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b>	Temperatūros įtaka CO konversijos reakcijos pusiausvyrai [12] .....	17
<b>2 pav.</b>	Vandens garų / dujų santykio priklausomybė reakcijos išeigai [13].....	18
<b>3 pav.</b>	Anglies monoksido konversijos laipsnio priklausomybė nuo gadolinio kiekio [20].....	22
<b>4 pav.</b>	Aukštatemperatūrės reakcijos sąlygų įvedimas modeliui .....	28
<b>5 pav.</b>	Žematemperatūrės reakcijos sąlygų įvedimas modeliui .....	28
<b>6 pav.</b>	Technologinės schemos modelio sudarymas .....	29
<b>7 pav.</b>	Idealiojo išstūmimo tipo reaktoriaus parametrų suvedimas .....	29
<b>8 pav.</b>	II-o laipsnio katilo utilizatoriaus srautų įvedimas .....	31
<b>9 pav.</b>	Anglies monoksido konversijos modelis „Aspen HYSYS“ sistemoje .....	33
<b>10 pav.</b>	Aukštatemperatūrės reakcijos CO priklausomybė nuo vandens garų santykio su KD .....	39
<b>11 pav.</b>	Siurblinės evakuacijos planas .....	61

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

Doc. – docentas;

Lekt. – lektorius;

Prof. – profesorius.

### Terminai:

CO – anglies monoksidas

CO<sub>2</sub> – anglies dioksidas

H<sub>2</sub> – vandenilis

N<sub>2</sub> – azotas

CH<sub>4</sub> – metanas

A – kinetinės lygties prieš eksponentė

E<sub>a</sub> – reakcijos aktyvacijos energija

## ĮVADAS

Katalizinė anglies monoksido konversija vandens garais yra reakcija, kuomet anglies monoksidas su vandens garais reaguodamas ant katalizatoriaus paviršiaus sudaro anglies dioksidą ir vandenilį. Ši reakcija atrasta 1780 m. italų fiziko F.Fontana. Vystantis chemijos pramonei, bei didėjant vandenilio poreikiui amoniako gamybai Boscho-Haberio metodu, atsirado poreikis pigesniai ir efektyvesniai vandenilio gamybos būdai [1].

Katalizinė CO konversija vandens garais yra svarbus amoniako, metanolio ar vandenilio gamybos proceso etapas, kuris įprastai komplektuojamas kartu su metano konversijos bloku. Amoniako sintezės reakcijoje taip pat labai svarbu pašalinti CO ir CO<sub>2</sub>, nes jie yra amoniako sintezės katalizatoriaus nuodai ir gali pasyvinti katalizatoriaus aktyvius centrus, todėl katalizatorius praranda savo aktyvumą, trumpėja jo tarnavimo trukmė ir mažėja amoniako sintezės išeiga. Todėl ši reakcija turi didelę reikšmę vandenilio gamybos įmonėse.

Pagrindinė technologijos problema, kad griežtėjant aplinkosauginiams reikalavimams, įmonės investuoja į energetinių išteklių ir aplinkos taršos mažinimą. Tai skatina katalizatorių gamintojus investuoti į naujų ilgaamžiškesnių ir efektyvesnių katalizatorių kūrimą. Nauji efektyvesni katalizatoriai, leistų pasiekti didesnę CO konversijos laipsnį, taip pat sumažinti vandens garų kiekį reikalingą anglies monoksido konversijai, būtent tai leistų sutaupyti gamtinių dujų, kurios deginamos gaminant garus. Sumažinus gamtinių dujų kiekį sudeginimui, sumažėtų ir aplinkos tarša.

Magistro baigiamajame projekte modernizuojama anglies monoksido konversijos technologinė linija, priimant, kad esamas katalizatorius pakeičiamas aktyvesniu ir sumažinamas vandens garų kiekis reikalingas konversijos reakcijai. Darbe atliktas aplinkosauginis vertinimas, suprojektuota technologinė gamybos linija, įvertinta darbuotojų sauga ir sveikata, pateiktas ekonominis modernizacijos pagrindimas bei statybiniai sprendimai.

**Darbo tikslas** – išanalizuoti pramonėje naudojamus CO konversijos būdus, žinomus technologinius sprendimus, įvertinti nagrinėjamos CO konversijos technologijos tobulinimo galimybes.

### **Darbo uždaviniai:**

1. Atlikti CO konversijos būdų literatūros apžvalgą techniniais ir ekonominiais aspektais.
2. Atlikti technologinio proceso bei žaliavų analizę ir vertinimą taikant pasirinktą skaičiavimo/modeliavimo/analizės metodiką ir pateikti technologijos tobulinimo galimybių vertinimą
3. Pateikti gamybinio proceso vykdymo technologinę schemą ir pagrindinio aparato brėžinį.
4. Pateikti statybinius sprendimus, finansinius ir ekonominius skaičiavimus, aplinkosauginį vertinimą bei reikalavimus dėl darbuotojų saugos ir sveikatos.

## 1. BENDRAS DARBO APIBŪDINIMAS IR PAGRINDINIAI RODIKLIAI

Modernizuojama anglies monoksido konversijos technologinė linija, jos buvimo vieta yra Jonalaukio kaimas esantis Jonavos rajone. Šalia įmonės driekiasi magistralinis kelias A6.

Šios technologinės linijos paskirtis yra gaminti papildomą kiekį vandenilio, iš sintezės dujų mišinio pašalinant anglies monoksidą, taip pat utilizuojant reakcijos išskiriamą šilumą gaminti vandens garus. Galutinis gamybos produktas, amoniakas, plačiai naudojamas trąšų pramonėje gaminant įvairias azotines trąšas.

Anglies monoksido konversijos proceso modernizacijos projektas paruoštas remiantis atliktais tyrimais ir skaičiavimais. Atliekant modernizaciją, įvertinta ne tik technologinė nauda, bet ir aplinkosauginiai, darbo saugos, finansiniai ir ekonominiai bei statybiniai aspektai. Projekto pagrindiniai rodikliai pateikti 1.1 lentelėje.

### 1.1 lentelė. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

Rodikliai	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos	Pokytis
Produkcijos pardavimo apimtis, t brandos stadijoje	569400	569400	-
Gautinos pajamos, mln. Eur	323,41	323,41	-
Aptarnaujančio personalo skaičius, asm.	11	11	-
Darbo našumas, mln. Eur:			
Darbininko	0,9925	0,9925	-
Vidutinis metinis darbo užmokestis, Eur:			
Darbininko	0,9925	0,9925	-
Gamybos kaštai, mln. Eur	244,71	239,64	5,07
Gaminio pilnoji savikaina, Eur.	507,13	496,61	10,52
Grynasis pelnas, mln. Eur	29,89	34,96	5,07
Papildomas pelnas, gautas įgyvendinus projektinius sprendimus	-	8,456	8,456
Investicijų apimtis, mln. Eur	-	-	-
Produkcijos rentabilumas, %	12,2	14,55	2,35
Apyvartos rentabilumas, %	10,85	12,7	1,85
Kapitalo rentabilumas, %	52,82	61,8	5
Projekto investicijų atsipirkimo trukmė, metais	-	1	1

#### 1.1. Pradinė padėtis

Projektas ruošiamas veikiančiam amoniako gamybos agregatui, anglies monoksido konversijos proceso technologinei linijai.

Modernizacijos tikslas- ekonominė ir aplinkosauginė nauda. Pagrindinis rekonstrukcijos tikslas - suvartojamos žaliavos (gamtinių dujų) kiekio mažinimas. Atlikus modernizaciją, technologija pagerintų ne tik ekonominius rodiklius, bet ir aplinkosauginius, kadangi į aplinką būtų išmetama mažiau teršalų, kurie susidaro degant gamtinėms dujoms.

Rekonstrukcijai priimama, kad naudojamas aktyvesnis katalizatorius, procesui reikalingas vandens garų kiekis sumažinamas tiek, kad galutinis konvertuotų dujų mišinys turėtų tokią pačią sudėtį, kaip ir prieš modernizaciją.

#### 1.2. Žaliavų zonos charakteristika ir materialinio aprūpinimo pagrindimas

Modernizuojamoje technologinėje linijoje pagrindinės inžinerinės sistemos yra konvertuotos dujos po dvilaispės metano konversijos ir vanduo. Vanduo technologijoje naudojamas garų gamybos

įrenginiams ir tarpiniam technologinių srautų aušinimui. Technologija yra didelio našumo, todėl sunaudojami dideli kiekiai vandens, kuris siurbliais tiekiamas iš Neries upės. Upės vanduo, patenka į cheminio vandens paruošimo skyrių, kur apdorojamas anijonitinais ir katijonitinais filtrais, ir tuomet tiekiamas į įmonės bendragamyklinį tinklą. Gamtinės dujos naudojamos technologijai gaunamos iš bendrovės tinklo. Pagrindinis gamtinių dujų tiekėjas – suskystintų gamtinių dujų laivas – saugykla „Independence“. Sutrikus elektros energijos tiekimui, įmonėje numatytas nepertraukiamo maitinimo šaltinis, kuris leistų saugiai avarinių būdų sustabdyti agregatą.

### **1.3. Gamybinio pajėgumo ir gamybinės programos pagrindimas**

Atliekant technologinės linijos modernizaciją, gamybinis pajėgumas išlieka nepakitęs. Rekonstrukcijos tikslas yra sumažinti žaliavų sunaudojimą, taip sumažinant gamybos kaštus. Planuojamas darbo laikas lieka nepakitęs, dieninė ir naktinė pamaina, 365 dienas per metus.

### **1.4. Statybos aikštelės charakteristika bei pagrindimas**

Modernizuojama anglies monoksido konversijos technologinė linija priklauso įmonei AB „Achema“ Gamykla įsikūrusi Jonalaukio kaime, Ruklos seniūnijoje, Jonavos rajone. Įmonė įsikūrusi šalia Neries ir Šventosios upių santakos. Šalia įmonės yra magistralinis kelias A6, kuris jungia Kauną ir Daugpilį. Įmonės teritorijoje taip pat yra geležinkelio transporto kelias. Įmonė įsikūrusi atokiau nuo gyvenvietės.

## 2. LITERATŪROS APŽVALGA

### 2.1. Fizikinės anglies monoksido savybės

Anglies monoksidas (CO) – bespalvės, bekvapės, beskonės dujos. Pasižymi toksiniu poveikiu, sukelia dusimą. CO molekulė sudaryta iš dviejų atomų susijungusių trigubuoju ryšiu. Anglies monoksido fizikinės savybės pateiktas 2.1 lentelėje.

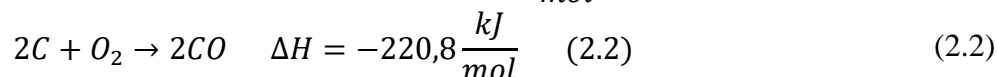
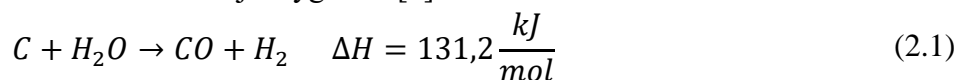
**2.1 lentelė.** Anglies monoksido fizikinės savybės

Cheminis simbolis	CO
Molekulinė masė	28,01 g/mol
Tankis prie 0 °C, 1 atm	1,250 kg/m <sup>3</sup>
Lydymosi taškas	-205,02 °C
Virimo taškas	-191,5 °C
Tirpumas vandenyje prie 25 °C	27,6 mg/l
Specifinė šiluminė talpa	29.1 J/(K·mol)

### 2.2. Anglies monoksido gamybos būdai

#### 2.2.1. Anglies sudujinimas

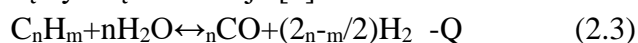
Anglies sudujinimas – procesas kurio metu gaunamos sintezės dujos, savo sudėtyje turinčios anglies monoksidą (CO), vandenilį (H<sub>2</sub>) ir kitų priemaišų, tokiu kaip metanas (CH<sub>4</sub>), anglies dioksidas (CO<sub>2</sub>). Proceso metu iškastinė anglis reaguoja su vandens garais ir susidaro sintezės dujų mišinys. Proceso vykdomas iki 10 MPa slėgyje ir temperatūroje aukštesnėje nei 750 °C [3]. Reakciją yra endoterminė, negrįžtama ir aprašoma sekančiomis reakcijos lygtimis [2]:



Tokiu būdu gautas sintezės dujų mišinys gali būti naudojamas Fischer–Tropsch sintezės reakcijoms, norint gauti skystuosius angliavandenilius, pvz. benzina, dyzeliną ar žibalą.

#### 2.2.2. Katalizinė gamtinių dujų konversija vandens garais

Sintezės dujos sudėtyje turinčios CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ir N<sub>2</sub> gali būti gaunamos įvairiais būdais. Plačiausiai pramonėje taikomų būdų gauti dujų mišinį turintį daug CO ir H<sub>2</sub> yra katalizinė metano konversija vandens garais. Tai metodas, kurio metu konvertuojant angliavandenilių mišinius, tokius, kaip gamtinės dujos, gaunamas sintezės dujų mišinys. Konversija vykdoma dviem etapais. Pirmasis vykdomas vamzdinės krosnies tipo reaktoriuose. Pirmo laipsnio metano konversijos reakcija yra endoterminė, vyksta esant vandens garų pertekliui, jai vyksti sunaudojama šiluma, kuri gaunama deginant degias dujas. Šiluma reakcijai perduodama šilumos pernašos būdų per reaktoriaus sienelę. Reakcijos lygtis pagal kurią vyksta konversija [4]:



Antro laipsnio metano konversijos metu, gautas konvertuotu dujų mišinys toliau konvertuojamas šachtiniame konverteryje oro deguonimi. Reakcijos metu vyksta degimas ir gamtinės dujos galutinai



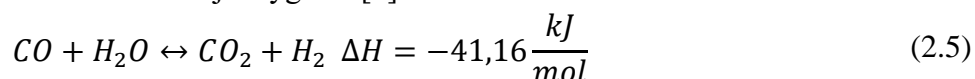
konvertuojamos. Reakcija yra egzoterminė, jos metu išskiriama šiluma. Reakcijos lygtis pagal kurią vyksta konversija [4]:



### 2.3. Anglies monoksido konversija vandens garais

#### 2.3.1. Proceso aprašymas

Anglies monoksido konversijos vandens garais reakciją atrasta 1780 m. Italų fiziko Felice Fontana [1]. Anglies monoksido konversijos reakcija vandens garais yra grįžtama, jos metu anglies monoksidas reaguodamas su vandens garais sudaro anglies dioksidą ir vandenilį. Reakcija yra egzoterminė. Aprašoma sekančia reakcijos lygtimi [2]:

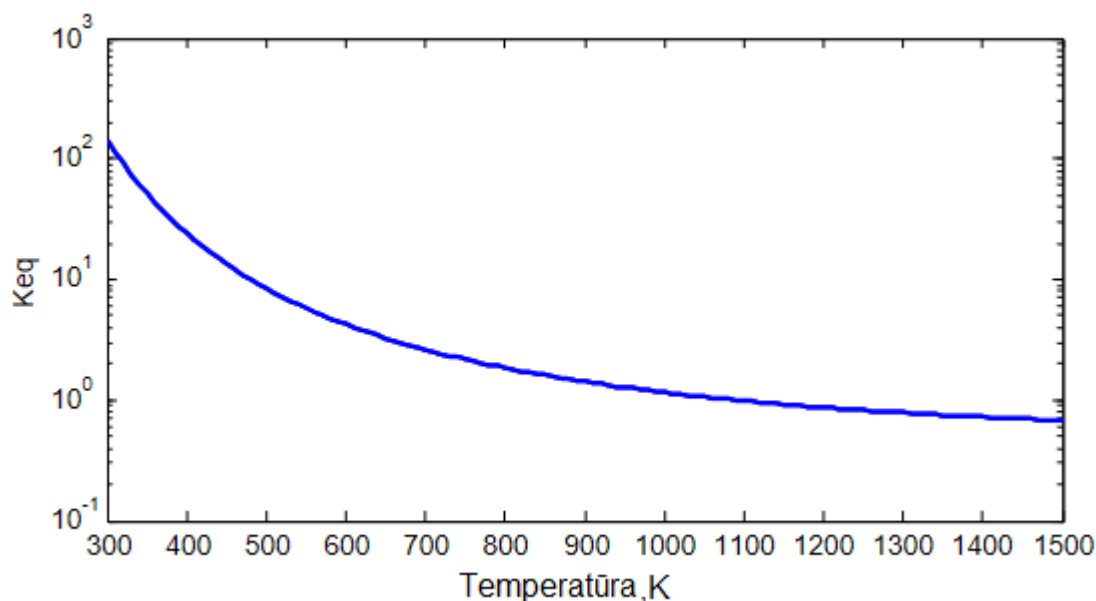


Pramonėje toks konversijos blokas komplektuojamas vandenilio, amoniako, metanolio ar kitų angliavandenilių gamybos agregatuose.

Norint vykdyti efektyvią anglies monoksido konversiją, pramonėje tokie blokai komplektuojami esant dviejų laipsnių CO konversijos aparatams. Pirmiausiai CO konversija vykdoma aukštatemperatūriame CO konvertoriuje 400 °C temperatūroje. Tuomet dujos aušinamos šilumą utilizuojant katiluose utilizatoriuose, gaminant sočius vandens garus, arba pašildant kitus srautus šilumokaičiuose. Atvėsusios dujos iki 200 °C toliau tiekiamos į žematemperatūrį CO konvertorių, kur galutinai konvertuojamas anglies monoksidas [7]. Po tokio CO konversijos bloko išeinančios dujos savo sudėtyje turi ne daugiau nei 0,6 % CO.

#### 2.3.2. Anglies monoksido konversijos kinetika

Katalizinė anglies monoksido konversijos vandens garais reakcija yra pusiausvyroji, reakcijos pusiausvyrai didelę įtaką turi temperatūra. Didėjant temperatūrai reakcijos greitis K mažėja. CO konversija geriau vyksta esant žemoms temperatūroms [6]. Temperatūros įtaka reakcijos pusiausvyrai pateikiama 1 paveiksle.



1 pav. Temperatūros įtaka CO konversijos reakcijos pusiausvyrai [12]

Pusiausvirošios CO konversijos reakcijos konstantos priklausomybė nuo temperatūros aprašoma 2.6 lygtimi [5].

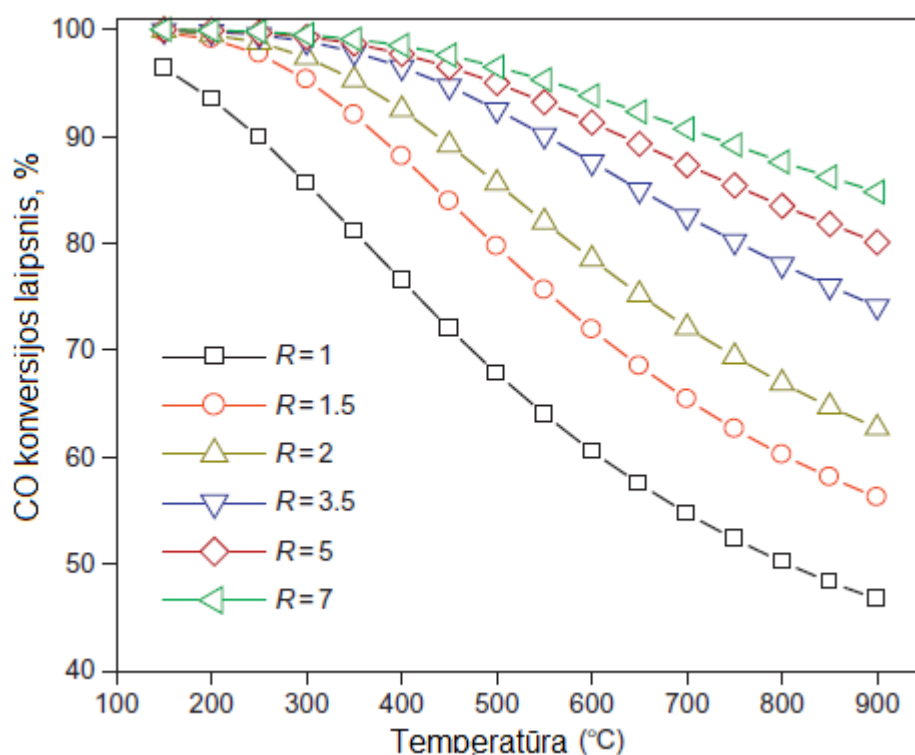
$$K_p = e \left( \frac{4577,8}{T} \right) \quad (2.6)$$

Pusiausviroji reakcijos konstanta remiantis termodinaminėmis reakcijos savybėmis gali būti užrašyta sekančia lygtimi [7]:

$$\ln(K_p) = \frac{5693,5}{T} + 1,077 \cdot \ln T + 5,44 \cdot 10^{-4} \cdot T - 1,125 \cdot 10^{-7} T^2 - \frac{49170}{T^2} - 13,148 \quad (2.7)$$

Kadangi didėjant temperatūrai, pusiausvirošios reakcijos greičio konstanta mažėja, pramonėje anglies monoksido konversija vykdoma dviem laipsniais. Aukštatemperatūriame ir žematemperatūriame konverteriuose. Aukštatemperatūre konversija vandens garais vykdoma 320–450 °C temperatūroje. Reakcija aukštoje temperatūroje sunaudoja daugiau anglies monoksido, todėl reaktorių gali būti užkraunamas mažesniu kiekiu katalizatoriaus. Žematemperatūre anglies monoksido konversija vyksta 150–250 °C temperatūroje. Reaguojant žemoje temperatūroje, siekiama maksimaliai sumažinti CO likutį konvertuotose dujose [11].

Remiantis literatūra, slėgis neturi žymios įtakos reakcijos kinetikai, didžiausia įtaką reakcijos pusiausvyrai turi vandens garų ir dujų mišinio santykis. Didėjant santykiui, reakcijos pusiausvyra stumiasi produktų kryptimi, tai reiškia CO konversijos laipsnis didėja. Vandens garų santykio su dujų mišinių priklausomybė pateikiama 2 paveiksle.



2 pav. Vandens garų / dujų santykio priklausomybė reakcijos išėigai [13]

Pagal pateikta grafiką matoma, kad esant dujų garų santykiui 1:7 pasiekiamas didžiausias konversijos efektyvumas, net ir esant didelei temperatūrai, čia R žymi vandens garų santykį su konvertuotomis dujomis.

Norint nustatyti anglies monoksido konversijos vandens garais kinetiką, ilgus metus buvo atliekami tyrimai. Buvo pateikta daug įvairių modelių aprašančių proceso kinetiką. Galiausiai padaryta išvada, kad geriausiai reakcijos greitį aprašančios lygtis yra pagal Langmuir-Hinshelwood modelį arba

laipsninės funkcijos modelį (power model). Nors aukštatemperatūrei ir žematemperatūrei anglies monoksido konversijai reakcijos kinetinės lygtis šiek tiek skiriasi, dalis jų tinka abiem reakcijom. Visos galimos reakcijos kinetinės lygtis pateikiamos 2.2 lentelėje.

**2.2 lentelė.** Kinetinės anglies monoksido konversijos lygtis aprašančios katalizės procesą [14]

Modelis	Kinetinė reakcijos lygtis
Aukštatemperatūre anglies monoksido konversija vandens garais [14]	
Kodama et al. [14]	$r = \frac{k \left[ [CO][H_2O] - \frac{[CO_2][H_2]}{K} \right]}{(1 + K_{CO}[CO] + K_{H_2O}[H_2O] + K_{CO_2}[CO_2] + K_{H_2}[H_2])}$
Hulburt-Vasan [14]	$r = \frac{k[H_2O]}{1 + K[H_2O]/[H_2]}$
Langmuir-Hinshelwood [14]	$r = \frac{kK_{CO}K_{H_2O} \left[ [CO][H_2O] - \frac{[CO_2][H_2]}{K} \right]}{(1 + K_{CO}[CO] + K_{H_2O}[H_2O] + K_{CO_2}[CO_2] + K_{H_2}[H_2])^2}$
Oxidation reduction [14]	$r = \frac{k_1k_2 \left\{ [CO][H_2O] - \frac{[CO_2][H_2]}{K} \right\}}{k_1[CO] + k_2[H_2O] + k_{-1}[CO_2] + k_{-2}[H_2]}$
Bohlboro et.al [14]	$r = kP_{CO}^a P_{H_2O}^b P_{CO_2}^c P_{H_2}^d$
Žematemperatūre anglies monoksido konversija vandens garais	
Campbell et al. [40]	$r = k \frac{P_{CO}P_{H_2O} (1 - \beta)}{(1 + K_{CO}P_{CO} + K_{H_2O}P_{H_2O} + K_{CO_2}P_{CO_2} + K_{H_2}P_{H_2})^2}$
Shchibrya et al.[41]	$r = \frac{k P_{H_2O}P_{CO} (1 - \beta)}{A P_{H_2O} + P_{CO_2}}$
Moe [42]	$r = k P_{CO}P_{H_2O} (1 - \beta)$
Kulkova, Temkin [43]	$r = k P_{CO} \left( \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2}} \right)^{0,5} (1 - \beta)$
Goodgidge Quazi [44]	$r = kP_{CO}^a P_{H_2O}^b P_{CO_2}^c P_{H_2}^d$

### 2.3.3. Reakcijos mechanizmas

Anglies monoksido konversijos aukštoje temperatūroje reakcijos mechanizmas grindžiamas dvejomis teorijomis. Viena jų asociacinio pakeitimo teorija, o kita oksidacijos redukcijos teorija. Pirmą kartą oksidacijos redukcijos teorija pasiūlė 1949 m. Kulkova ir Temkin [15]. Pagal šią teorija vandens molekulė disocijuoja ant katalizatoriaus paviršiaus į vandenilį ir deguonį (2.8), anglies monoksidas ant katalizatoriaus paviršiaus prisijungia deguonies molekulę ir virsta CO<sub>2</sub> (2.9). Visos reakcijos lygtys pateiktos 2.3 lentelėje (III mechanizmas).



Aprašant šį procesą buvo išvestos kelios kinetinės lygtis aprašančios procesą. Prieita išvados kad 10 lygtis yra limituojanti reakcija. Temkin ir Kulvoka aprašė proceso kinetinę išraišką:

$$r = k + P_{CO} \left( \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2}} \right)^{0.5} - k - P_{CO_2} \left( \frac{P_{H_2}}{P_{H_2O}} \right)^{0.5} \quad (2.10)$$

r – reakcijos greitis, k ir -k reakcijos ir grįžtamos reakcijos konstantos, P – dalinis dujų slėgis.

### 2.3 lentelė. Reakcijos mechanizmai [14]

Mechanizmo Nr.	Vykstančios reakcijos
I	$CO \rightarrow CO(a)$
	$H_2O \rightarrow 2H(a) + O(a)$
	$CO(a) + O(a) \rightarrow CO_2(a)$
	$CO_2(a) \rightarrow CO_2$
	$2H(a) \rightarrow H_2$
II	$CO \rightarrow CO(a)$
	$H_2O \rightarrow OH(a) + H(a)$
	$CO(a) + OH(a) \rightarrow COOH(a)$
	$COOH(a) \rightarrow CO_2(a) + H(a)$
	$CO_2(a) \rightarrow CO_2$
	$2H(a) \rightarrow H_2$
III	$H_2O \rightarrow 2H(a) + O(a)$
	$CO + O(a) \rightarrow CO_2$
	$2H(a) \rightarrow H_2$

Shchibrya et al. [16], atlikti tyrimai, kuriuos patvirtino Boreskov et al. [17] teigia, kad geležies oksido katalizatoriaus paviršiuje vyksta oksidacijos redukcijos reakcijos. CO ir H<sub>2</sub>O molekulės oksiduoja ir redukuoja katalizatoriaus paviršių (2.3 lentelė I mechanizmas). Mokslininkų pateikta teorija, teigia, kad reakcijos limituojančios stadijos nėra, o reakcija vyksta ant heterogeninio paviršiaus. Tokio proceso kinetinė lygtis:

$$r = k \frac{P_{H_2O} P_{CO} - k^{-1} P_{CO_2} P_{H_2}}{A P_{H_2O} + P_{CO_2}} \quad (2.11)$$

2.3 lentelėje pateiktas II mechanizmas vadinamas asociaciniu mechanizmu. Ši teorija teigia, kad reakcija ant geležies oksido katalizatoriaus priklauso nuo temperatūros. Armstrong ir Hilditch pasiūlė, kad reakcijai vykstant žemesnėse temperatūrose limituojanti proceso stadija yra molekulių disociacija nuo katalizatoriaus paviršiaus [18]. Modelis teigia, kad CO ir H<sub>2</sub>O molekulės adsorbuojamos ant katalizatoriaus paviršiaus, H<sub>2</sub>O molekulė disocijuoja į OH ir H. Disociavusios vandens molekulės reaguoja su CO ir sudaro karboksilus arba formiatų tarpinius junginius, kurie iškart dehidratuojasi ir gaunamas CO<sub>2</sub> o dvi vandenilio molekulės susijungia į H<sub>2</sub>.

## **2.4. Katalizatoriai naudojami anglies monoksido konversijai**

### **2.4.1. Aukštatemperatūrės CO konversijos katalizatoriai**

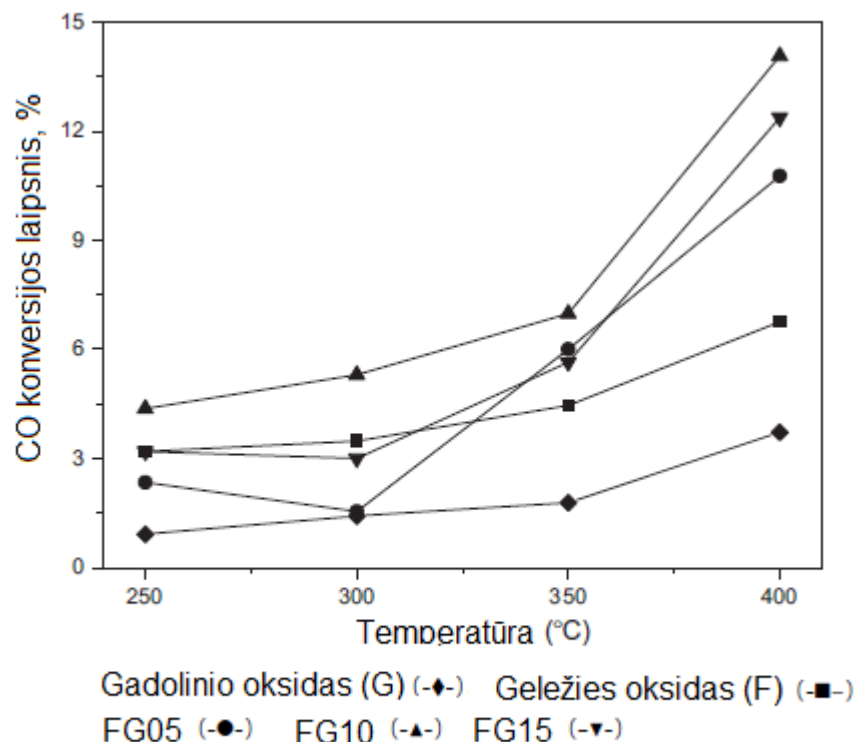
#### **2.4.1.1. Geležies chromo katalizatoriai**

Aukštatemperatūre anglies monoksido konversija vyksta 310–450 °C temperatūroje. Daugiau nei 70 metų tokių katalizatorių pagrindinė sudedamoji dalis yra Fe-Cr mišinys. Iki atsirandant žematemperatūriams katalizatoriams Cu pagrindu, amoniako gamybos agregatuose buvo komplektuojami du aukštatemperatūriai aparatai, viename jų reakcija buvo vykdoma prie 420 °C, o kitame esant 320 °C. Abu aparatai buvo komplektuojami su Fe-Cr katalizatoriumi. Šiuo metu dažniausiai aukštatemperatūrei anglies monoksido konversijai vykdyti yra naudojami katalizatoriai kurių aktyvieji komponentai yra Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ir Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Apie 80–90 % katalizatoriaus masės sudaro Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (feritas), kuris yra aktyvusis centras, o 8–10 % yra Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kuris naudojamas kaip stabilizatorius [2]. Chromo trioksidas prailgina katalizatoriaus tarnavimo laiką, stabdydamas geležies oksido kristalitų susidarymą, bei pagerina katalizinį Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aktyvumą.

Katalizatoriaus gamybos būdas yra labai svarbus norint gauti gerus katalizatorius. Vienas svarbiausių katalizatorių parametrų yra savitasis paviršiaus plotas. Gerai paruošti katalizatoriai pasižymi dideliu savituoju paviršiaus plotu, yra mechaniškai atsparūs ir pasižymi dideliu kataliziniu aktyvumu. Fe-Cr katalizatoriai anglies monoksido konversijai gaminami vienalaikio nusodinimo būdu, prekursoriais panaudojant nitratus, o nusodinimui naudojamas amoniakas [19]. Tuomet gautas katalizatorius džiovinamas ir iškaitinamas, taip išgarinant lakiuosius komponentus ir gaunant didelį paviršiaus plotą. Dar vienas iš būdų gaminti katalizatorius yra šlapio impregnavimo metodas, kuomet geležies hidroksidas paruošiamas nusodinimo metodu, o chromas įterpiamas naudojant chromo nitrato tirpalą. Gaminant katalizatorius aukštatemperatūrei CO konversijai, gaunamas α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematitas), kuris yra redukuojamas į magnetitą Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Magnetitas yra aktyvusis centras ant kurio vyksta anglies monoksido konversija vandens garais. Katalizatorius redukuojamas konvertuotų dujų mišinių CO konversijos bloko leidimo metu. Leidimo metu yra svarbus vandens garų santykis su konvertuotomis dujomis. Kadangi aktyvacijos metu nusistovi pusiausvyra tarp Fe<sup>2+</sup> ir Fe<sup>3+</sup> jonų oktaedrinėje magnetito struktūroje. Katalizatoriaus redukcijos metu chromas iš CrO<sub>3</sub> redukuojamas į Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

#### **2.4.1.2. Geležies oksido katalizatoriai su gadolinio priedu**

Kadangi pagrindinis vandenilio gamybos būdas yra reformingas, tai yra angliavandenilių konversija vandens garais, gaunamos dujos savo sudėtyje turi ne tik H<sub>2</sub>, bet ir CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> [1]. Siekiant išsaugoti sekančiuose gamybos etapuose naudojamų katalizatorių aktyvumą reikia pašalinti anglies monoksidą, kuris negrįžtamai gali apnuodyti katalizatorius [2]. Vis daugiau dėmesio skiriama naujų katalizatorių gamybai ir vystymui. Ieškoma aktyviųjų priedų pagerinančių katalizatorių aktyvumą, padidinančių savitąjį paviršiaus plotą, mechanini atsparumą. Remiantis mokslininkų atliktais tyrimais, matoma, kad gadolinis pagerina aukštatemperatūrių geležies katalizatorių aktyvumą [20]. Tyrimų metu buvo paruošti trys katalizatoriai kurie skyrėsi Gd/Fe moliniu santykiu, 0,05, 0,1 ir 0,15. Katalizatoriai buvo ruošiami nusodinimo būdu, sumaišant geležies nitrata, gadolinio nitrata ir amonio hidroksido tirpalus ir vykdant iškaitinimą 800 °C temperatūroje. Tokiu būdu paruošto katalizatoriaus aktyvumas buvo tiriamas atmosferiniame slėgyje, 250–400 °C temperatūroje, įkrautinio nejudančio sluoksnio tipo reaktoriuje. Vandens garų santykis su dujomis prieš reaktorių 0,6. Tyrimo metu nustatyta kad geriausia katalizinį aktyvumą parodė katalizatorius turintis 0,1 Gd/Fe molinį santyki, anglies monoksido konversija į vandenilį buvo efektyviausia (3 pav.).



**3 pav.** Anglies monoksido konversijos laipsnio priklausomybė nuo gadolinio kiekio [20]

Taip pat nustatyta, kad pridėjus gadolinio sumažėja geležies karbido susidarymas, todėl lieka daugiau aktyviųjų geležies centrų (magnetitų), taip išlaikomas didesnis katalizatoriaus aktyvumas [20].

#### 2.4.2. Žematemperatūrės CO konversijos katalizatoriai

Žematemperatūriais katalizatoriai vadinami tokie, kurie dirba esant 150–250 °C temperatūrai. Tokių katalizatorių atsiradimą paskatino naujų, sieros valymui skirtų katalizatorių atsiradimas [2]. Žematemperatūriai CO konversijos katalizatoriai Cu-ZnO pagrindu yra labai jautrūs sieros junginiams ir gali būti lengvai apnuodijami jų. Taip katalizatorius praranda savo aktyvumą. Efektyvus gamtinių dujų ar kito iškastinio kuro išvalymas nuo sieros junginių padėjo pagrindus ir leido gamyboje pradėti naudoti žematemperatūrę CO konversiją. Po jos CO koncentracija ištekančiame sraute siekia mažiau nei 0,5 %.

Literatūroje pateiktai duomenimis žematemperatūrių katalizatorių sudėtis apytiksliai yra 32–33 % CuO, 34–53 % ZnO, 15–33 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [10]. Aktyvusis katalizatoriaus centras yra CuO, o ZnO suteikia bazinei medžiagai atsparumą erozijai, taip pat ir apsauga nuo vario apnuodijimo sieros junginiais. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (korundas) suteikia mechaninio stiprumo, jis pagrinde naudojamas kaip bazinė medžiaga ant kurios padengiamas aktyvusis katalizatoriaus komponentas. Maksimali katalizatoriaus darbine temperatūra yra 250 °C. Tokia riba yra dėl galimo vario sukepimo ir katalizatoriaus aktyvumo sumažėjimo. Naudojant katalizatorių žemoje temperatūroje išvengiama pašalinių reakcijų, pvz. ciano rūgščių ar kitų organinių medžiagų susidarymo.

### 2.4.3. Tirtų katalizatorių aktyvumo parametrai

Griežtėjantys aplinkosauginiai reikalavimai, gamintojus ir katalizatorių naudotojus skatina ieškoti efektyvesnių, ilgesnį tarnavimo laiką turinčių katalizatorių. Tiriant naujus katalizatorius mokslininkai išbando įvairius metalų priedus, galinčius sumažinti reakcijos energiją. Nors pramoninių katalizatorių kinetiniai parametrai nėra viešai prieinami, randama įvairių straipsnių su aukštatemperatūros arba žematemperatūros CO konversijos katalizatorių kinetiniais parametrais ir reakcijos kinetinėmis lygtimis. Rasti įvairių katalizatorių parametrai pateikiami 2.4 lentelėje.

**2.4 lentelė.** Tirtų katalizatorių kinetiniai rodikliai

Katalizatorius	A konstanta	E <sub>a</sub> kJ/mol
Žematemperatūros anglies monoksido konversijos katalizatoriai		
ICI-CuO-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [26]	$3,99 \cdot 10^6$	52,8
Cu-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (EX-2248) Sud Chemie [26]	$2,96 \cdot 10^6$	47,4
42 %CuO-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (G-66A) Sud Chemie [27]	$4,9 \cdot 10^6$	71
Cu-Fe-Cr [22]	$6,5 \cdot 10^6$	198,5
Cu-Fe-Mn [22]	$5,56 \cdot 10^8$	132,8
CuO/ZnO/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [22]	$4 \cdot 10^8$	110,1
Aukštatemperatūros anglies monoksido konversijos katalizatoriai		
89 %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 9 %Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [21]	$2,62 \cdot 10^6$	112
Cu – aktyvuotas [23]	$6,6 \cdot 10^9$	84
2 wt % Pt/CZO [23]	$2,5 \cdot 10^7$	71
40 % Ni turintis [24]	$5,49 \cdot 10^6$	83,7
FeCr (HT-23408) (Haldor Topsøe) [25]	$4,41 \cdot 10^6$	106

### 3. TIRIAMOJI DALIS

#### 3.1. Modelio sudarymo metodika

Norint palyginti anglies monoksido konversijos katalizatorius, tyrimui buvo naudojama ASPEN HYSYS programinė įranga. Tai cheminių reakcijų simulatorius, naudojantis matematinius ir cheminius modelius. Programinės įrangos pagalba galima optimizuoti, modeliuoti, skaičiuoti įvairius technologinius parametrus, atlikti pakeitimus technologiniame procese ir juos įvertinus įdiegti į gamybos procesą.

Prieš atliekant galimų katalizatorių palyginimą buvo surinkti technologinių parametrų duomenys iš AB „Achema“ Amoniako cecho Nr.1 anglies monoksido konversijos skyriaus. Surinkti duomenys buvo naudojami kuriant modelį su Aspen HYSYS programine įranga. Naudoti duomenys pateikiami 3.1 lentelėje.

**3.1 lentelė.** Anglies monoksido konversijos technologiniai parametrai ir duomenys

Aukštatemperatūros CO konversijos technologiniai parametrai	
Aukštatemperatūros CO konversijos katalizatorius	ShiftMax 120 HCF Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 10–15 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 80–90 %
Katalizatoriaus tūris	87,44 m <sup>3</sup>
Dujų – garų mišinio slėgis prieš konvertorių	2,967 MPa
Konvertoriaus slėgio perkrytis	0,02 MPa
Tiekiamo į konvertorių dujų – garų mišinio temperatūra	329 °C
Ištekančio iš konvertoriaus dujų – garų mišinio temperatūra	389 °C
Dujų – garų mišinio temperatūra po II-o laipsnio katilo utilizatoriaus	315 °C
Maitinančio vandens temperatūra į II-o laipsnio katilą utilizatorių	305 °C
Garų – vandens emulsija iš II-o laipsnio katilo utilizatoriaus	314 °C
Priešpriešinio įtekančio dujų-garų mišinio srauto į metanavimą temperatūra	55 °C
Priešpriešinio ištekančio dujų-garų mišinio srauto į metanavimą temperatūra	312 °C
Dujų – garų mišinio temperatūra prieš žematemperatūrį CO konvertorių	207 °C
Dujų – garų mišinio temperatūra po žematemperatūrį CO konvertorių	224 °C
Dujų garų mišinio slėgis prieš žematemperatūrį konvertorių	2,911 MPa
Konvertoriaus slėgio perkrytis	0,02 MPa



Žematemperatūros CO konversijos katalizatorius	LK-823 CuO 41–46 % ZnO 25–35 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 5–15 % Cs <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 0–2 %
Katalizatoriaus tūris	76 m <sup>3</sup>
II laipsnio katilo utilizatoriaus šilumos mainų plotas	330 m <sup>2</sup>
Šilumokaičio šilumos mainų plotas	1350 m <sup>2</sup>

Norint įvertinti modelį taip pat buvo reikalinga konvertuotų dujų mišinio sudėtis, kuri pateikiama 3.2 lentelėje. Konvertuotų dujų analitinė kontrolė atlikta naudojant dujų chromatografijos metodą.

### 3.2 lentelė. Konvertuotų dujų sudėtis

Dujų mišinio sudėtis prieš aukštatemperatūrę CO konversija				
H <sub>2</sub> , %	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
56,99	11,4	8,19	22,67	0,75
56,23	11,53	8,09	23,26	0,89
57,28	11,6	8,17	22,32	0,62
57,13	11,46	8,25	22,56	0,6
57,19	11,68	7,95	22,58	0,6
57,24	11,76	8,09	22,39	0,56
56,96	11,75	8,23	22,4	0,62
56,67	11,83	8,13	22,78	0,6
56,46	11,64	8,27	22,95	0,68
57,05	11,57	8,32	22,43	0,63
57,14	11,57	8,25	22,41	0,62
56,98	11,6	8,38	22,44	0,6
57,61	11,77	7,4	22,63	0,59
58,19	11,96	6,45	22,8	0,6
58,23	11,84	6,29	22,98	0,67
57,52	11,67	7,35	22,82	0,66
Dujų mišinio sudėtis po aukštatemperatūros CO konversijos				
H <sub>2</sub> , %	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
60,17	1,93	15,47	21,53	0,91
60,15	1,95	15,97	21,18	0,74
60,94	2	16,2	20,36	0,5
60,59	1,91	15,46	21,31	0,74
61,09	1,93	15,34	20,92	0,72
61	1,97	15,78	20,72	0,54
60,63	1,97	15,55	21,15	0,71
60,17	1,95	15,84	21,27	0,77

60,05	1,94	16,07	21,25	0,7
60,38	2,03	15,86	21,05	0,68
60,52	1,99	15,92	20,82	0,74
60,7	1,95	16,04	20,73	0,58
60,53	2,01	15,9	20,92	0,65
60,58	1,99	16,07	20,8	0,56
61,1	2,05	15,58	20,61	0,66
58,42	1,89	15,62	22,8	1,27
Dujų mišinio sudėtis po žematemperatūrės CO konversijos				
H <sub>2</sub> , %	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
61,86	0,15	16,77	20,57	0,65
61,46	0,15	17,05	20,68	0,67
61,92	0,15	16,95	20,38	0,59
60,22	0,16	16,5	21,99	1,13
61,84	0,15	16,61	20,76	0,64
61,19	0,15	16,68	21,15	0,83
60,73	0,16	16,47	21,64	1
60,59	0,15	17,47	21,06	0,73
60,27	0,15	17,47	21,28	0,82
61,65	0,15	17,29	20,32	0,58
61,37	0,16	17,02	20,74	0,71
61,47	0,15	17,55	20,28	0,56
60,15	0,15	17,01	21,7	0,99
61,37	0,16	17,74	20,23	0,5
61,97	0,15	16,68	20,55	0,66
59,31	0,14	16,95	22,36	1,23

Pagal 3.2 lentelėje pateiktus duomenys, suskaičiuojami kiekvieno komponento vidurkiai ir vidutiniai duomenys pateikti 3.3 lentelėje panaudojami modelio sudarymui.

### 3.3 lentelė. Vidutiniai konvertuotų dujų sudėties duomenys

Dujų mišinio sudėtis prieš aukštatemperatūrę CO konversija				
H <sub>2</sub> , %	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
57,18	11,66	7,86	22,65	0,65
Dujų mišinio sudėtis po aukštatemperatūrės CO konversijos				
H <sub>2</sub> , %	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
60,44	1,97	15,79	21,09	0,72
Dujų mišinio sudėtis po žematemperatūrės CO konversijos				
H <sub>2</sub> , %	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
61,09	0,15	17,01	20,98	0,77

Modelis sudarytas remiantis AB „Achema“ amoniako cecho Nr.1 medžiagų balanso lentele. Sausų dujų kiekis į anglies monoksido konversijos technologinę liniją 185300 Nm<sup>3</sup>/h, drėgmės kiekis dujose 105000 Nm<sup>3</sup>/h (84390 kg/h). Tūrinis dujų ir vandens garų tūrinis santykis 1:0,57.

Kadangi pramonėje naudojamų katalizatorių kinetiniai parametrai nežinomi, modelis sudarinėjamas remiantis CO konversijos laipsniais. Suskaičiuojamas aukštatemperatūros CO konversijos konversijos laipsnis:

$$X_{konversijos} = 100 - \left( \frac{1,97 \cdot 100}{11,66} \right) = 83,1 \% \quad (3.1)$$

Suskaičiuojamas žematemperatūros CO konversijos konversijos laipsnis:

$$X_{konversijos} = 100 - \left( \frac{0,15 \cdot 100}{1,97} \right) = 92,39 \% \quad (3.2)$$

Pagal turimus duomenis 3.1 ir 3.3 lentelėse sudaromas modelis Aspen HYSYS modeliavimo sistemoje.

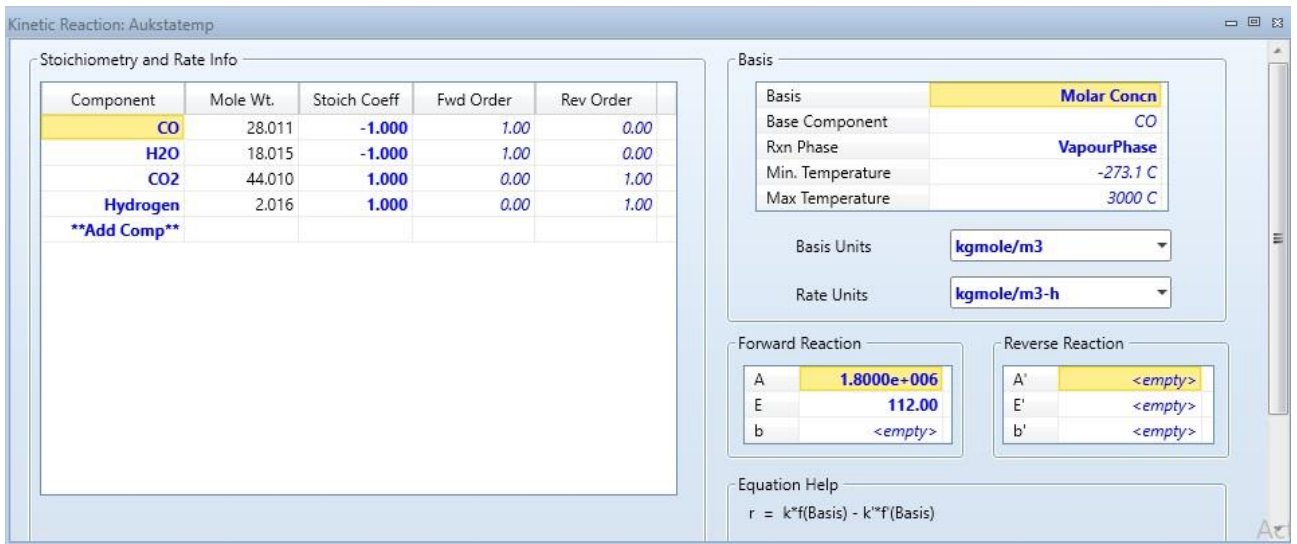
Norint patikimai sudaryti modelį pirmiausiai suvedami komponentai, esantys konvertuotų dujų mišinyje po dvilaisnės metano konversijos. Tam programinėje įrangoje surandami CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, komponentai ir pridedami į sąrašą.

Norint ištirti katalizinės reakcijos kinetika reikia modeliavimą atlikti panaudojant „Peng – Robinson“ modelį, kuris paremtas idealiųjų dujų teorija. Šio tipo skaičiavimo modelis labiausiai tinkamas angliavandenilių, skysčių – garų pusiausvyros modeliavimui. Tai vienas plačiausiai naudojamų pasirinkimų modeliavimui. „Fluid packages“ skiltyje pridedamas „Peng – Robinson“ modelis, pagal kurį bus atliekamas skaičiavimas.

Reakcijų skiltyje modeliui priskiriamos reakcijos lygtis, kurios bus naudojamos atliekant katalizinių procesų modeliavimą reaktoriuose. Svarbūs reakcijai parametrai yra reakcijos konstanta – k, reakcijos aktyvacijos energija – E<sub>a</sub>, prieš eksponentė – A. Dėl skirtingų katalizatorių ir jų A ir E<sub>a</sub> reikšmių, aukštatemperatūriam ir žematemperatūriam reaktoriams pridedamos atskiros reakcijos lygtys.

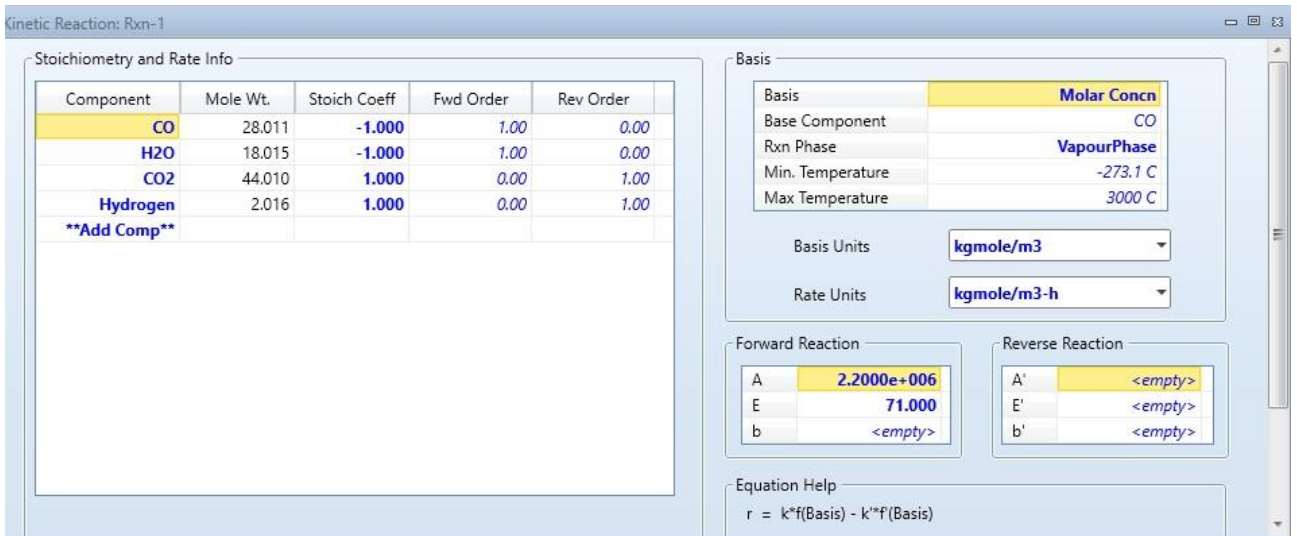
Kadangi bus tiriama katalizinė reakcija, pasirenkam kinetinės reakcijos tipą. Kinetinės reakcijos modeliai geriausiai atvaizduojami idealiojo išstūmimo tipo reaktoriuose. Kiekvienai modeliuojamai sistemai reakcijos parametrai yra unikalūs. Reakcijos išeiga skiriasi nuo reagentų ir produktų molinių koncentracijų.

Pridedami pačioje reakcijoje dalyvaujantys komponentai, reagentų pusiausvyros koeficientai pažymimi -1, o produktų 1. „Basis“ skiltyje pasirenkama, kad pagrindinis komponentas yra CO, mišinio agregatinė būseną dujinė, o skaičiavimams imama molinė koncentracija. Priimama prieš eksponentė A – 1,8·10<sup>6</sup>, reakcijos aktyvacijos energija E<sub>a</sub> pagal [21] šaltinio duomenis imama 112 kJ/mol. Reakcijos kinetiniai parametrai surašomi reakcijai vykstančiai produktų susidarymo kryptimi (4 pav.).



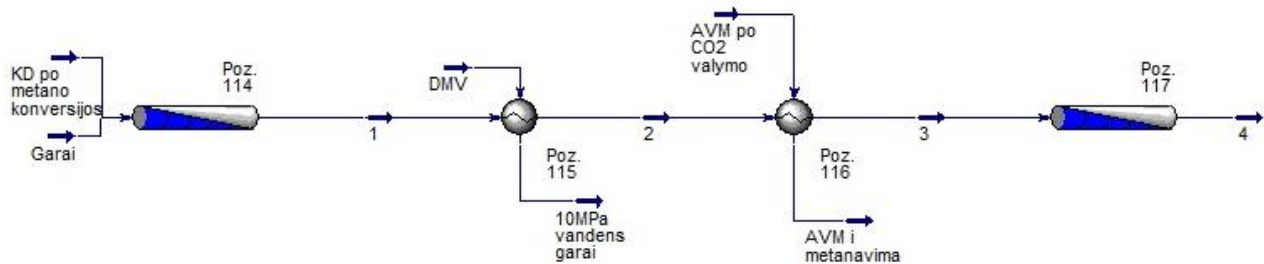
4 pav. Aukštatemperatūros reakcijos sąlygų įvedimas modeliui

Taip pat įvedama reakcija žematemperatūriam konverteriui (5 pav.). Parenkami reakcijos parametrai – prieš eksponentę A priimama  $2,2 \cdot 10^6$ , o aktyvacijos energija pagal [27] šaltinio duomenis 71 kJ/mol. Reakcijos parametrai surašomi reakcijai vykstančiai produktų susidarymo kryptimi.



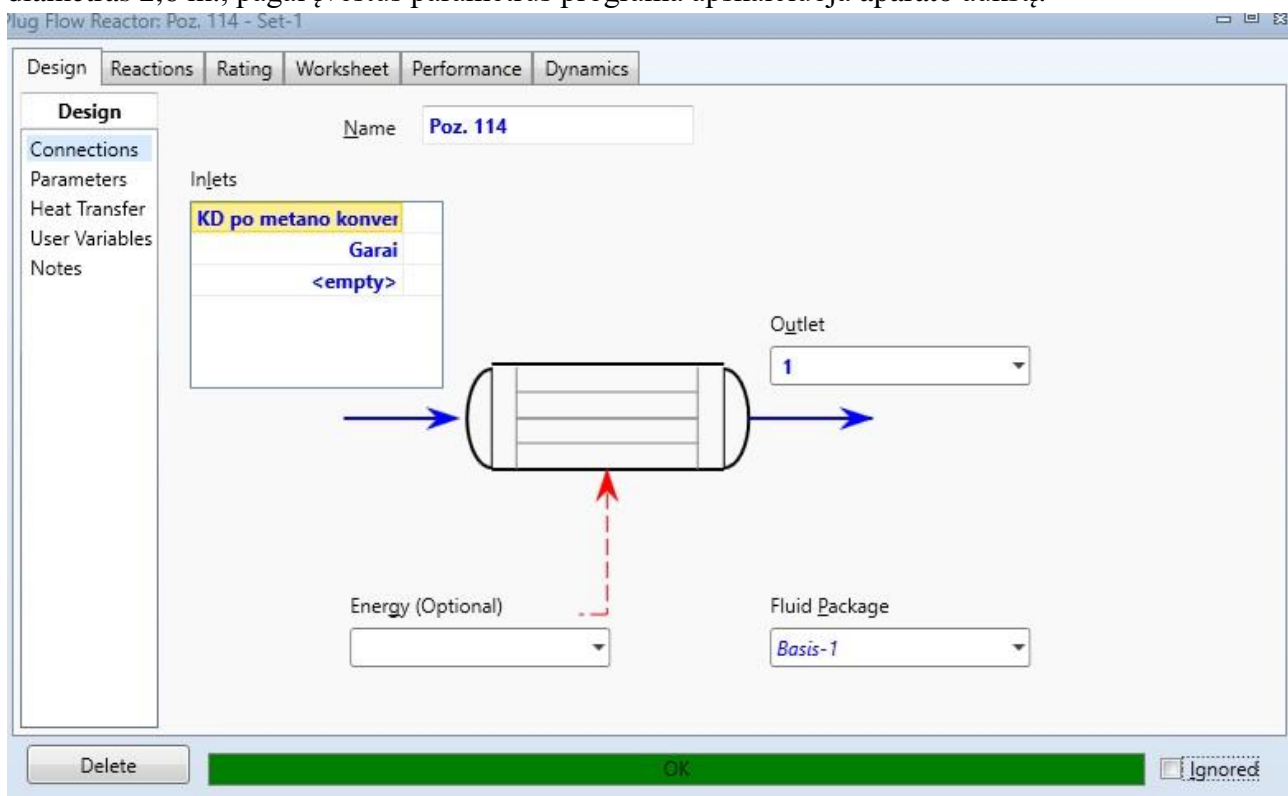
5 pav. Žematemperatūros reakcijos sąlygų įvedimas modeliui

Simuliacinėje aplinkoje sudaromas modelis pavaizduotas 6 paveiksle, atitinkantis technologinę anglies monoksido konversijos liniją. Įvedami pirminiai srautai, tai konvertuotos dujos po dvilaispės metano konversijos ir vandens garai. Pridedamas idealiojo išstūmimo tipo reaktorius aukštatemperatūrei ir žematemperatūrei konversijai, bei tarpiniam dujų aušinimui II-o laipsnio katilas utilizatorius ir šilumokaitis. II-o laipsnio katile utilizatoriuje dujos po aukštatemperatūros konversijos aušinamos šilumą utilizuojant aukšto slėgio vandens garų gamybai, o šilumokaityje pašildant priešpriešinio srauto dujas iš CO<sub>2</sub> valymo į metanavimo bloką.



6 pav. Technologinės schemos modelio sudarymas

Idealiojo išstūmimo tipo reaktoriui įvedami įtekantys ir ištekantys srautai (7 pav.), įvedamas aparato slėgio nuostolis susidarantis dėl užkrauto katalizatoriaus – 20 kPa, konverteriui parenkama aukštatemperatūros CO konversijos reakcija, įvedamas užkrauto katalizatoriaus tūris 87,44 m<sup>3</sup> ir indo diametras 2,6 m., pagal įvestus parametrus programa apskaičiuoja aparato aukštį.



7 pav. Idealiujo išstūmimo tipo reaktoriaus parametrų suvedimas

Tyrimui panaudojant AB „Achema“ amoniako cecho Nr.1 konvertuotų dujų sudėties analizės duomenis pateiktus 3.3 lentelėje, suvedamos molinės dalies koncentracijos įtekančiam konvertuotų dujų srautui po dvilaisnės metano konversijos. Įtekančių srautų molinės koncentracijos pateikiamos 3.4 lentelėje.

### 3.4 lentelė. Molinės pradinių srautų koncentracijos

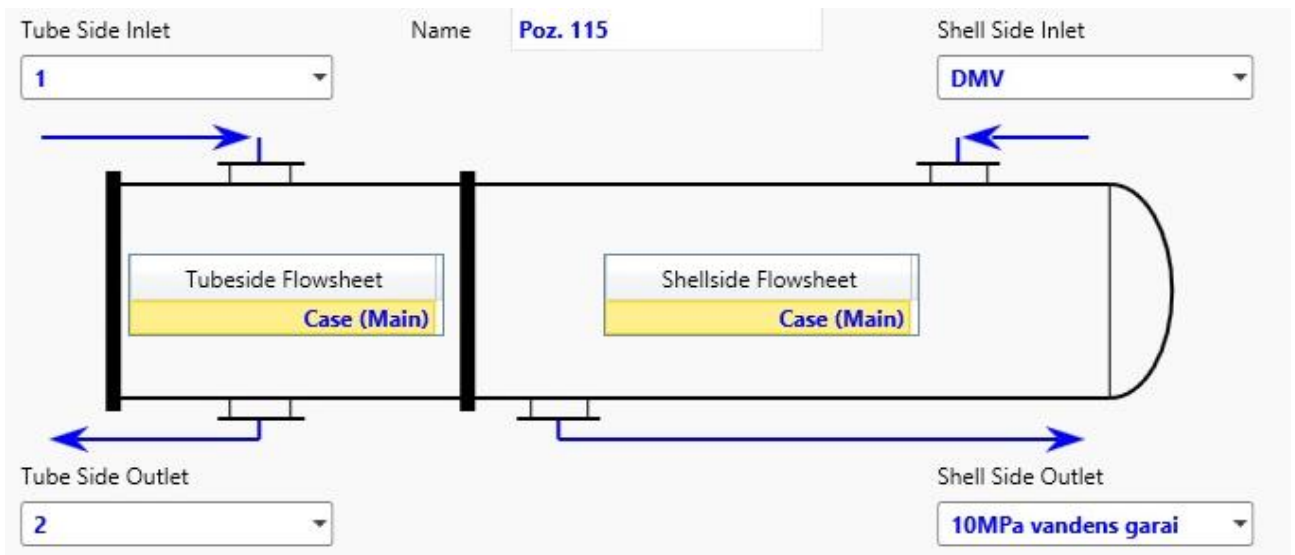
Įtekančio konvertuotų dujų srauto sudėtis molinėmis dalimis					
H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
0,5718	0,1166	0,0786	0,2265	0,0065	0
Įtekančio vandens garų srauto sudėtis molinėmis dalimis					
H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
0	0	0	0	0	1

Pagal AB „Achema“ anglies monoksido konversijos skyriaus technologinių parametrų duomenis pateiktus 3.1 lentelėje įvedamas pradinių srautų slėgis, jų temperatūra. Pagal cecho medžiagų balanso lentelę įvedamas konvertuotų dujų ir vandens garų kiekis. Programa pagal molinę reagentų koncentraciją iškarto sumodeliuoja ištekančio srauto temperatūrą ir slėgį. Pradinių įtekančių srautų ir ištekančio srauto po aukštatemperatūrės CO konversijos technologinių parametrų duomenys pateikiami 3.5 lentelėje. Vandens garų masės debitas yra 84390 kg/h.

### 3.5 lentelė. Įtekančių ir ištekančio srautų technologiniai parametrai

Srautas	KD po metano konversijos	Garai	KD po CO konversijos
Temperatūra, °C	329	329	391,5
Slėgis, MPa	2,968	2,968	2,948
Molinis debitas, kmol/h	7837	4441	12280
Tūrinis debitas, nm <sup>3</sup> /h	185300	105000	258300

Sumodeliavus aukštatemperatūrio konvertoriaus reakciją, patikrinamas reakcijos konversijos laipsnis, kuris yra 81,16 %. Atlikus aukštatemperatūrio konvertoriaus modeliavimą, toliau modeliuojamas II-o laipsnio katilas utilizatorius ir šilumokaitis. Katilo vamzdinėje ertmėje įvedamas konvertuotų dujų mišinys, tarpvamzdinėje ertmėje pasirenkamas katilų maitinančio vandens įtekėjimas, srautų įvedimas pavaizduotas 8 paveiksle.



8 pav. II-o laipsnio katilo utilizatoriaus srautų įvedimas

Įvedami šilumokaičio vamzdelių parametrai: vidinis vamzdelių diametras 8 mm., vamzdelių sienelės storis 2 mm., vamzdelių ilgis 4,9 m., pagal šiuos parametrus programa paskaičiuoja šilumos mainų plotą kuris lygus 330 m<sup>2</sup>. II-o laipsnio katilo utilizatoriaus ir šilumokaičio paviršiaus šilumos mainų plotai pateikti 3.1 lentelėje. Katilo modeliui parenkama ataušinto konvertuotų dujų mišinio temperatūra. Pagal ją, programinė įranga suskaičiuos aušinančio agento kiekį.

Įvedamos maitinančio vandens ir pagamintos vandens garų emulsijos srautų temperatūros, kurios pateiktos 3.6 medžiagų balanso lentelėje. Pagal konvertuotų dujų ištekancio srauto temperatūra iš katilo utilizatoriaus, programa automatiškai paskaičiuoja reikalingą aušinančio agento kiekį. Esant tokioms sąlygoms, II-o laipsnio katilo utilizatoriaus, katilų maitinančio vandens ir ištekancio vandens garų emulsijos srauto masės debitas yra 23610 kg/h, o tūrinis debitas 30990 nm<sup>3</sup>/h.

3.6 lentelė. II-o laipsnio katilo utilizatoriaus medžiagų balansas

Srautas	KD po CO konversijos	KD po II-o laipsnio katilo utilizatoriaus	Maitinantis katilų vanduo	Vandens garų emulsija
Temperatūra, °C	391,5	314	305	314
Slėgis, MPa	2,948	2,938	10,5	10,5
Molinis debitas, kmol/h	12280	12280	1311	1311
Tūrinis debitas, nm <sup>3</sup> /h	290300	290300	30990	30990

Taip pat yra įvedami šilumokaičio dujos/dujos, parametrai pagal 3.1 lentelėje pateiktą šilumos mainų plotą. Vidinis vamzdelių diametras 12 mm., vamzdelių sienelės storis 2 mm., vamzdelių ilgis 11,4 m., pagal šiuos parametrus programa paskaičiuoja šilumos mainų plotą kuris lygus 1350 m<sup>2</sup>. Įvedami šilumokaičio srautai, kurių medžiagų balansas pateikiamas 3.7 lentelėje. Šilumokaičio parametruose pasirenkama ištekancio ataušinto konvertuotų dujų mišinio temperatūra prieš žematemperatūrį CO konvertorių – 207 °C.

### 3.7 lentelė. Šilumokaičio dujos/dujos medžiagų balansas

Srautas	KD po II-o laipsnio katilo utilizatoriaus	KD po šilumokaičio	KD po CO <sub>2</sub> valymo	KD į metanavimą
Temperatūra, °C	314	207	55	312
Slėgis, MPa	2,938	2,928	2,490	2,470
Tūrinis debitas, nm <sup>3</sup> /h	290300	290300	178500	178500

Toliau modeliuojamas žematemperatūris konvertorius, į aparatą įvedamas ataušintas iki 207 °C konvertuotų dujų – garų srautas, parenkama žematemperatūre anglies monoksido konversijos reakcija, atlikus modeliavimą patikrinamas reakcijos konversijos laipsnis. Jis siekia 92,41 %.

### 3.2. Modelio gauto su Aspen HYSYS rezultatų įvertinimas

Sudarius modelį, gauti rezultatai perskaičiuojami į sausų dujų sudėtį komponento masės procentais. Dujų sudėties sumodeliuotos su „Aspen HYSYS“ ir AB „Achema“ amoniako cecho Nr. 1 palyginimas pateikiamas 3.8 lentelėje.

### 3.8 lentelė. Palyginamoji dujų sudėtis modeliuojant su „Aspen HYSYS“

Dujų sudėtis prieš aukštatemperatūre CO konversija. Garų/dujų tūrinis santykis 0,57 Konversijos laipsnis 81,16 % $A=1,8 \cdot 10^6$ $E_a=112\text{kJ/mol}$					
Komponentas	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	H <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
Aspen HYSYS modelis	11,31	7,62	55,44	21,96	0,63
AB „Achema“ duomenys	11,66	7,86	57,18	22,65	0,46
Dujų sudėtis po aukštatemperatūres CO konversijos					
Komponentas	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	H <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
Aspen HYSYS modelis	2,08	15,76	60,85	20,71	0,59
AB „Achema“ duomenys	1,97	15,79	60,44	21,09	0,54
Dujų sudėtis po žematemperatūres CO konversijos Konversijos laipsnis 92,41 % $A=2,2 \cdot 10^6$ $E_a=71\text{kJ/mol}$					
Komponentas	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	H <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
Aspen HYSYS modelis	0,15	17,36	61,59	20,32	0,58
AB „Achema“ duomenys	0,15	17,01	61,09	20,98	0,61

Pagal 3.8 lentelėje pateiktus duomenis galima teigti, kad sausų dujų sudėtis modelyje ir technologinėje linijoje sutampa. Ištekantių dujų procentinė sudėtis modelyje ir labai artima realiai



ceche gaminamų konvertuotų dujų sudėčiai, CO kiekis modelyje po žematemperatūros konversijos gaunamas toks pats kaip ir nustatytas dujų chromatografijos metodu. H<sub>2</sub> koncentraciją sraute po aukštatemperatūrio konvertoriaus skiriasi 0,35 %. Lyginant dujų sudėtį po žematemperatūros anglies monoksido konversijos CO kiekis modelyje sutampa su kiekiu kuris gautas atlikus dujų chromatografinę analizę, o H<sub>2</sub> kiekis skiriasi nežymiai, tik 0,5 %. Apskaičiuotas anglies monoksido konversijos laipsnis aukštatemperatūrei reakcijai 83,1 %, o gauto modelio konversijos laipsnis 81,16 %. Žematemperatūrei konversijai apskaičiuotas konversijos laipsnis 92,39 %, o modelyje gautas 92,41 %.

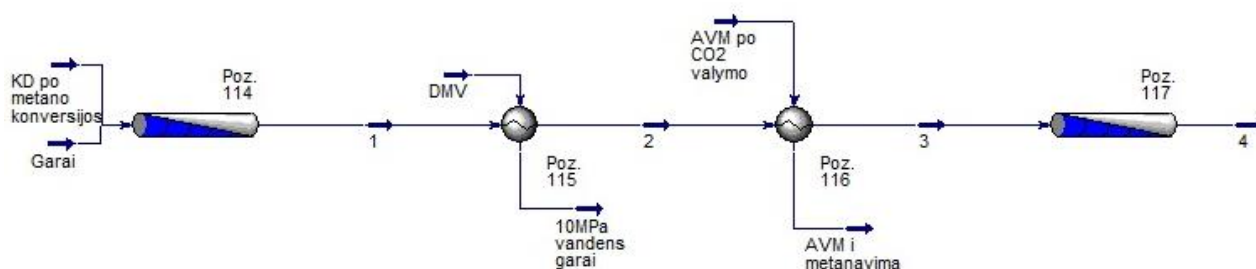
Apibendrinant duomenis galima teigti, kad modelis atitinka technologinę AB „Achema“ amoniako cecho Nr.1 anglies monoksido konversijos liniją. Remiantis gautų modelių, ir literatūros duomenimis, galima tirti skirtingų katalizatorių veikimą, ieškoti aktyvesnių katalizatorių, priimant konversijos laipsnius galima skaičiuoti medžiagų ir šilumos balansus. Taip pat galima tirti anglies monoksido ir vandens garų santykio kitimo įtaką medžiagų ir šilumos balansui. Įvertinti šilumokaičiuose esančių aušinančių agentų kiekius, reikalingus aušinimui.

### 3.3. Sudaryto modelio panaudojimas aukštatemperatūrių katalizatorių aktyvumo įvertinimui

Panaudojant sudaryta anglies monoksido konversijos technologinės linijos modelį „Aspen HYSYS“ sistemoje, buvo tiriamas literatūroje pateiktų aukštatemperatūros konversijos katalizatorių aktyvumas. Tyrimo metu buvo vertinamas CO konversijos laipsnis, ištekiančių srautų temperatūros. Tyrimui pasirinkti katalizatoriai pateikiami 3.9 lentelėje.

**3.9 lentelė.** Tyrimui su "Aspen HYSYS" naudoti katalizatoriai ir jų kinetiniai parametrai

Katalizatorius	A konstanta	Ea, kJ/mol
HT 40 % Ni [24]	$5,49 \cdot 10^6$	83,7
FeCr (HT-23408) [25]	$4,41 \cdot 10^6$	106
89 %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 9 %Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [21]	$2,62 \cdot 10^6$	112



**9 pav.** Anglies monoksido konversijos modelis „Aspen HYSYS“ sistemoje

Sudarius modelį pateikta 9 paveiksle su pirmaisiais trimis katalizatoriais buvo stebimi CO, CO<sub>2</sub> ir H<sub>2</sub> medžiagų balansai po aukštatemperatūros CO konversijos. Įtekantys srautai turėjo tokią pačią sudėtį kaip pradiniam modelyje.

**3.10 lentelė.** Molinis medžiagų balansas po aukštatemperatūros CO konversijos, esant skirtingiems katalizatoriams

Katalizatorius	CO, kmol/h	CO <sub>2</sub> , kmol/h	H <sub>2</sub> , kmol/h	Konversijos laipsnis, %	KD temperatūra po konverterio, °C
Modelis	178	1351	5216	81,16	391,5
HT 40 % Ni [24]	12	1518	5383	98,67	406,2
FeCr (HT-23408) [25]	28	1502	5367	96,94	404,7
89 %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 9 %Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [21]	92	1438	5303	89,95	399,1

Remiantis gautais duomenimis 3.10 lentelėje, didžiausia aktyvumą turi nikelio pagrindu kurtas katalizatorius, sudėtyje turintis 40 % Ni. Jo reakcijos konversijos laipsnis siekia 98,67 %. Dėl egzoterminės reakcijos didėjant katalizatoriaus aktyvumui stebimas ištekančio srauto temperatūros didėjimas. Lyginant modelio ištekančio srauto KD temperatūra su modeliuojamu Ni katalizatoriumi, ištekančio srauto temperatūra padidėja 14,7 °C. Taip pat buvo tiriama FeCr HT-23408 katalizatoriaus įtaką konversijos laipsniui. Konversijos laipsnis lyginant su modeliu buvo didesnis 13,57 %, o ištekančio srauto temperatūros padidėjimas buvo 13,2 °C. Trečiojo katalizatoriaus konversijos laipsnis pagerėjo tik 8,82 %, o ištekančio srauto temperatūra padidėjo 7,6 °C

Norint tiksliau įvertinti konvertuotų dujų sudėtį po aukštatemperatūros konversijos, gauti rezultatai perskaičiuojami iš kmol/h į komponento koncentracijas tūrio procentais sausose dujose ir pateikiami 3.11 lentelėje. Skaičiavimo pvz.:

$$C\%_{CO} = \frac{n_{CO}}{n_{komponentų}} \cdot 100\% = \frac{12}{8739} \cdot 100\% = 0,14\% \quad (3.3)$$

**3.11 lentelė.** Procentinė komponentų dalis sausose dujose po aukštatemperatūros konversijos esant skirtingiems katalizatoriams

Katalizatorius	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	H <sub>2</sub> , %
Modelis	2,01	15,83	60,88
HT 40 % Ni [24]	0,14	17,37	61,60
FeCr (HT-23408) [25]	0,32	17,22	61,53
89 %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 9 %Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [21]	1,06	16,61	61,24

Vertinant trijų katalizatorių tyrimo rezultatus, matoma, kad iš 3.11 lentelėje pateiktų katalizatorių geriausią aktyvumą turėjo HT 40 % Ni katalizatorius, CO kiekis ištekančiame sraute sumažėjo, net 1,87 %, Taip pat didelį konversijos laipsnį turėjęs HT-23408 katalizatorius, CO kiekį ištekančiame sraute sumažino 1,69 %. Trečiasis 89 %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 9 %Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CO koncentracija sraute sumažino tik 0,95 %. Vandenilio kiekio padidėjimas ištekančiame sraute tirtiems katalizatoriams siekė 0,72 %, 0,65 % ir 0,36 %.

### 3.4. Sudaryto modelio panaudojimas žematemperatūrių katalizatorių aktyvumo įvertinimui

Atrinkus du literatūroje rastus katalizatorius ir jų parametrus žematemperatūrei anglies monoksido konversijai, buvo atliekamas toks pats tyrimas „Aspen HYSYS“ sistemoje. Turimam modeliui buvo pritaikyti žematemperatūrio katalizatoriaus parametrai. Tūriniai medžiagų santykiai įtekančiame sraute palikti tokie patys kaip nagrinėjamoje technologinėje linijoje. Keičiami tik žematemperatūrio konvertoriaus katalizatoriaus parametrai. Tyrimo metu įvertintos ištekančio srauto temperatūros, konversijos laipsniai, CO, CO<sub>2</sub> ir H<sub>2</sub> koncentracijos sausose dujose. Tirtų katalizatorių aktyvumo parametrai pateikiami 3.12 lentelėje

**3.12 lentelė.** Žematemperatūrių katalizatorių aktyvumo parametrai

Katalizatorius	A konstanta	Ea, kJ/mol
ICI-CuO-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [26]	$3,99 \cdot 10^6$	52,8
Cu-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (EX-2248) [26]	$2,96 \cdot 10^6$	47,4

Gauti modeliavimo rezultatai pateikiami 3.13 lentelėje.

**3.13 lentelė.** Žematemperatūrės CO konversijos efektyvumas, esant skirtingam medžiagų balansui

Katalizatorius	CO kmol/h	CO <sub>2</sub> kmol/h	H <sub>2</sub> kmol/h	Konversijos laipsnis, %	KD temperatūra po konverterio, °C
Modelis	13	1517	5381	92,41	221,9
ICI-CuO-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [26]	2	1528	5393	99,01	223,1
Cu-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (EX-2248) [26]	5	1525	5390	97,06	222,7

Analizuojant tyrimo metu gautus duomenis 3.13 lentelėje, didžiausia aktyvumą turi ICI-CuO-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatorius. Naudojant tokį katalizatorių su modelyje esamomis sąlygomis konversijos laipsnis siekia 99,01 %. Lyginant su modeliu, konversijos laipsnis padidėja 6,6 %. Dėl egzoterminės reakcijos didėjant katalizatoriaus aktyvumui stebimas ištekančio srauto temperatūros didėjimas. Lyginant modelio ištekančio srauto KD temperatūra su modeliuojamu ICI-CuO-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatoriumi, ištekančio srauto temperatūra padidėja 1,2 °C. Taip pat buvo tiriama eksperimentinio EX-2248 katalizatoriaus įtaką konversijos laipsniui. Katalizinės reakcijos konversijos laipsnis lyginant su modeliu buvo didesnis 4,65 %, o ištekančio srauto temperatūros padidėjimas buvo tik 0,8 °C. Tiksliesniam konvertuotų dujų sudėties įvertinimui gauti rezultatai perskaičiuojami iš kmol/h į komponento % sausose dujose ir pateikiami 3.14 lentelėje.

**3.14 lentelė.** Procentinė komponentų dalis sausose dujose keičiant tik žematemperatūrį katalizatorių

Katalizatorius	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	H <sub>2</sub> , %
Modelis	0,15	17,36	61,59
ICI-CuO-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [26]	0,02	17,47	61,64
Cu-ZnO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (EX-2248) [26]	0,06	17,43	61,63

Pagal 3.14 lentelės duomenis vertinant žematemperatūros anglies monoksido konversijos katalizatorius, matoma, kad katalizatoriaus ICI-CuO-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [26] konversijos laipsniui esant 99,01 % CO ištekančiame dujų sraute lieka tik 0,02 %. Lyginant su modeliu, CO sumažėja 0,13 %. Vandens ištekančiame sraute padidėja 0,05 %. Naudojant eksperimentinį katalizatorių EX-2248, kurio konversijos laipsnis 97,06 % CO kiekis ištekančiame sraute lyginant su modeliu sumažėja 0,09 %, o H<sub>2</sub> padidėja 0,04 %.

Ištyrus galimų naudoti katalizatorių įtaką medžiagų balansui matoma, kad aukštatemperatūrei CO konversijai optimaliausia būtų naudoti FeCr (HT-23408) katalizatorių, anglies monoksido konversijos laipsnis pagerėtų 15,78 %, esant tam pačiam tūriui katalizatoriaus. Palikus senąjį žematemperatūrį katalizatorių, po CO konversijos, CO liktų 0,15 %, t.y. tiek pat kiek ir prieš modernizaciją. Toks sprendimas leistų sumažinti vandens garų kiekį reikalingą reakcijai, išlaikant tokią pačią dujų sudėtį. Sumažinus vandens garų kiekį, tiek, kad konversijos laipsnis po aukštatemperatūros CO konversijos išliktų toks pats, galima būtų sutaupyti gamtinių dujų, reikalingų vandens garų gamybai, dėl to technologija pagerėtų ir ekologine ir ekonomine prasme.

### 3.5. II-o laipsnio katilo utilizatoriaus aušinančios terpės medžiagų balansas

Kadangi anglies monoksido konversijos katalizinė reakcija yra egzoterminė ir didėjant anglies monoksido kiekiui įtekančiame sraute, ištekančio srauto temperatūra didėja, kol pasiekama reakcijos pusiausvyra. Dėl žematemperatūros CO konversijos reakcijos temperatūros būtinas tarpinis srautų aušinimas, šilumą utilizuojant gaminant vandens garus ir pašildant priešpriešinius srautus. Konvertuotų dujų mišinio ištekančio iš II-o laipsnio katilo utilizatoriaus srauto temperatūra priklauso nuo aušinančio maitinančio vandens kiekio į tarpvamzdinę katilo ertmę. Didėjant konvertuotų dujų temperatūrai po aukštatemperatūros CO konversijos, reikės didesnio kiekio aušinančio agento, norint išlaikyti temperatūrų balansą į žematemperatūros CO konversijos įrenginį. Atliekant tyrimą su skirtingais katalizatoriais, nustatytas II-o laipsnio katilo utilizatoriaus medžiagų balansas esant skirtingoms įtekančio srauto temperatūroms. Rezultatai pateikiami 3.15 lentelėje.

**3.15 lentelė.** II laipsnio katilo utilizatoriaus aušinančio agento medžiagų balansas

Katalizatorius	Aušinančio agento kiekis, m <sup>3</sup> /h	Aušinančio agento kiekis, kg/h	KD temp. į katilą, °C
Modelis	31050	23660	391,5
HT 40 % Ni [24]	36980	28190	406,2
FeCr (HT-23408) [25]	36390	27730	404,7
89 %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 9 %Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> [21]	34110	25990	399,1

Pagal 3.15 lentelėje gautus duomenis matoma, kad į katilą įtekančio srauto temperatūrai padidėjus 14,7 °C, aušinančio vandens į II laipsnio katilą utilizatorių reiktų 5930 m<sup>3</sup>/h (4530 kg/h) daugiau, nei modelyje. Jei temperatūra padidėtų 7,6 °C, tai aušinančio agento reiktų 3060 m<sup>3</sup>/h (2330 kg/h) daugiau. Pasirinkus FeCr HT-23408 katalizatorių, po kurio srauto temperatūrą padidėtų 13,2 °C, aušinančio agento reiktų 5340 m<sup>3</sup>/h (4070 kg/h) daugiau, nei modelyje. Kadangi tarpinis srauto aušinimas vyksta II-o laipsnio katile utilizatoriuje, kuriame gaminami vandens garai, panaudojant šiluminę energiją, vadinasi padidinus ištekančio srauto temperatūrą iš aukštatemperatūrio

konvertoriaus, galima būtų pagaminti nuo 2,3 iki 4,5 tūkst. kg. papildomų vandens garų, kurie leistų sutaupyti gamtinių dujų, kurios deginamos pagalbinio katilo pakuroje, gaminant vandens garus.

### 3.6. Vandens garų ir anglies monoksido santykio įtaka medžiagų ir šilumos balansui

Atlikus tiriamąją dalį su įvairiais aukštatemperatūros ir žematemperatūros anglies monoksido konversijos katalizatoriais, tolimesniems tyrimams pasirinkta pakeisti aukštatemperatūrį FeCr HT-23408 katalizatorių ir atlikti modeliavimą esant skirtingam dujų ir vandens garų tūriniam santykiui. Vandens garų ir konvertuotų dujų santykio sumažinimas leistų sutaupyti gamtinių dujų, reikalingų vandens garų gamybai. Technologija taptų ekonomiškesnė ir sumažėtų aplinkos tarša.

Konvertuotų dujų molinė sudėtis paliekama tokia pati kaip nagrinėjamoje technologinėje linijoje, keičiamas tik vandens garų santykis. Tyrimo metų buvo vertinama ištekantių srautų komponentų sudėtis tūrio procentais ir kmol/h, ištekancio srauto temperatūra. Gauti rezultatai pateikiami 3.16 lentelėje.

**3.16 lentelė.** Molinė konvertuotų dujų sudėtis esant skirtingam konvertuotų dujų – garų santykiui.

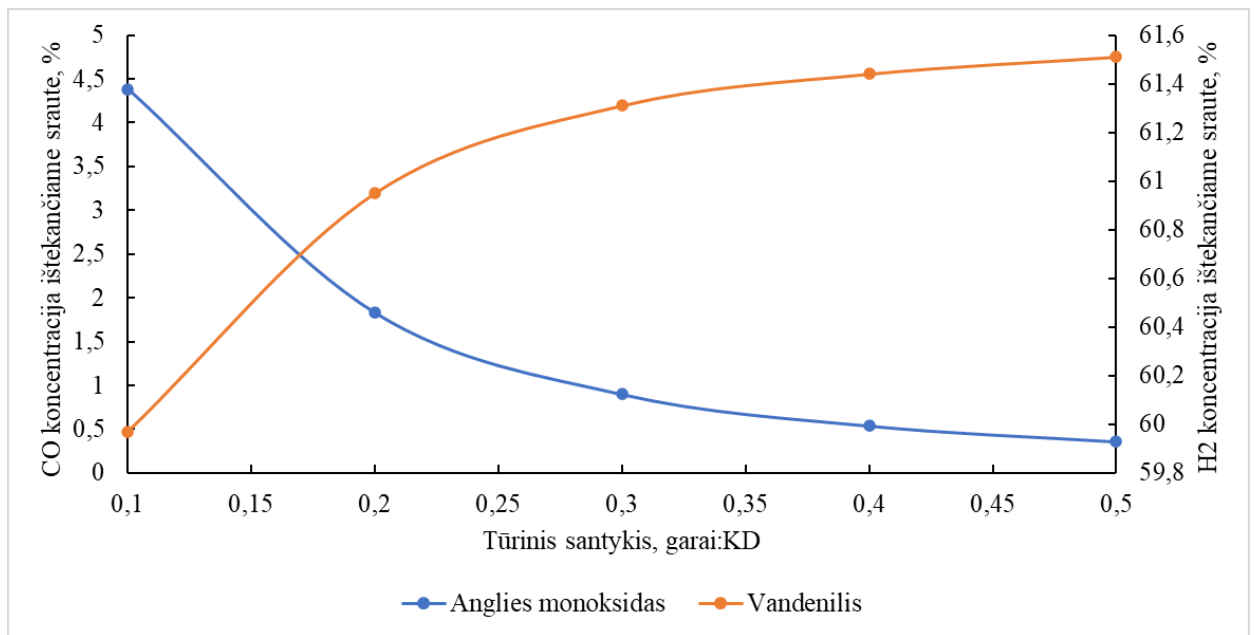
Molinė konvertuotų dujų sudėtis po aukštatemperatūros CO konversijos.					
Komponentas	CO, kmol/h	CO <sub>2</sub> , kmol/h	H <sub>2</sub> , kmol/h	N <sub>2</sub> , kmol/h	CH <sub>4</sub> , kmol/h
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,5	31	1498	5364	1775	51
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,4	47	1483	5348	1775	51
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,3	78	1452	5317	1775	51
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,2	157	1373	5238	1775	51
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,1	367	1163	5028	1775	51
Molinė konvertuotų dujų sudėtis po žematemperatūros CO konversijos.					
Komponentas	CO, kmol/h	CO <sub>2</sub> , kmol/h	H <sub>2</sub> , kmol/h	N <sub>2</sub> , kmol/h	CH <sub>4</sub> , kmol/h
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,5	2	1527	5392	1775	51
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,4	5	1524	5390	1775	51
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,3	14	1515	5381	1775	51
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,2	56	1473	5338	1775	51
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,1	265	1265	5130	1775	51

Gauti rezultatai perskaičiuojami iš kmol/h į komponento koncentracijas tūrio procentais sausose dujose ir pateikiami 3.17 lentelėje.

**3.17 lentelė.** Procentinė konvertuotų dujų sudėtis esant skirtingam konvertuotų dujų – garų santykiui

Procentinė sausų konvertuotų dujų sudėtis po aukštatemperatūros CO konversijos.					
Komponentas	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	H <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,5	0,36	17,18	61,51	20,36	0,58
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,4	0,54	17,04	61,44	20,39	0,59
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,3	0,90	16,74	61,31	20,47	0,59
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,2	1,83	15,98	60,95	20,66	0,59
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,1	4,38	13,87	59,97	21,17	0,61
Procentinė sausų konvertuotų dujų sudėtis po žematemperatūros CO konversijos.					
Komponentas	CO, %	CO <sub>2</sub> , %	H <sub>2</sub> , %	N <sub>2</sub> , %	CH <sub>4</sub> , %
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,5	0,03	17,46	61,64	20,29	0,58
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,4	0,06	17,43	61,63	20,30	0,58
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,3	0,17	17,35	61,59	20,32	0,58
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,2	0,65	16,95	61,40	20,42	0,59
KD:H <sub>2</sub> O santykis 0,1	3,12	14,91	60,45	20,92	0,60

Pagal duomenis gautus 3.17 lentelėje matoma, kad mažėjant vandens garų santykiui su konvertuotomis dujomis, anglies monoksido konversija prastėja. Geriausiai konversija vyksta esant KD:H<sub>2</sub>O tūriniam santykiui 1:0,5. Santykiui sumažėjus iki 1:0,1 smarkiai padidėja CO koncentracija ištekančiame sraute po aukštatemperatūros konversijos, suprastėja konversijos laipsnis, dėl vandens garų stygiaus taip pat suprastėja ir aukštatemperatūre konversija, po jos CO konvertuotose dujose lieka net 4,38 %. Norint išlaikyti galutinę konvertuotų dujų sudėtį panašią, kaip nagrinėjamoje technologinėje linijoje, vandens garų santykį su konvertuotomis dujomis galima būtų sumažinti iki 0,3. Taip būtų sutaupyta vandens garų, kurie reikalingi technologijai, taip pat sumažėtų gamtinių dujų poreikis sudeginimui, ir sumažėtų aplinkos tarša. Anglies monoksido kiekio priklausomybė nuo vandens garų santykio su konvertuotomis dujomis aukštatemperatūros CO konversijos reakcijai pateikiama 10 paveiksle.



**10 pav.** Aukštatemperatūrės reakcijos CO priklausomybė nuo vandens garų santykio su KD

Pagal pateiktą grafinę CO ir H<sub>2</sub> priklausomybę 10 paveiksle, matoma kad vandenilio kiekis po konversijos tiesiogiai priklauso nuo sureagavusio anglies monoksido kiekio. Smarkiai mažėjant tūriniam vandens garų ir konvertuotų dujų santykiui žemiau 0,3, smarkiai didėja anglies monoksido kiekis konvertuotose dujose.

Taigi pagal tyrimo metu gautus duomenis efektyviausia būtų vandens garų kiekį sumažinti iki 0,3. Pagal 9 lentelės duomenis, vandens garų debitas nuo 105000 Nm<sup>3</sup>/h (84390 kg/h) sumažėtų iki 56000 Nm<sup>3</sup>/h (45010 kg/h) kmol/h. Reiškia vandens garų gamyba galima būtų sumažinti 39380 kg/h.

Pagal atlikto tyrimo rezultatus galima suskaičiuoti gamtinių dujų sąnaudas gaminant 39380 kg/h garų. Norint apskaičiuoti sąnaudas reikia suskaičiuoti energijos kiekį reikalingą pagaminti 1 kg garų. Tam reikia vandens savitosios vidinės energijos  $U_f$  ir savitosios molinės garų entalpijos  $H_g$ . Jos randamos žinynuose, pagal slėgį 105 atm. Ir temperatūrą ~314 °C. Tuomet apskaičiuojama specifinė garavimo šilumos entalpija  $H_e$ .

$$\begin{aligned}
 U_f &= 2715 \text{ kJ/kg} \\
 H_g &= 1414 \text{ kJ/kg} \\
 H_e &= 2715 - 1414 = 1301 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Suskaičiuojamas energijos kiekis reikalingas pagaminti 39380 kg/h garų.

$$Q_{garų} = 1301 \cdot 39380 = 51233380 \text{ kJ/h} = 51,23 \text{ GJ/h} \tag{3.5}$$

Pagal žinynus surandamas metano degimo kalingumas, kuris lygus 50–55 MJ/kg arba 0,05–0,055 GJ/kg. Skaičiavimams imame kalingumo vidutinę vertę 0,0525 GJ/kg. Suskaičiuojama metano masė reikalinga degimui.

$$G_{CH_4} = \frac{51,23}{0,0525} = 975,81 \text{ kg/h} \tag{3.6}$$

Pagal metano tankį, kuris yra 0,657 kg/m<sup>3</sup> suskaičiuojame, kiek kubinių metrų dujų reikės sudeginti norint pagaminti 39380 kg/h garų.

$$V_{CH_4} = \frac{975,81}{0,657} = 1485 \text{ m}^3/\text{h} \tag{3.7}$$

Pagal atliktus skaičiavimus ir gautus rezultatus, sumažinus vandens garų santykį su konvertuotomis dujomis iki 0,3, galima sutaupyti 1485 m<sup>3</sup>/h gamtinių dujų.

## 4. INŽINERINĖ DALIS

### 4.1. Anglies monoksido konversijos technologinės schemos aprašymas

#### 4.1.1. Aukštatemperatūre anglies monoksido konversija

Katalizinė anglies monoksido konversija aukštatemperatūriame konverteryje vyksta ant geležies – chromo katalizatoriaus (1). Reakcijai naudojamas vandens garų perteklius įvestas pirmo laipsnio metano konversijos metu (I). Reakcija vyksta 360 – 450 °C temperatūroje. Po aukštatemperatūrio reaktoriaus, anglies monoksido konvertuotose dujose lieka ne daugiau kaip 4 %. Konvertuotos dujos po aukštatemperatūrio reaktoriaus tiekiamos į II-o laipsnio katilą utilizatorių (2), kuriame šiluma išnaudojama 10,5 MPa slėgio vandens garų gamybai (V–VI). Po katilo utilizatoriaus dujos patenka į šilumokaitį, kuriame likusi šiluma panaudojama konvertuotu dujų po CO<sub>2</sub> valymo šildymui (III), šios dujos yra tiekiamos į metanavimo skyrių (IV)

#### 4.1.2. Žematemperatūre anglies monoksido konversija

Konvertuotos dujos, atvėsintos katile utilizatoriuje ir šilumokaityje iki 190 – 230 °C temperatūros tiekiamos į žematemperatūrinį konverterį (4). Kuriame ant vario – cinko katalizatoriaus vyksta anglies monoksido konversija pagal šią reakciją:



Po žematemperatūres CO konversijos anglies monoksido kiekis konvertuotose dujose lieka ne daugiau kaip 0,65 %, o dujos įkaista iki 260 °C. Toliau dujos aušinamos iki 50–55 °C ir tiekiamos į CO<sub>2</sub> valymo skyrių (II). Ten konvertuotos dujos metildietanolamino (MDEA) vandeniniu tirpalu valomos nuo anglies dioksido.

#### 4.1.3. Šilumos utilizavimas technologinių srautų pašildymui

Anglies monoksido egzoterminės konversijos reakcijos metu susidariusi šiluma yra utilizuojama II-o laipsnio katile utilizatoriuje, po jo likusi šiluma panaudojama pašildant priešpriešinį srautą šilumokaityje. Priešpriešiniu srautu yra tiekiamas azoto – vandenilio mišinys po anglies dioksido valymo MDEA tirpalu technologinės linijos. Pašildytas srautas iki 312 °C, toliau tiekiamas į metanavimo skyrių.

#### 4.1.4. Vandens garų gamybos sistema

Deaerotas maitinantis vanduo, 102 °C temperatūros suspaudžiamas aukšto slėgio siurbliais iki 12 MPa. Tuomet vanduo pašildomas šilumokaičiuose ir tiekiamas į garo katilą, kuriame natūralios cirkuliacijos katiluose utilizatoriuose gaminami 10,5 MPa vandens garai. Iš garo katilo pasigaminę vandens garai patenka į garo perkaitinimo gyvatukus, kuriuose yra perkaitinami iki 490 °C. Gauti perkaitinti vandens garai tiekiami į sintezės dujų kompresoriaus turbiną. Atidirbusio garo dalis, slėgiu 3,8 – 4,05 MPa panaudojama metano konversijai ir kitoms turbinoms sukurti.

### 4.2. Technologiniai sprendimai

Pagrindinė anglies monoksido konversijos technologinės linijos problema, tai didelis vandens garų sunaudojimas reakcijai. Šių garų gamyba vyksta deginant gamtines dujas vamzdinėje krosnyje ir pagalbinio katilo pakuroje. Sumažinus vandens garų kiekį reikalinga anglies monoksido konversijai, galima būtų sutaupyti gamtinių dujų reikalingų sudeginimui.



### 4.3. Technologinė schema

Anglies monoksido konversijos projekto technologinės linijos schema pateikta Priede Nr.4, A1 formatu.

### 4.4. Statybiniai sprendimai

#### 4.4.1. Bendrieji duomenys

Modernizuojama anglies monoksido konversijos technologinė linija priklauso įmonei AB „Achema“ Gamykla įsikūrusi Jonalaukio kaime, Ruklos seniūnijoje, Jonavos rajone. Įmonė įsikūrusi šalia Neries ir Šventosios upių santakos. Šalia įmonės yra magistralinis kelias A6, kuris jungia Kauną ir Daugpilį. Įmonės teritorijoje taip pat yra geležinkelio transporto kelias.

Modernizuojamos technologinės linijos sklypo plotas – 0,515 ha. Sklypo teritorijoje taip pat išsidėsčiusios kitos technologinės linijos ir pagalbiniai pastatai. Į sklypo teritoriją yra įvažiavimas iš Azoto gatvės (vidinė įmonės gatvė). Ji yra išasfaltuota, su 2 metrų pločio trinkelėmis klotu šaligatviu. Sklype išklota asfalto danga. Aplink sklypą želdynų nenumatyta.

Trinkelėmis klotas šaligatvis sudaro 2 procentus, o rekonstruojama technologinė linija – 24 procentus sklypo ploto. Pagrindiniai rekonstruojamą statinį apibūdinantys rodikliai pateikti 4.1 lentelėje.

#### 4.1 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
	I. SKLYPAS		
1	1.1 Sklypo plotas	ha	0,515
	1.2 Statinio užimamas žemės plotas	m <sup>2</sup>	123,6
	1.3 Apželdintas žemės plotas (žalasis plotas)	m <sup>2</sup>	–
	1.4 Automobilio stovėjimo vietų skaičius	vnt.	–
	1.5 Sanitarinės (apsaugos) zonos plotis	m.	500

#### 4.4.2. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai

Modernizuojamoje technologinėje linijoje pagrindinės inžinerinės sistemos yra konvertuotos dujos po dvilaispės metano konversijos ir vanduo. Vanduo technologijoje naudojamas garų gamybos įrenginiams ir tarpiniam technologinių srautų aušinimui. Technologija yra didelio našumo, todėl sunaudojami dideli kiekiai vandens, kuris siurbliais tiekiamas iš Neries upės. Upės vanduo, patenka į cheminio vandens paruošimo skyrių, kur apdorojamas anijonitinais ir katijonitinais filtrais, ir tuomet tiekiamas į įmonės bendragamyklinį tinklą. Gamtinės dujos naudojamos technologijai gaunamos iš bendrovės tinklo. Pagrindinis gamtinių dujų tiekėjas – suskystintų gamtinių dujų laivas – saugykla „Independence“.

Pagrindiniai technologinės linijos įrenginiai – aukštatemperatūris anglies monoksido konvertorius, II-o laipsnio katilas – utilizatorius, šilumokaitis, žematemperatūris anglies monoksido konvertorius.

#### 4.4.3. Statinio architektūrinė ir konstrukcinė sandara

Modernizuojama anglies monoksido konversijos technologinė linija yra 25 m ilgio, 20 m pločio ir 20,35 m aukščio. Įrenginiai išdėstyti lauke, todėl naudojamas metalinis karkasas. Tokio pobūdžio technologinę liniją laikyti uždaroje patalpoje pavojinga dėl šių priežasčių:

- Dideli technologinių srautų slėgiai ( iki 105 atm.)
- Smarkiai įkaitę technologiniai įrenginiai
- Naudojamos sprogios ir degios dujos
- Esant uždujinimui didėja kenksmingų medžiagų koncentracija gryname ore

Pagrindiniai įrenginiai – aukštatemperatūris ir žematemperatūris konvertorius. Atstumas tarp įrenginių centrų 6,18 m. Įrenginiai pastatyti ant polinių pamatų. Prie pagrindinės įrangos yra įrengtos aikštelės atitinkamuose aukščiuose:

- Prie žematemperatūrio ir aukštatemperatūrio konvertoriaus 4,97 m. ir 11,84 m.
- Prie aukštatemperatūrio konvertoriaus 17,19 m.
- Prie žematemperatūrio konvertoriaus 18,5 m.

## **4.5. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai**

### **4.5.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė: ekonominių ir organizacinių problemų nustatymas**

Atliekant anglies monoksido konversijos technologinės linijos modernizacija, svarbu įvertinti ekonominę modernizuojamos dalies naudą. Modernizacija turi pagerinti ne tik aplinkosauginius rodiklius, bet ir būti ekonomiškai naudinga. Sudarant modernizacijos projektą sintetinio amoniako gamybos agregato, anglies monoksido konversijos linijai, atliekama glausta įmonės makroaplinkos, mikroaplinkos ir SSGG analizė.

Makroaplinkos analizė – tai įmonės išorinės aplinkos įvertinimas, kurį įtakoja tokie veiksniai, kaip demografiniai, ekonominiai, technologiniai, gamtos, sociokultūriniai ir valstybės reguliavimo veiksniai [37]. Modernizuojamos technologinės linijos svarbiausias išorinis veiksnys turintis didelę reikšmę produkto savikainai yra technologija. Kadangi tikslinis gamybos produktas yra amoniakas, o trąšų paklausa rinkoje vis didėja, amoniako gamybos agregato technologinis modernizavimas, turi didelę įtaka galutinei produkto kainai. Tobulėjant technologijoms, produkto gamybos savikaina mažėja, taip pat mažėja ir aplinkos tarša, bei aplinkos taršos leidimų mokesčiai.

Mikroaplinka – tai visuma išorinių jėgų, kurioms įmonė, siekdama savo tikslų, gali daryti įtaką [38]. Vienas iš svarbiausių veiksnių yra žaliavų tiekėjai, ir konkurencija tarp jų. Įmonė galėdama rinktis iš skirtingų žaliavos tiekėjų, gali gauti palankesnę žaliavų kainą ir taip sumažinti gaminamos produkcijos savikainą.

SSGG analizė atspindi stiprybes (ką organizacija yra pajėgi atlikti su savo ištekliais ir gebėjimais), silpnybes (įmonės trūkumai lyginant su konkurentais), galimybes (palankius išorinius veiksnius, pvz. teisės aktus) ir grėsmes (nepalankius išorinius veiksnius, kurie trukdo pasiekti tikslą) [39]. Viena iš įmonės stiprybių yra kvalifikuoti specialistai, galintys eksploatuoti pavojingą, sudėtingos technologijos gamybos agregatą. Atlikti remonto darbus, tam tikrus skaičiavimus, ir saugiai atlikti rutininius darbus.

Atlikus glaustą įmonės makroaplinkos, mikroaplinkos ir SSGG analizę, galima teigti, kad pagrindinė ekonominė modernizuojamo projekto problema yra efektyvumo didinimas ir gamybos kaštų mažinimas. Anglies monoksido konversijos technologinės linijos efektyvumas vertinamas, analizuojant patiriamas įmonės išlaidas iki linijos modernizacijos ir po jos modernizacijos. Efektyvumo didinimo problema susijusi su proceso reakcijos išeiga, norint pagaminti vandenilį iš anglies monoksido, reikalingas tam tikras vandens garų santykis su konvertuotomis dujomis. Tam, kad būtų pagaminti vandens garai, reikia sudeginti gamtines dujas, jos yra pagrindinė įmonės žaliava. Gamtinių dujų kaina yra pagrindinis faktorius lemiantis gamybos kainą. Pagal UAB „Ignitis“

duomenis, gamtinių dujų vartotojams suvartojantiems per metus daugiau, nei 20000 m<sup>3</sup> gamtinių dujų, dabartinė jų kaina lygi 0,26 €/m<sup>3</sup> [35]. Pagal 3.6 skyriuje pateiktų skaičiavimų rezultatus, atliekant rekonstrukciją sutaupoma išlaidų suma pateikta 4.2 lentelėje.

#### 4.2 lentelė. Sutaupomas gamtinių dujų kiekis po modernizacijos

Pavadinimas	Kiekis, m <sup>3</sup> /h	Kiekis, m <sup>3</sup> /metus	Vertė, mln. Eur.	
			Vieno m <sup>3</sup>	Visų
1	2	3	4	5 = 4 × 3
Gamtinės dujos	1485	13008600	0,00000026	3,3822
Viso:				3,3822

Technologijai linijai veikiant nepertraukiamu darbo režimu 365 dienas per metus, sutaupomas gamtinių dujų kiekis per metus lygus:

$$V_{CH_4} = 1485 \cdot 24 \cdot 365 = 13008600 m^3$$

Pagal atliktus skaičiavimus, atlikus projektuojamą modernizaciją, įmonė galėtų sutaupyti 3,38 mln. Eur. Tačiau šią prielaidą būtina pagrįsti finansiniais skaičiavimais. Kadangi skaičiavimai atliekami tik pakeičiant technologinės linijos parametrus, trumpalaikio turto vertė ir projekto investiciniai, ir finansavimo šaltiniai, bei ilgalaikio turto vertės skaičiavimai nebus atliekami.

#### 4.5.2. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinos pajamos

Anglies monoksido konversijos technologinės linijos, galutinis gamybos produktas yra amoniakas. Projektinis agregato našumas išlieka toks pats, todėl pagaminamo amoniako kiekis kiekvienais metais nekinta. Dėl to gamybos įsisavinimo koeficientas yra lygus vienetui. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinos pajamos pateikiamos 4.3 lentelėje.

#### 4.3 lentelė. Produkcijos gamybos apimtys ir gautinos pajamos

Rodikliai	Gamybos įsisavinimo koeficientas	Gaminys, t/metus	Iš viso, mln. Eur
<b>Prieš rekonstrukciją</b>			
Produkcijos gamybos (pardavimo) apimtis brandos stadijoje, vnt.	1	569400	-
Gaminio kaina, Eur		567,99	
Gautinos pajamos brandos stadijoje, mln. Eur	-	-	323,41
<b>Po rekonstrukcijos</b>			
Produkcijos gamybos (pardavimo) apimtis brandos stadijoje, vnt.	1	569400	-
Gaminio kaina, Eur		567,99	
Gautinos pajamos brandos stadijoje, mln. Eur	-	-	323,41

Atliekant anglies monoksido konversijos technologinės linijos modernizaciją, pagaminamas amoniako kiekis tiek iki linijos modernizacijos, tiek ir po jos, išlieka toks pat (5694000 t/m). Gaminamo amoniako kainą siekiama išlaikyti nepakitusia (567,99 Eur/t), gaunamųjų pajamų lygis bus 323,41 mln. Eur.

### 4.5.3. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Tiesioginius gamybos kaštus išlaidos tiesiogiai susijusios su gamybos procesu, t.y. išlaidos žaliavoms, darbo užmokesčiui, energijai. Šie kaštai kinta proporcingai gamybos apimčiai.

Išlaidos žaliavoms: pagrindinės žaliavos amoniako gamybai yra gamtinės dujos, oras ir vanduo. Kadangi oras gaunamas iš atmosferos, o vanduo iš upės, todėl vertinamos tik gamtinių dujų išlaidos. Išlaidos gamtinės dujoms pateiktos 4.4 lentelėje

**4.4 lentelė.** Išlaidos pagrindinei žaliavai

Medžiagos (žaliavos) pavadinimas	Gamybos planas, t/metus.	Medžiagų sunaudojimo norma gaminiui, natūriniais vienetais, m <sup>3</sup> /t amoniako	Medžiagos kaina, Eur/m <sup>3</sup> .	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>
<b>Prieš rekonstrukciją</b>						
Gamtinės dujos	569400	684,615	0,26	389820000	178	101,353
<b>Po rekonstrukcijos</b>						
Gamtinės dujos	569400	684,615	0,26	389820000	178	101,353

Amoniako įmonė pagamina apie 65 tonas per valandą, todėl gamybos planas metams lygus:

$$m_{NH_3} = 65 \cdot 24 \cdot 365 = 569400 \text{ t/metus}$$

Gamtinių dujų suvartojimas technologijai, pastoviai palaikomas apie 44000–45000 m<sup>3</sup>/h.

$$V_{CH_4} = 44500 \cdot 24 \cdot 365 = 389820000 \text{ m}^3/\text{metus}$$

Išlaidos pagrindinių gamybos darbininkų darbo užmokesčiui: iš viso įmonėje dirba 11 gamybos darbininkų, kurių valandinis tarifinis darbo užmokestis yra apie 7 Eur/h, tačiau su skatinamaisiais priedais jis padidėja iki 10,3 Eur/h. Darbuotojo mokami mokesčiai už gautas darbo pajamas sudaro 39,5 % darbo užmokesčio sumos. Darbdavys moka 1,77 % atlyginimo sumos socialiniam draudimui. Kadangi dirbama ištisus metus, todėl programos darbo imlumas lygus:

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

Išlaidos pagrindinių gamybos darbininkų darbo užmokesčiui pateiktos 4.5 lentelėje.

**4.5 lentelė.** Tiesioginės išlaidos darbininkų darbo užmokesčiui

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
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6=3x4x5</i>	<i>7=6x0,0177</i>
<b>Prieš rekonstrukciją</b>						
Amoniakas	569400	8,76	11	10,3	0,9925	0,0117
Viso suma:			-		1,0042	
<b>Po rekonstrukcijos</b>						
Amoniakas	569400	8,76	11	10,3	0,9925	0,0117
Viso suma:			-		1,0042	

Atlikus technologinės linijos modernizaciją pagrindinių darbininkų darbo užmokestis išlieka nepakitęs.

Išlaidos technologinių procesų energijai: įmonėje sunaudojamas didelis kiekis elektros energijos, kuri naudojama įrenginių darbui. Garų gamybos sistemai naudojami 4 dozatoriai ir 1 vandens siurblys, kurie sukami elektros varikliu. Išlaidos technologinių procesų energijai pateiktos 4.6 lentelėje.

**4.6 lentelė.** Tiesioginės išlaidos technologinių procesų energijai

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
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5=2x3x4</i>	<i>6</i>	<i>7=5x6</i>
<b>Prieš rekonstrukciją</b>						
Dozatoriai	4	12	8760	420480	0,101	0,042
Pagr. siurblys	1	442	8760	3871920	0,101	0,391
Iš viso:			-			0,433
<b>Po rekonstrukcijos</b>						
Dozatoriai	4	12	8760	420480	0,101	0,042
Pagr. siurblys	1	442	8760	3871920	0,101	0,391
Iš viso:						0,433

Remiantis UAB „Ignitis“ duomenimis, elektros energijos tarifas klientams, gaunantiems elektros energiją iš vidutinės įtampos elektros tinklų yra 0,101 Eur/kWh [36]. Po modernizacijos elektros energijos suvartojimas lieka nepakitęs.

Išlaidos šiluminei energijai: gamtinės dujos technologijai naudojamos ne tik amoniako gamybai, bet ir kaip kuras, jas deginant. Remiantis įmonės technologiniu reglamentu ir cecho duomenimis, gamtinių dujų sunaudojimas šiluminei energijai pateikiamas 4.7 lentelėje.

**4.7 lentelė.** Išlaidos šiluminei energijai

Energijos rūšis	Kiekis, m <sup>3</sup> /h	Kiekis, m <sup>3</sup> /metus	Vieno m <sup>3</sup> kaina, Eur	Išlaidos šiluminei energijai, mln. Eur
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3=2x24x365</i>	<i>4</i>	<i>5=3x4</i>
<b>Prieš rekonstrukciją</b>				
Gamtinės dujos	26500	232140000	0,26	60,35
<b>Po rekonstrukcijos</b>				
Gamtinės dujos	25015	219131400	0,26	56,97

Atlikus patiriamų išlaidų skaičiavimus šiluminei energijai, matoma kad iki anglies monoksido konversijos technologinės linijos modernizacijos, patiriamos išlaidos sudaro 60,35 mln. Eur. per metus, o po modernizacijos 56,97 mln. Eur. per metus. Atlikus modernizacija išlaidos šiluminei energijai sumažėtų 3,38 mln. Eur. per metus, t.y., 5,6 % išlaidų sumos. 4.8 lentelėje pateikiama apibendrinta tiesioginių gamybos kaštų informacijos suvestinė.

#### 4.8 lentelė. Tiesioginiai gamybos kaštai

Tiesioginiai gamybos kaštai	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos
	Suma, mln. Eur	
Išlaidos šiluminei energijai	60,35	56,97
Išlaidos technologinių procesų energijai	0,433	0,433
Pagrindinių darbininkų darbo užmokestis ir atskaitymai soc. draudimui	1,0042	1,0042
Išlaidos žaliavoms	101,353	101,353
Viso:	163,14	159,76

#### 4.5.4. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Netiesioginius gamybos kaštus sudaro su gamyba nesusijusios išlaidos, tokios kaip: cechų meistrų, viršininkų, sandėlininkų, valytojų darbo užmokestis, darbo įrankiai, medžiagos, energijos ir amortizacijos išlaidos, ir kt.. Netiesiogines gamybos išlaidas galima skaičiuoti sustambintai priimant, jog netiesioginiai gamybos kaštai sudaro 50 % tiesioginių gamybos kaštų. Netiesioginiai gamybos kaštais apskaičiuoti ir pateikiami 4.9 lentelėje:

Skaičiavimas atliekamas tiesioginių gamybos kaštų sumą padauginant iš 0,5.

#### 4.9 lentelė. Netiesioginiai gamybos kaštai

Netiesioginiai gamybos kaštai	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos
	Suma, mln. Eur	
Viso:	81,57	79,88

Prie netiesioginių gamybos kaštų priklauso amortizaciniai atskaitymai, tačiau jų skaičiavimai neatliekami, nes ekonominė nauda skaičiuojama tik atliekant gamtinių dujų, t.y. žaliavų sutaupymą. Apskaičiuotos gamybos išlaidos surašomos į gamybos kaštų suvestinę lentelę ir pateikiamos 4.10 lentelėje.

#### 4.10 lentelė. Gamybos kaštai

Kaštų rūšys	Gamybos kaštai, mln. Eur	
	Gaminys	
	Amoniakas	
<b>Prieš modernizaciją</b>		
Pagrindinės medžiagos (gamtinės dujos technologijai ir šiluminei energijai)	161,703	
Elektros energija technologijai	0,433	
Gamybos darbininkų užmokestis	0,9925	
Atskaitymai socialiniam ir sveikatos draudimui	0,0117	
Gamybinės netiesioginės išlaidos	81,57	
Iš viso gamybos kaštų, mln. Eur	244,71	
Produkcijos gamybos planas, t/metus	569400	
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	429,77	
<b>Po modernizacijos</b>		
Pagrindinės medžiagos (gamtinės dujos technologijai ir šiluminei energijai)	158,323	
Elektros energija technologijai	0,433	

Gamybos darbininkų užmokestis	0,9925
Atskaitymai socialiniam ir sveikatos draudimui	0,0117
Gamybinės netiesioginės išlaidos	79,88
Iš viso gamybos kaštų, mln. Eur	239,64
Produkcijos gamybos planas, t/metus	569400
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	420,86

Pagal 4.10 lentelėje pateiktus skaičiavimus matoma, kad iki modernizacijos iš viso gamybos kaštų išlaidos siekia 244,71 mln. Eur. Per metus, o atlikus modernizaciją išlaidos sumažėtų iki 239,64 mln. Eur. Per metus. Gamybos kaina per metus sumažėtų 2,07 %, tai leistų sutaupyti 5,07 mln. Eur per metus.

#### 4.5.5. Veiklos kaštai

Veiklos kaštų išlaidas sudaro patalpų išlaikymas, šildymo, apšvietimo, vandens išlaidos, taip pat įvairios mokesstinės prievolės, papildomi pastatų aptarnaujančių darbuotojų darbo užmokestis ir kt. Tam, kad būtų galim suskaičiuoti šiuos kaštus, reikia remtis faktiniais įmonės duomenimis, arba priimti, jog jie sudaro nuo 5 iki 30 procentų gamybos kaštų. Veiklos kaštai priimami, jog sudaro 18 % gamybos kaštų:

$$n_{\text{veiklos}}(\text{iki modernizacijos}) = 0,18 \cdot n_{\text{gamybos}} \quad (4.2)$$

$$n_{\text{veiklos}}(\text{iki modernizacijos}) = 0,18 \cdot 244,71 = 44,05 \text{ mln. eur. per metus}$$

$$n_{\text{veiklos}}(\text{po modernizacijos}) = 0,18 \cdot 239,64 = 43,14 \text{ mln. eur. per metus}$$

#### 4.11 lentelė. Veiklos kaštai

Kaštų rūšis	Suma, mln. Eur
Prieš modernizaciją	
Veiklos kaštai	44,05
Po modernizacijos	
Veiklos kaštai	43,14

Pagal 4.11 lentelėje apskaičiuotus veiklos kaštus matyti, kad po technologinės linijos modernizacijos veiklos kaštų išlaidos sumažėtų 0,91 mln. Eur. per metus. Finansinės ir investicinės sąnaudos neskaičiuojamos, nes modernizacijai nereikalinga nauja įranga.

#### 4.5.6. Gaminio kainos skaičiavimas

Apskaičiavus gamybos ir veiklos kaštus, nustatoma gaminių kaina. Pilnoji savikaina randama sudėjus gamybinę savikainą, veiklos sąnaudas ir investicinės veiklos sąnaudas. Kadangi rentabilumo vertė neturi būti mažesnė, nei 5 %, priimama, kad ji yra 12 % gaminiui prieš modernizaciją. Po modernizacijos priimamas 14,5 % rentabilumas, norint išlaikyti panašų pajamų lygį. Apskaičiuoti rezultatai pateikiami 4.12 lentelėje.

#### 4.12 lentelė. Gaminio kaina

Gaminys	Gamybinė savikaina, Eur	Veiklos sąnaudos, Eur	Investicinės veiklos sąnaudos, Eur	Pilnoji savikaina, Eur	Pelnas		Viso
					Rentabilumo procentas	Eur/vnt.	Eur/vnt.
Prieš modernizaciją							
Amoniakas	429,77	77,36	-	507,13	12	60,86	567,99
Po modernizacijos							
Amoniakas	420,86	75,75	-	496,61	14,5	72,01	568,62

Veiklos sąnaudos gaminiui sudaro veiklos kaštų bendrą sumą padalinus iš produkcijos gamybos plano:

$$n_{veiklos} = \frac{44050000}{569400} = 76,36 \text{ eur}$$

#### 4.5.7. Projekto pelnas ir grynujų pinigų sratai

Projekto pelno ir grynujų pinigų srautų skaičiavimo dalyje pateikiama pelno (nuostolio) ataskaita ir apskaičiuoti grynujų pinigų sratai. Jie vertinami prieš ir po rekonstrukcijos ir pateikiami 4.13 lentelėje.

#### 4.13 lentelė. Įmonės projekto pelno (nuostolių) ataskaita

Rodiklis	Prieš modernizaciją	Po modernizacijos
	Suma, mln. Eur	
1. Pardavimo apimtis	323,92	323,92
2. Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	244,71	239,64
3. Bendrasis pelnas (nuostolis)	79,21	84,28
4. Veiklos sąnaudos	44,05	43,14
5. Veiklos pelnas (nuostoliai)	35,16	41,14
6. Finansinė ir investicinė veikla:		
a. Pajamos	-	-
b. Sąnaudos	-	-
7. Pelnas (nuostoliai) prieš apmokestinimą	35,16	41,14
8. Pelno mokestis	5,27	6,17
9. Grynasis pelnas (nuostoliai)	29,89	34,97

Bendrasis pelnas (nuostolis) apskaičiuojamas iš pardavimo apimties atimant parduodamos produkcijos gamybos kaštus, o veiklos pelnas (nuostoliai) – iš bendrojo pelno (nuostolio) atimant veiklos sąnaudas. Pelno mokestis sudaro 15 %. Pagal atliktus skaičiavimus ir 4.13 lentelės duomenis matyti, kad gaunamas papildomas 5,08 mln. Eur. pelnas.

#### 4.5.8. Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas rekonstrukcijos (modernizacijos) atveju

Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimuose modernizacijos atveju įvertinamos sąnaudos gaminio vienetai pagaminti prieš ir po rekonstrukcijos, ir kokią papildomą pelną įgyvendinus projektinius sprendimus, įmonė gavo. Energijos išlaidos įvertintos kaip suminis elektros ir šiluminės energijos dydis. Bazinė gamybos apimtis sutampa su projekte numatytu kiekiu. Rezultatai pateikti 4.14 lentelėje.



**4.14 lentelė. Šanaudų pasikeitimas, įgyvendinus projektą**

Šanaudų rūšis	Išlaidos/šnaudos prieš rekonstrukciją		Išlaidos/šnaudos po rekonstrukcijos		Išlaidų/šanaudų pokytis gaminio vienetui, Eur/t.
	Iš viso šanaudų, mln. Eur	Šnaudos, tenkančios produkcijos vienetui, Eur/t.	Iš viso šanaudų, mln. Eur	Šnaudos, tenkančios produkcijos vienetui, Eur/t.	
Išlaidos pagrindinėms medžiagoms	161,703	283,99	158,323	278,05	5,94
Išlaidos pagalbinėms medžiagoms	81,57	143,26	79,88	140,29	2,97
Energijos išlaidos (elektros ir šiluminė)	60,783	106,75	57,403	100,81	5,94
Amortizacija	-	-	-	-	-
Darbo užmokesčio išlaidos	0,9925	1,74	0,9925	1,74	0
Soc. draudimo išlaidos	0,0117	0,02	0,0117	0,02	0
Bazinė gamybos apimtis, t			569400		
Gamybos apimtis projekte, t			569400		
Iš viso išlaidų ekonomija gaminio vienetui (be amortizacijos), Eur/t.				14,85	
Iš viso išlaidų ekonomija (nuostoliai), mln. Eur				8,456	

Pagal 4.14 lentelės rezultatus, atlikus anglies monoksido konversijos technologinės linijos modernizavimą, išlaidų sumą vienetai gaminio sumažėtų 14,85 Eur/t., o gautas papildomas pelnas po modernizacijos sudarytu 8,456 mln. Eur. Taigi atlikti tokio tipo modernizaciją, įmonei būtų naudinga.

#### 4.15 lentelė. Projekto grynujų pinigų srautų skaičiavimas

Metai	2021	2022	2023	2024	2025	2026
	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos				
Pardavimo kiekis, t	0	1	2	3	4	5
	569400	569400	569400	569400	569400	569400
Pardavimo kaina, Eur/t	567,99	568,62	591,36	615,02	639,62	662,20
Pajamos, mln. Eur	323,41	323,77	336,72	350,19	362,49	377,05
Gamybinė savikaina, Eur/t	507,13	496,61	516,47	537,13	558,62	580,96
Gamybiniai kaštai, mln. Eur	244,71	239,64	249,23	259,19	269,56	280,34
Bendrasis pelnas, mln. Eur	79,21	84,28	87,49	91,00	94,64	98,43
Veiklos kaštai, mln. Eur	44,05	43,14	44,87	46,66	48,53	50,47
Veiklos pelnas, mln. Eur	35,16	41,14	42,62	44,34	46,11	47,95
Finansinės ir investicinės veiklos kaštai, mln. Eur	-	-	-	-	-	-
Pelnas prieš apmokestinimą, mln. Eur	35,16	41,14	42,62	44,34	46,11	47,95
Pelno mokestis, mln. Eur	5,27	6,17	6,39	6,65	6,92	7,19
Grynasis pelnas, mln. Eur	29,89	34,97	36,23	37,69	39,19	40,76
Efektyvumas	0,1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Efektas	-258,9	-247,8	-257,9	-268,2	-278,9	-290,1
Atsargos, mln. Eur	-	32,38	33,67	35,2	36,25	37,71
Pirkėjų skolos, mln. Eur	-	48,57	50,51	52,53	54,37	56,56
Skolos tiekėjams, mln. Eur	-	14,38	14,95	15,55	16,17	16,82
Apyvartinis kapitalas, mln. Eur	-	66,57	69,23	72,18	74,45	77,45
Apyvartinio kapitalo pokytis, mln. Eur	-	66,57	2,66	2,95	2,27	3
Grynasis pelnas, mln. Eur	-	34,97	36,23	37,69	39,19	40,76
Nusidėvėjimas, mln. Eur	-	-	-	-	-	-
Projekto pagrindinės veiklos pinigų srautai, mln. Eur	-	31,6	33,57	34,74	36,92	37,76
Investicijos, mln. Eur	-	-	-	-	-	-
Likutinė vertė, mln. Eur	-	-	-	-	-	-
Projekto grynasis pinigų srautas, mln. Eur	-	31,6	33,57	34,74	36,92	37,76
Suminis grynasis pinigų srautas, mln. Eur	-	-	1,97	1,17	3,35	0,84

Atliekant ekonominius skaičiavimus priimam, kad pardavimo kaina, gamybinė savikaina veiklos kaštai kasmet didėja po 4 %, atsargų vertė sudaro 10 % pardavimų pajamų vertės, pirkėjų skolų vertė sudaro 15 % pardavimų pajamų vertės, o skolų tiekėjams vertė sudaro 6 % gamybinių kaštų vertės. Apibendrinant sudarytą 4.15 lentelę, investicijos gamybos modernizavimui atsipirktų jau pirmaisiais metais.

#### 4.5.9. Investicijų efektyvumo vertinimas

Efektyvumas tai yra pagrindinis kriterijus vertinant investicinius projektus, kuriam nustatyti 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

Efektyvumas ir efektas apskaičiuojami pagal žemiau pateiktą formulę:

$$\text{Efektyvumas} = \frac{\text{rezultatai}}{\text{sąnaudos}} = \frac{\text{grynasis pelnas}}{\text{gamybiniai kaštai} + \text{veiklos kaštai}} = \frac{29,89}{244,71 + 44,05} = 0,1$$

$$\text{Efektas} = \text{grynasis pelnas} - (\text{gamybiniai kaštai} + \text{veiklos kaštai}) = 29,89 - (244,71 + 44,05) = -258,9$$

Efektyvumas, tai išteklių panaudojimo veiksmingumas, kai norimas rezultatas pasiekiamas mažiausiomis įmanomomis sąnaudomis arba naudojant turimus išteklius pasiekiamas maksimalus įmanomas rezultatas.

Efektas parodo gauto grynojo pelno naudą gamybinių ir veiklos kaštų atžvilgiu.

#### 4.16 lentelė. Efektyvumo ir efekto skaičiavimas

Metai	2021	2022	2023	2024	2025	2026
	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos				
Efektyvumas	0,1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
Efektas	-258,9	-247,8	-257,9	-268,2	-278,9	-290,1

Pagal 4.16 lentelės rezultatus, gamybos efektyvumas padidės 0,02 vieneto, vadinasi sutaupius gamtinių dujų, tas pats gamybos efektyvumas bus pasiektas panaudojus mažesnes sąnaudas ir efektyvumo vertė padidės. Pirmaisiais ir antraisiais metais sumažėjęs efektas rodo, kad pirmuosius du metus toks sąnaudų mažinimas būtų efektyvus, tačiau toliau didėjant gamybinėms išlaidoms, gautos grynosios pajamos nekompensuos išlaidų ir gamyba taps nuostolingesnė.

Vidutinių svertinių kapitalo kaštų ir vidinės pelno normos skaičiavimai neatliekami, nes skaičiavimai buvo atliekami tik technologinio režimo pakeitimams, t.y. sąnaudų mažinimui. Taip pat neskaičiuojamas pelningumo arba rentabilumo indeksas.

#### 4.5.10. Lūžio taško skaičiavimas

Lūžio taško skaičiavimas yra vienas iš investicijų efektyvumo vertinimo kriterijų. Jis parodo, kokį kiekį produkcijos reikia pagaminti ir parduoti, kad įmonės veikla būtų pelninga.

Gaminio pastovieji kaštai yra lygūs veiklos kaštams. PK = 43,14 mln. Eur.

Lūžio taškas randamas pagal lygtį:

$$B_{Lj} = \frac{PK}{c_j - kk_j} = \frac{43,14 \cdot 10^6}{567,99 - 420,86} = 293210t$$

čia  $B_{Lj}$  – j – ojo gaminio pardavimo apimtis lūžio taške, t.;  $c_j$  – j – ojo gaminio tonos kaina, Eur;  $kk_j$  – j – ojo gaminio tonos kintamieji kaštai, Eur.

Atlikus skaičiavimus, rezultatai pateikiami 4.17 lentelėje.

#### 4.17 lentelė. Lūžio taško skaičiavimas

Rodikliai	Amoniakas
Pastoviųjų kaštų suma, mln. Eur	43,14
Gaminio kaina, Eur	567,99
Gaminio kintamieji kaštai, Eur	420,86
Lūžio taškas, t./metus	293210
Pardavimo planas, t./metus	569400

Pagal atliktus skaičiavimus, amoniako pardavimo lūžio taškas pasiekiamas pardavus 246520 tonas amoniako, tai yra 51,5 % pardavimo plano.

#### 4.5.11. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai: pelno, darbo, našumo, produkcijos ir kapitalo rentabilumo rodikliai. Jie randami:

$$R_{prod} = \frac{(P \cdot 100)}{(GK + VS)} = \frac{41,14 \cdot 100}{239,64 + 43,14} = 14,55 \%$$

$$R_{ap} = \frac{(P \cdot 100)}{B_{pard}} = \frac{41,14 \cdot 100}{323,92} = 12,7 \%$$

$$R_k = \frac{(P \cdot 100)}{(PF + AL)} = \frac{41,14 \cdot 100}{0 + 66,57} = 61,8 \%$$

čia GK ir VS – atitinkamai: parduodamos produkcijos gamybos kaštai ir veiklos sąnaudos, mln. Eur;  $B_{pard}$  – pardavimo apimtis, mln. Eur; PF ir AL – atitinkamai: pagrindinių priemonių ir apyvartinių lėšų vertė, mln. Eur. Apibendrinti rezultatai pateikti 1.1 lentelėje.

Apibendrinant finansinius ir ekonominius skaičiavimus, atlikus anglies monoksido konversijos technologinės linijos modernizaciją, ir sumažinus vandens garų kiekį reikalinga technologijai, galima daryti išvadą, kad sumažėjus gamtinių dujų kiekiui, pirmaisiais metais po modernizacijos, gamybos kaštų gamtinių dujų suvartojimui, bus patiriama 5,07 mln. Eur mažiau, vadinasi grynojo pelno įmonė gaus tiek pat, kiek sutaupys mažindama sąnaudas gamybos technologiniam procesui.

#### 4.6. Aplinkosauginis vertinimas

##### 4.6.1. Bendrieji duomenys

Anglies monoksido konversijos tikslas konvertuoti anglies monoksidą esantį sintezės dujų mišinyje ir padidinant vandenilio kiekį sintezės dujose, ir pašalinti CO, kuris yra nuodas amoniako sintezės katalizatoriui. Technologinės linijos našumas pagal vandenilį 16092,12 t/m. Duomenys apie pagaminama produkciją pateikti 4.18 lentelėje.

**4.18 lentelė.** Duomenys apie gaminius (produkcija)

Pavadinimas (asortimentas)	Mato vnt., t, m <sup>3</sup> , vnt. ir kt.	Kiekis per metus
1	2	3
Vandenilio dujos aukštatemperatūriame CO konverteryje	t	15531,48
Vandenilio dujos žematemperatūriame CO konverteryje	t	560,64
Σ		16092,12

Prieš anglies monoksido konversiją esančiame technologiniame skyriuje, dviejų laipsnių metano konversijai naudojamos gamtinės dujos, kurios taip pat sunaudojamos deginimui, reikalingam šilumos kiekiui vykti metano konversijos reakcijai. Šiluminė energija gaunama katiluose utilizatoriuose, utilizuojant šilumą, elektros energija gaunama iš kogeneracinės jėgainės. Energetinių ir technologinių išteklių balansas pateikiamas 4.19 lentelėje.

**4.19 lentelė.** Kuro ir energijos vartojimas

Energetiniai ir technologiniai ištekliai	Matavimo vnt., t, m <sup>3</sup> , kWh	Sunaudojamas kiekis per metus	Išteklių gavimo šaltiniai
Elektros energija	MW	551,88	Kogeneracinė jėgainė
Šiluminė energija	MJ	835441200	Katilai utilizatoriai
Gamtinės dujos technologijai	m <sup>3</sup> ·10 <sup>6</sup>	394,2	Įmonės tinklas
Gamtinės dujos naudojamos sudeginimui	m <sup>3</sup> ·10 <sup>6</sup>	245,28	Įmonės tinklas

Į gamybos cechą tiekiamų gamtinių dujų sudėtis:

CH<sub>4</sub> – 95,552 %

C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> – 2 %

C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> – 0,478 %

C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> ir aukštesni – 0,15

N<sub>2</sub> – 1,82 %

Sieros junginių – 0,000237 g/m<sup>3</sup>

Duomenys apie suvartojamą žaliavos kiekį ir žaliavos klasifikavimas pateiktas 4.20 lentelėje.

**4.20 lentelė.** Duomenys apie naudojamas žaliavas, chemines medžiagas ar preparatus

Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Kiekis per metus	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklavimas		
		kategorija	pavojaus nuoroda	rizikos frazės
1	2	3	4	5
Gamtinės dujos	639,48 · 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	Labai degi	Labai degi	R7, R11, R18

#### 4.6.2. Atliekos

Gamtinių dujų konversijos į vandenilį procesas vyksta naudojant katalizatorius. Kadangi kiekvienoje proceso stadijoje naudojami katalizatoriai, o reaktorių tūriai dideli, susidaro dideli panaudotų katalizatorių kiekiai, kurie turi būti tvarkomi pagal nustatytus teisės aktus. Susidarančios atliekos technologinio proceso metu pateiktos 4.21 lentelėje

**4.21 lentelė.** Atliekos, atliekų tvarkymas

Technologinis procesas	Atliekos						Atliekų saugojimas objekte		Numatomi atliekų tvarkymo būdai
	pavadinimas	kiekis		agregatinis būvis	kodas pagal atliekų sąrašą	pavojingumas	laikymo sąlygos	didžiausias kiekis	
		t/d	t/m						
Anglies monoksido konversija	Aukštatemperatūrės CO konversijos katalizatorius	0,053	19,35	kietas	16 08 02	Nepavojingos	Atliekų aikštelė	196,8	D5,R8,S4,S8
	Žematemperatūrės CO konversijos katalizatorius	0,031	11,25	kietas					

#### 4.6.3. Aplinkos oro tarša

Aplinkos oro taršos duomenys, deginant gamtines dujas technologiniams procesams pateikti 4.22 ir 4.23 lentelėse.

**4.22 lentelė.** Stacionarių taršos šaltinių fiziniai duomenys

Taršos šaltiniai					Išmetamų dujų rodikliai			Teršalų išmetimo trukmė, val/m
pavadinimas	Nr.	koordinatės	aukštis, m	išmetimo angos matmenys, m	srauto greitis, m/s	temperatūra, °C	tūrio debitas Nm <sup>3</sup> /s	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kaminas	1	x-6105846; y-521616	40,0	4	9,3	200	116,6	8760

**4.23 lentelė. Tarša į aplinkos orą**

Veiklos rūšis	Cecho ar kitų pavadinimas, gamybos rūšies pavadinimas	Taršos šaltiniai		Teršalai		Esama tarša				Numatoma tarša													
		pavadinimas	Nr.											pavadinimas	kodas	vienkartinis dydis			metinė t/m	vienkartinis dydis			metinė t/m
																vnt.	vidut.	maks.		vnt.	vidut.	maks.	
		0315	Dviejų laipsnių metano konversija ir pagalbinis katilas	Kaminas	1	Azoto oksidai	6044	g/s	-	-	293,46	g/s	-	-	146,76								
Anglies monoksidas	6069					g/s	-	-	122,64	g/s	-	-	122,64										
Amoniakas	134					g/s	-	-	16,336	g/s	-	-	16,336										
Sieros dioksidas	6051					g/s	-	-	7,011	g/s	-	-	7,011										
						Iš viso pagal veiklos rūšį:		619,587	Iš viso pagal veiklos rūšį:			454,6											

CO konversijai reikalingas anglies monoksidas gaunamas metano konversijos metu, o papildomi vandens garai gaunami deginant gamtines dujas pagalbinio katilo pakuroje. Pirmo laipsnio metano konversijos reakcijos vyksmui reikalinga šiluma, gaunama deginant gamtines dujas vamzdinės krosnies pakuroje.

Sudegus gamtinėms dujoms, susidariusios dūminės dujos iš pakuros ištraukiamos ventiliatoriais. Dūmuose yra azoto oksidų ir anglies monoksido, kurie yra aplinkos teršalai.

Pagal AB „Achema“ amoniako cecho Nr.1 technologinį reglamentą tūrinis teršalų debitas:

$$C_{NO_x} = 33,5 \text{ mg/m}^3$$

$$C_{CO} = 14,0 \text{ mg/m}^3$$

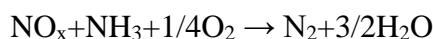
$$V_{dūminių \text{ dujų}} = 240000 \text{ m}^3/\text{h}$$

Teršalų kiekis susidarantis per metus:

$$m_{NO_x} = C_{NO_x} \cdot V_{dūminių \text{ dujų}} \cdot 365 = 0,000335 \cdot 240000 \cdot 365 = 293,46 \text{ t/metus}$$

$$m_{CO} = C_{CO} \cdot V_{dūminių \text{ dujų}} \cdot 365 = 14,63 \cdot 240000 \cdot 365 = 122,64 \text{ t/metus}$$

Azoto oksidų redukcijai naudojamas homogeninis dujų valymas garais ir dujiniu amoniaku. Per vamzdinės krosnies ŠPAB dalyje esančius zondus į dūmines dujas įdozuojamas garų ir amoniako mišinys. Vyksta sekanti reakcija:



Išmetamų teršalų kiekis į aplinką pagal 4.24 lentelę sumažėja 146,7 t/m., tai yra per pusę.

**4.24 lentelė.** Išmetamųjų dujų valymo įrenginiai ir kitos taršos prevencijos priemonės

Taršos šaltinio Nr.	Valymo įrenginiai		Teršalai		Prieš valymą		Po valymo		Valymo efektyvumas, %
	Pavadinimas	kodas	Pavadinimas	kodas	vidut. vienk.	t/metus	vidut. vienk.	t/metus	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Kiti įrenginiai (homogeninis dūminių dujų valymo įrenginys naudojant dujinį amoniaką)	90	Azoto oksidai	6044	-	293,46	-	146,73	50

#### 4.6.4. Naudojamo vandens balansas

Kadangi technologinio proceso metu naudojamas didelis kiekis vandens, jo balansas pateikiamas 4.25 lentelėje.

**4.25 lentelė.** Naudojamo vandens balansas

Vandens tiekimo (gavybos) šaltinis	Vandens naudojimo sritys (tikslai)	Didžiausias paros debitas m <sup>3</sup> /d	Vidutinis metinis kiekis, m <sup>3</sup>	Taupymo ir apsaugos priemonės
1	2	3	4	5
Neries upė	Vandens garų gamybos sistema	8160	2978400	Vandens grįžtamasis ciklas

Vandens gavyba atliekama vandens paruošimo skyriuje, jame katijonitinais ir anijonitinais filtrais vanduo paruošiamas vandens garų gamybos sistemai. Valandinis vandens suvartojimo debitas yra apie 340 m<sup>3</sup>. Norint efektyviai naudoti vandenį ir gerinti aplinkosauginius rodiklius, dalis drėgmės iš konvertuotų dujų yra atskiriama separatoriais. Gautas dujinis kondensatas distiliuojamas procesinio kondensato technologinėje linijoje. Distiliavimo metu susidaranti dujos yra sudeginamos vamzdinėje krosnyje, papildomai gaunant šilumą, o procesinis kondensatas po distiliacijos yra tiekiamas atgal į vandens paruošimo skyrių, kur yra dar kartą išvalomas nuo galimų priemaišų ir siurbliais tiekiamas į vandens garų gamybos sistemą. Dėl tokio technologijos pasirinkimo nesusidaro į aplinką išleidžiamų nuotekų ir teršalų.



## 5. DARBUOTOJŲ SAUGA IR SVEIKATA

### 5.1. Projektuojamo objekto charakteristika

Proceso modernizacija atliekama dviejų laipsnių anglies monoksido konversijos linijai, kuri skirta konvertuoti CO į H<sub>2</sub> ir CO<sub>2</sub>. Šioje linijoje taip pat vykdomas tarpinis dujų aušinimas, šilumą panaudojant aukštų parametrų garų gamybai, bei priešpriešinio srauto pašildymui šilumokaityje. Technologinio proceso metu, anglies monoksidas reaguodamas su vandens garais sudaro vandenilį ir anglies dioksidą. Ši proceso stadiją svarbi norint užtikrinti sklandų amoniako sintezės katalizatoriaus darbą ir ilgaamžiškumą. Medžiagos kurios naudojamos įmonės technologiniuose procesuose: dejonizuotas vanduo, oras, gamtinės dujos, trinatrio ortofosfatas, hidrazino hidrato tirpalas. Anglies monoksido konversijos technologinio proceso metu, nesusidaro pavojingų atliekai išmetamųjų dujų. Tačiau susidaro dideli, panaudoto katalizatoriaus kiekiai, kurie turi būti perduoti atliekų tvarkytojams. Panaudoto katalizatoriaus sudėtyje yra aplinkai, bei žmonėms pavojingų, kenksmingų medžiagų. Anglies monoksido konversija vandens garais pavojinga dėl:

- Vamzdynuose esančių dujų, kurios su oru sudaro sprogius ir degius mišinius
- Procesui naudojami katalizatoriai savo sudėtyje turintys kenksmingų medžiagų (CuO, ZnO, FeO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cs<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
- Proceso metu išskiriama aukšta temperatūra gali siekti iki 450 °C
- Didelio našumo technologinių srautų sukeliamas triukšmas
- Turbulentinių srautų sukeliama vibracija
- Didelio akustinio triukšmo

Remiantis Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymo 2 priedu, sanitarinės zonos riba yra 500 m.[33]

### 5.2. Profesinės rizikos vertinimas

Profesinės rizikos vertinimo tikslas yra nustatyti ir įvertinti esamą ar galimą profesinę riziką, ją pašalinti arba numatyti, ir įdiegti jos prevencijos ar mažinimo priemonės. Rizikos veiksniai, jų prevencijos priemonės ir ribiniai dydžiai pateikti 5.1 lentelėje.

5.1 lentelė. Rizikos veiksniai, jų ribiniai dydžiai ir prevencijos priemonės [28]

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.	Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis	Prevencinės priemonės
<b>Cheminiai veiksniai</b>					
Amoniakas	Technologiniai įrengimai	20 mg/m <sup>3</sup>	IPRD – 14 mg/m <sup>3</sup>	480	Izoliuojanti dujokaukė
Anglies monoksidas	Technologiniai įrengimai	55 mg/m <sup>3</sup>	IPRD – 40 mg/m <sup>3</sup>	480	Filtruojanti dujokaukė
Anglies dioksidas	Technologiniai įrengimai	120 mg/m <sup>3</sup>	IPRD – 9000 mg/m <sup>3</sup>	480	Izoliuojanti dujokaukė
Vandenilis	Technologiniai įrengimai	-	-	480	Izoliuojanti dujokaukė
Metanas	Technologiniai įrengimai	480 mg/m <sup>3</sup>	300 mg/m <sup>3</sup>	480	Izoliuojanti dujokaukė

Fizikiniai veiksniai					
Triukšmas	Technologiniai įrengimai, siurblinė	91 dBA	87 dBA	480	Apsauginės ausinės
Apšvieta	Centrinis valdymo pultas, siurblinė	300 lx	200 lx	480	-
Statinės elektros pavojus	Technologiniai įrengimai, siurblinė	-	-	480	Ižeminimas Įnulinimas
Šiluminė aplinka, oro drėgnis	Technologiniai įrengimai, siurblinė	40–60 %	iki 75 %	480	-
		18–23 %	18–27 %		
Ergonominiai veiksniai					
Nuovargis	Centrinis valdymo pultas	-	-	480	Pertraukos darbo metu po 10 minučių kas 2 val.
Darbo poza		Sėdimas darbas, 80 % darbo laiko	Sėdimas darbas, 25 % darbo laiko	480	
Fiziniai veiksniai					
Įkaitę įrenginių paviršiai	Technologiniai įrengimai, siurblinė	140 °C	-	480	Apsauginiai drabužiai, avalynė
Slėginiai indai	Technologiniai įrengimai	105 bar	0,5 bar	480	Apsauginiai vožtuvai, patikros

Medžiagų gaisrinio pavojingumo ribiniai dydžiai pateikiami 5.2 lentelėje:

**5.2 lentelė.** Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai [29]

Medžiagos pavadinimas	Sunaudojama (pagaminama) per pamainą, m <sup>3</sup> /h	Pliūpsnio temperatūra, °C	Sprogumo ribos		Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C
			apatinė	viršutinė	
Metanas	~70000	-188	5,25	14,1	537
Vandenilis	~130000	-	4,12	75	510
Anglies monoksidas	~30000	-	12,5	74	610
Amoniakas	~65000	-	15	28	650

Įvertinus medžiagų pavojingumą gaisro atžvilgiu, nustatoma patalpos, pastato ir išorinio įrenginio kategorija pagal sprogo ir gaisro pavojų. Rezultatai pateikiami 5.3 lentelėje:

**5.3 lentelė.** Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų [29]

Pastatų ir patalpų kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų		
Objekto, kuriam suteikiama kategorija, klasifikuojama pavojinga vieta, pavadinimas	Požymis, nulemiantis kategoriją, pavojingos vietos zoną	Kategorija, pavojingos vietos zona
Centrinis valdymo pultas	Pastatas nepriskiriamas A <sub>sg</sub> , B <sub>sg</sub> , C <sub>g</sub> , D <sub>g</sub> kategorijoms	E <sub>g</sub> , 2 zona
Siurblinė	Naudojami ypač degūs skysčiai	A <sub>sg</sub> , 1 zona
Išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų		
Technologiniai įrengimai	Naudojamos ypač degios dujos	A <sub>sgi</sub> , 1 zona

### 5.3. Saugi gamyba

Modernizuojamoje technologinėje gamybos linijoje yra daug degių, kenksmingų ir sprogimą galinčių sukelti medžiagų. Cecho patalpose ar atvirose aikštelėse išsiveržus pavojingoms medžiagoms, žmonėms gali kilti gaisro, sprogo ar kenksmingo poveikio pavojus.

Konkrečių darbų atlikimui reikalaujančiam ypatingų personalo gebėjimų, įrengimų, patalpų bei konstrukcijų saugumo užtikrinimui yra ruošiami specialūs darbo planai, tiksliniai darbuotojų instruktavimai darbo vietoje, kurie yra įforminami paskyroje – leidime.

Atliekant darbus laikomasi šių reikalavimų:

Dėvimos asmeninės apsaugos priemonės, apsauginiai įrenginiai, kontrolės ir matavimo prietaisai, patikrinamas apsaugos ir signalizacijos sistemų darbas, darbo vietoje reikia turėti dujokaukę ir kitas darbo vietai numatytas asmenines apsaugos priemones. Naudotis tik kibirkščių nesukeliantiais įrankiais, lengvai užsiliepsnojančiais skysčiais ir kitos lengvai užsiliepsnojančios medžiagos gamybinėse patalpose laikomos tam skirtose vietose ir yra pažymėtos atitinkamu ženkliniu, visi aparatai ir vamzdiniai, elektros įrenginiai yra įžeminti, naudojami tik sprogo atžvilgiu nepavojingi pernešami šviestuvai, ne aukštesnės kaip 50 V maitinimo įtampos. Darbdaviui atstovaujantis asmuo arba darbdavio įgaliotas asmuo darbuotojų saugai ir sveikatai turi organizuoti darbuotojų, dirbančių vietose, kuriose gali susidaryti sprogi aplinka, mokymą apsaugos nuo sprogo klausimais [46].

Praėjimai, laiptai, avariniai išėjimai, privažiavimai turi būti neužkrauti [34]. Imant bandinius analizėms, stovima pavėjinėje pusėje, jei imamos kenksmingos medžiagos, naudojamos asmeninės apsaugos priemonės – dujokaukės. Esant netvarkingiems judančių mechanizmų dalių aptvėrimams ir gaubtams arba be jų, draudžiama pradėti dirbti.

Elektros įrangos parinkimas sprogioms zonoms pateikiamas 5.4 lentelėje

### 5.4 lentelė. Elektros įrangos parinkimas [30]

Sprogiosios zonos tipas	Reikiamas apsaugos tipas	Įrangos grupė ir kategorija	Pastabos
Sprogiosios zonos, kur susidaro oro ir dujų arba skysčių garų ir lašelių mišiniai			
2	Normalus	II 3 G	G – skirta naudoti užsiliepsnojančių dujų, skysčių garų arba lašelių ir oro mišinių aplinkoje
1	Aukštas	II 2 G	

Per žmogaus kūną pratekanti elektros srovė, didesnė už 0,02 – 0,025 A, yra pavojinga žmogaus gyvybei, o srovė, didesnė už 0,1 A, yra mirtina.

Saugiam darbui su elektros įrenginiais laikomasi šių taisyklių:

- Elektros įrenginius prižiūri darbuotojai, kuriems darbdavio ar jo įgalioto asmens yra priskirti tie įrenginiai. [45]
- Darbo metu turi būti užtikrinta, kad dirbantieji nepriartėtų arčiau negu saugūs atstumai prie greta esančių skirtingą potencialą turinčių srovinių dalių. [45]
- Atliekant darbus jei galima, atjunginama įtampa iš visų gretimų elektros įrenginių arba jų dalių. Nesant galimybės atjungti, šios dalys uždengiamos izoliaciniais atitinkamos įtampos apdangalais. [45]

## 5.4. Darbo higiena

Anglies monoksido konversijos proceso metu įrengimuose vykstančių reakcijų metu išsiskiria žmonių sveikatai pavojingos medžiagos, todėl yra nustatomi jų ribiniai dydžiai. Atitinkamoms medžiagoms yra numatytos asmeninės apsaugos priemonės. Kenksmingos medžiagos ir jų ribiniai dydžiai pateikiami 5.5 lentelėje.

**5.5 lentelė.** Kenksmingų medžiagų ribiniai dydžiai [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 <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>	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	-	-	-	-

Apsaugos priemonės skirtos žmonių apsaugai nuo mechaninio, terminio, cheminių medžiagų poveikio. Taip pat nuo galinčių susidaryti nuodingų lakiųjų junginių aplinkos ore, nuodingų, pavojingų dujų. Visos apsaugos priemonės skirstomos į dvi grupes:

- Asmeninės apsaugos priemonės
- Kolektyvinės apsaugos priemonės

Darbuotojams, dirbantiems anglies monoksido konversijos technologinėje linijoje skiriamos šios AAP:

- Apsauginis šalmas
- Apsauginiai akiniai ir apsauginės ausinės
- Pirštinės, apsaugančios nuo cheminio poveikio
- Filtruojančios puskaukės
- Darbo batai
- Drabužiai, apsaugantys nuo cheminių medžiagų poveikio
- Izoliuojančios dujokaukės

Įmonės padaliniuose ir darbo vietose, kur naudojamos pavojingos cheminės medžiagos yra įrengtos kolektyvinės apsaugos priemonės. Tai yra vietiniai analizatoriai su garsinėmis signalizacijomis ir ištraukiamoji ventiliacija. Viršslėgio viršijimui vamzdyne sumontuoti apsauginiai vožtuvai, taip pat vamzdynas pažymėtas įspėjamaisiais ženklais. [22]

Darbo vietoje vertinimas atliekamas šiems parametrams: apšvietimas, darbo patalpos šiluminiai parametrai, triukšmas.

Apšvietimas: centriniame valdymo pulte yra šoninis natūralus apšvietimas, kadangi natūraliojo apšvietimo nepakanka (<200 lx) yra įrengtas bendrasis dirbtinis apšvietimas. Šviesiuoju paros metu agregate naudojamas natūralusis apšvietimas, o tamsiuoju paros metu – vietinis dirbtinis apšvietimas. Darbo patalpos šiluminiai parametrai yra šie: oro temperatūra, santykinis oro drėgnumas bei oro judėjimo greitis. Atsižvelgus į metų laikotarpį: šiltasis ar šaltasis, darbų kategoriją bei darbo patalpos šiluminius parametrus, sudaromos darbo patalpos komfortinės sąlygos, kurios pateikiamos 5.6 lentelėje [31,32]:

**5.6 lentelė.** Darbo patalpos komfortinės sąlygos

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

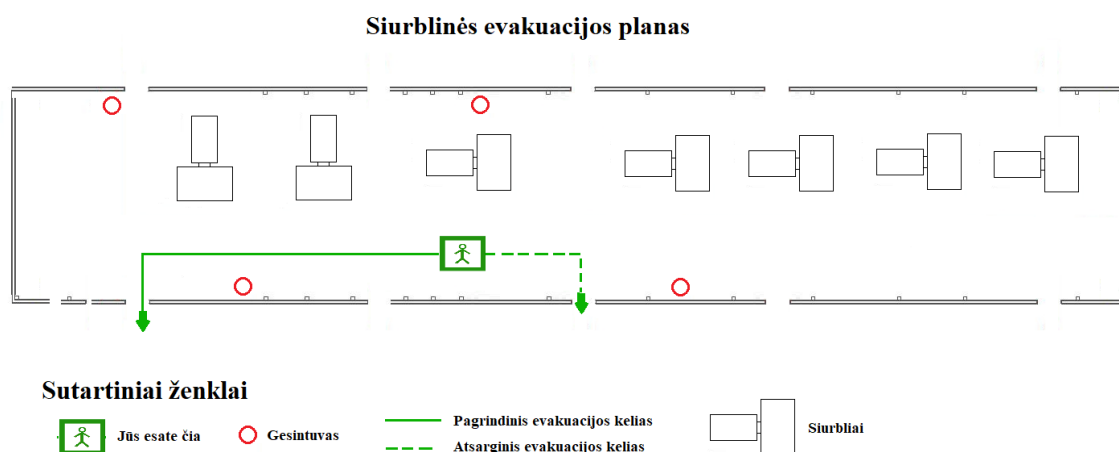
### 5.5. Gaisrinė sauga

Modernizuojant anglies monoksido konversijos technologinę liniją atsižvelgiama į gaisrinės saugos vertinimą. Dėl gamybos procese naudojamų skystų ir dujinių medžiagų gali kilti B ir C klasės gaisrai. B klasės gaisras efektyviausiai gesinamas putų bei milteliniais gesintuvais, o C klasės – tik milteliniais. Siurblinėje numatyti keturi gesintuvai: du 20 kg milteliniai, bei du 50 litrų talpos putų gesintuvai.

Projektuojant šią liniją įrengiamos gaisro gesinimo priemonės:

- Nešiojami miltelių bei putų gesintuvai
- Smėlio dėžės su kastuvais bei nedegiu audiniu
- Priešgaisrinis azotas

Dėl galimo gaisro pavojaus, nuo įkaitusių įrenginių, yra numatytas siurblinės evakuacijos planas. Jis pateiktas 11 paveiksle.



**11 pav.** Siurblinės evakuacijos planas

## IŠVADOS

1. Pateikta CO konversijos būdų literatūros apžvalga techniniais ir ekonominiais aspektais.
2. Remiantis literatūros duomenimis, atlikti katalizatoriaus aktyvumo tyrimai Aspen HYSYS programinėje įrangoje. Veikiančiai technologinei linijai, pritaikyti skirtingi katalizatoriai, aukštatemperatūrei reakcijai gauti konversijos laipsniai – 89,95 %, 96,94 %, 98,67 %. Žematemperatūrei reakcijai gauti konversijos laipsniai – 92,41 %, 97,06 % ir 99,01 %. Priėmus, kad aukštatemperatūrei konversijai naudojamas katalizatorius, kurio konversijos laipsnis – 96,94 %, vandens garų turinį santykį su konvertuotomis dujomis galima sumažinti iki 0,3:1, taip išlaikant tokią pačią konvertuotų dujų sudėtį kaip prieš modernizaciją. Sumažinus tūrinį vandens garų ir konvertuotų dujų santykį, galima sutaupyti 39380 kg/h vandens garų ir 1485 m<sup>3</sup>/h gamtinių dujų reikalingų jų gamybai.
3. Pateikta gamybinio proceso vykdymo technologinė schema, sklypo planas, aparatų išdėstymo schema ir skersinis technologinės linijos pjūvis.
4. Ekonominiais ir finansiniais skaičiavimais pagrįsta rekonstrukcijos nauda. Sumažėjus gamtinių dujų poreikiui, įmonė jau pirmaisiais metais sutaupytų 5,07 mln. Eur. per metus. Atliktas šio proceso aplinkosauginis vertinimas, išanalizuojant gamybos poveikį aplinkai, bet ne visą gaminio būvio ciklą. Kadangi šiluminė energija vandens garų gamybai gaunama vamzdinėje krosnyje ir pagalbiniu katilo pakuroje deginant gamtines dujas susidaro dideli azoto oksidų kiekiai. Sumažinus gamtinių dujų suvartojimą, veikiant homogeniniam dūmų valymui dujiniu amoniaku, azoto oksidų aplinkos tarša sumažėtų 146,7 t/m. Darbuotojų sauga ir sveikata išanalizuota įvertinant: profesinę riziką, saugią gamybą, darbo higieną ir gaisrinę saugą. Kadangi gamybos metu naudojami degūs skysčiai bei dujos, parinktos pirminės gaisro gesinimo priemonės ir nubraižytas evakuacijos planas iš siurblinės pastato.

## Literatūros sąrašas

1. H. W. Haring, *Industrial Gases Processing*, Wiley-VCH, Verlag, Germany, 2007.
2. Gunugunuri K. Reddy, Panagiotis G. Smirniotis, *Water Gas Shift Reaction*, Elsevier, 2015
3. *Environmental Impacts of Coal Mining & Utilization, A Complete Revision of Environmental Implications of Expanded Coal Utilization*, 1987, 105-155 psl.
4. Ancuta, A. (1974). *Surišto azoto technologija: Konspektai*. Kaunas.
5. C. Ratnaswamy, J. P. Wagner, *Water gas shift catalysis*, *Catal. Rev. Sci. Eng.* 51 (3) (2009) 325–440 psl.
6. Ratnasamy, Chandra; Wagner, Jon P. (September 2009). "Water Gas Shift Catalysis". *Catalysis Reviews*. 51 (3): 325–440. doi:10.1080/01614940903048661.
7. Smith R J, Byron; Muruganandam Loganathan; Murthy Shekhar Shantha (2010). "A Review of the Water Gas Shift Reaction". *International Journal of Chemical Reactor Engineering*. 8: 1–32. doi:10.2202/1542-6580.2238.
8. E. Matijevic, P. Scheider, *Ferric hydrous oxide sols: III. Preparation of uniform particles by hydrolysis of Fe(III)-chloride, -nitrate, and -perchlorate solutions*, *J. Colloid Interface Sci.* 63 (1978) 509–524 psl.
9. M. C. Rangel, M. S. Santos, A. Albornoz, *The influence of the preparation method on the catalytic properties of lanthanum-doped hematite in the ethylbenzene dehydrogenation*, *Stud. Surf. Sci. Catal.* 162 (2006) 753psl.
10. Callaghan, Caitlin (2006). *Kinetics and catalysis of the water-gas-shift reaction: A Microkinetic and Graph Theoretic Approach (PDF) (PhD)*. Worcester Polytechnic Institute.
11. Grenoble DC, Estadt MM, Ollis DF. *The chemistry and catalysis of the water gas shift reaction. The kinetics over supported metal-catalysts*. *J Catal* 1981;67(1): 90–102. [https://doi.org/10.1016/0021-9517\(81\)90263-3](https://doi.org/10.1016/0021-9517(81)90263-3).
12. Callaghan, Caitlin (2006). *Kinetics and catalysis of the water-gas-shift reaction: A Microkinetic and Graph Theoretic Approach*
13. Gunugunuri K. Reddy, Panagiotis G. Smirniotis, Chapter 1 - Introduction About WGS Reaction, *Water Gas Shift Reaction*, Elsevier, 2015, Pages 1-20
14. Gunugunuri K. Reddy, Panagiotis G. Smirniotis, Chapter 9 - Mechanism and Kinetics of the WGS Reaction, *Water Gas Shift Reaction*, Elsevier, 2015, Pages 225-261
15. N. V. Kulkova, M. I. J. Temkin, *Zh. Fiz. Khim.* 23 (1949) 695–713.
16. G. G. Shchibrya, N. M. Morozov, M. I. J. Temkin, *Kinet. Katal.* 6 (1965) 1057.
17. G. K. Boreskov, T. M. Yureva, N. M. Morozov, A. S. Sergeeva, *Kinet. Katal.* 11 (1970) 1476.
18. E. F. Armstrong, T. P. Hilditch, *Proc. R. Soc. A*97 (1920) 265.
19. E. Matijevic, P. Scheider, *Ferric hydrous oxide sols: III. Preparation of uniform particles by hydrolysis of Fe(III)-chloride, -nitrate, and -perchlorate solutions*, *J. Colloid Interface Sci.* 63 (1978) 509–524.
20. Caio Luis Santos Silva, Sérgio Gustavo Marchetti, Arnaldo da Costa Faro Júnior, Tatiana de Freitas Silva, José Mansur Assaf, Maria do Carmo Rangel, *Effect of gadolinium on the catalytic properties of iron oxides for WGSR*, *Catalysis Today*, Volume 213, 2013, Pages 127-134

21. El Bazi, Wail & Abidi, A. & KADIRI, M.S.. (2019). Modeling and Simulation of a Water Gas Shift
22. Hossain MM, Ahmed S. Cu-based mixed metal oxide catalysts for WGS: Reduction kinetics and catalytic activity. *Can J Chem Eng* 2013;91:1450–8
23. Sungkwang Lim, Joongmyeon Bae, Kihyun Kim, Study of activity and effectiveness factor of noble metal catalysts for water–gas shift reaction, *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 34, Issue 2, 2009, Pages 870-876
24. Tayyaba Noor, Yanying Qi, De Chen, Hydrogen dependence of the reaction mechanism and kinetics of water gas shift reaction on Ni catalyst: Experimental and DFT study, *Applied Catalysis B: Environmental*, Volume 264, 2020
25. H.A.J. van Dijk, D. Cohen, A.A. Hakeem, M. Makkee, K. Damen, Validation of a water–gas shift reactor model based on a commercial FeCr catalyst for pre-combustion CO<sub>2</sub> capture in an IGCC power plant, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, Volume 29, 2014, Pages 82-91
26. Y. Choi, G. Stenger, Water gas shift reaction kinetics and reactor modeling for fuel cell grade hydrogen, *J. Power Sources* 124 (2003) 432–439.
27. Kusar Henrik, S. Hocevar, J. Leve, Kinetics of the water gas shift reaction over nanostructured copper-ceria catalysts, *Appl. Catal. B: Envi* 63 (2006) 194–200.
28. Dėl Lietuvos higienos normos HN 23:2011 „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai" patvirtinimo
29. Gaisrinės saugos pagrindiniai reikalavimai. *Valstybės žinios*, 2010, Nr. 146 -7510 (Aktuali redakcija: *Valstybės žinios*, 2011-06-21, *Žin.*, 2011, Nr.: 75-3661; 2011-02-24, *Žin.*, 2011, Nr. 23-1137).
30. Elektros įrenginių įrengimo bendrosios taisyklės. *Valstybės žinios*, 2012, Nr. 18-816.
31. HN 69:2003. Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametru norminės vertės ir matavimo reikalavimai. *Valstybės žinios*, 2004, Nr. 45-1485.
32. HN 98:2014. Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai. *TAR*, 2014, Nr. 5119.
33. LIETUVOS RESPUBLIKOS SPECIALIŲJŲ ŽEMĖS NAUDOJIMO SĄLYGŲ ĮSTATYMAS, 2019 m. birželio 6 d. Nr. XIII-2166.
34. PRIEŠGAISRINĖS APSAUGOS IR GELBĖJIMO DEPARTAMENTO PRIE VIDAUS REIKALŲ MINISTERIJOS DIREKTORIAUS Į S A K Y M A S „DĖL GAISRINĖS SAUGOS PAGRINDINIŲ REIKALAVIMŲ PATVIRTINIMO“ 2010 m. gruodžio 7 d. Nr. 1-338.
35. UAB „Ignitis“ [interaktyvus]. Žiūrėta [2021 05 17]. Prieiga per internetą: <https://ignitis.lt/lt/duju-kainos>
36. UAB „Ignitis“ [interaktyvus]. Žiūrėta [2021 05 17]. Prieiga per internetą: <https://ignitis.lt/lt/elektros-kainos>
37. Kauno technologijos universitetas [interaktyvus]. Žiūrėta [2021 05 18]. Prieiga per internetą: [http://distance.ktu.lt/kursai/verslumas/pardavimai\\_I/116359.html](http://distance.ktu.lt/kursai/verslumas/pardavimai_I/116359.html)



38. Lietuvių kalbos žodynas [interaktyvus]. Žiūrėta [2021 05 18]. Prieiga per internetą: <https://mokslai.lietuviuzodynas.lt/statyba/socialine-ir-kulturine-aplinka-jos-itaka-marketingo-veiksmams>
39. SWOT analizė, Visuotinė Lietuvių enciklopedija [interaktyvus]. Žiūrėta [2021 05 18]. Prieiga per internetą: <https://www.vle.lt/straipsnis/swot-analize/>
40. Campbell, J. S., Craven, P., and Young, P. W., "Catalyst Handbook," p. 109. Wolfe Scientific Books, London, 1970.
41. Shchibrya, G. G., Morozov, N. M., and Temkin, M. I., Kinet. Catal. USSR 6, 1010 (1965).
42. Moe, J. M., Chem. Eng. Progr. 58, 33 (1962).
43. Kul'kova, N. V., and Temkin, M. I., Zh. Fiz. Kim. 23, 695 (1949).
44. Goodridge, F., and Quazi, H. A., Trans. Inst. Chem. Eng. 45, T274 (1967).
45. Dėl Saugos eksploatuojant elektros įrenginius taisyklių patvirtinimo. Valstybės žinios, 2010, Nr. 39-1878 ( Aktuali redakcija: Valstybės žinios, 2020, Nr.: 39-1878).
46. Dėl Darbuotojų, dirbančių potencialiai sprogioje aplinkoje, saugos nuostatų patvirtinimo. Valstybės žinios, 2005-10-06, Nr. 118-4277.

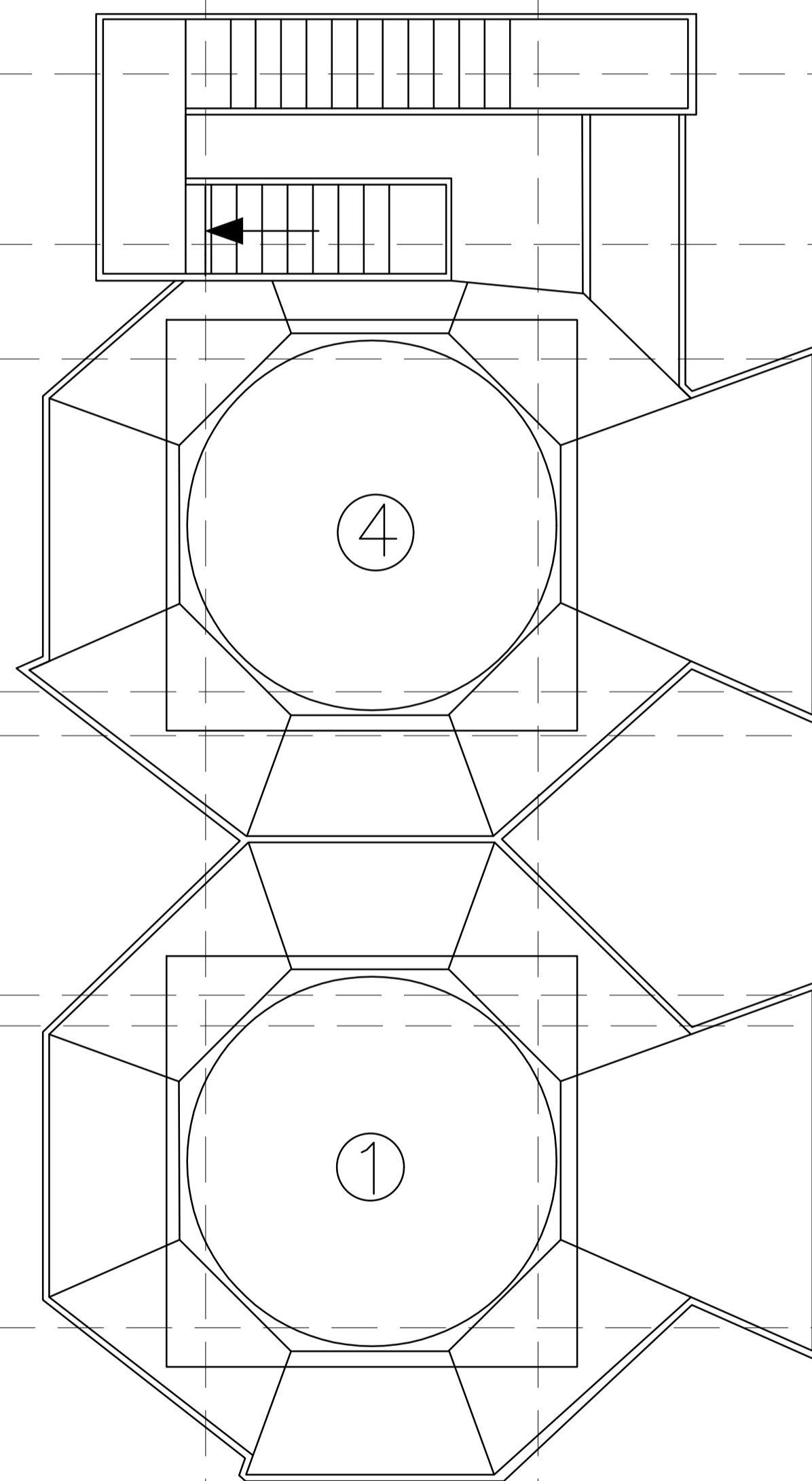
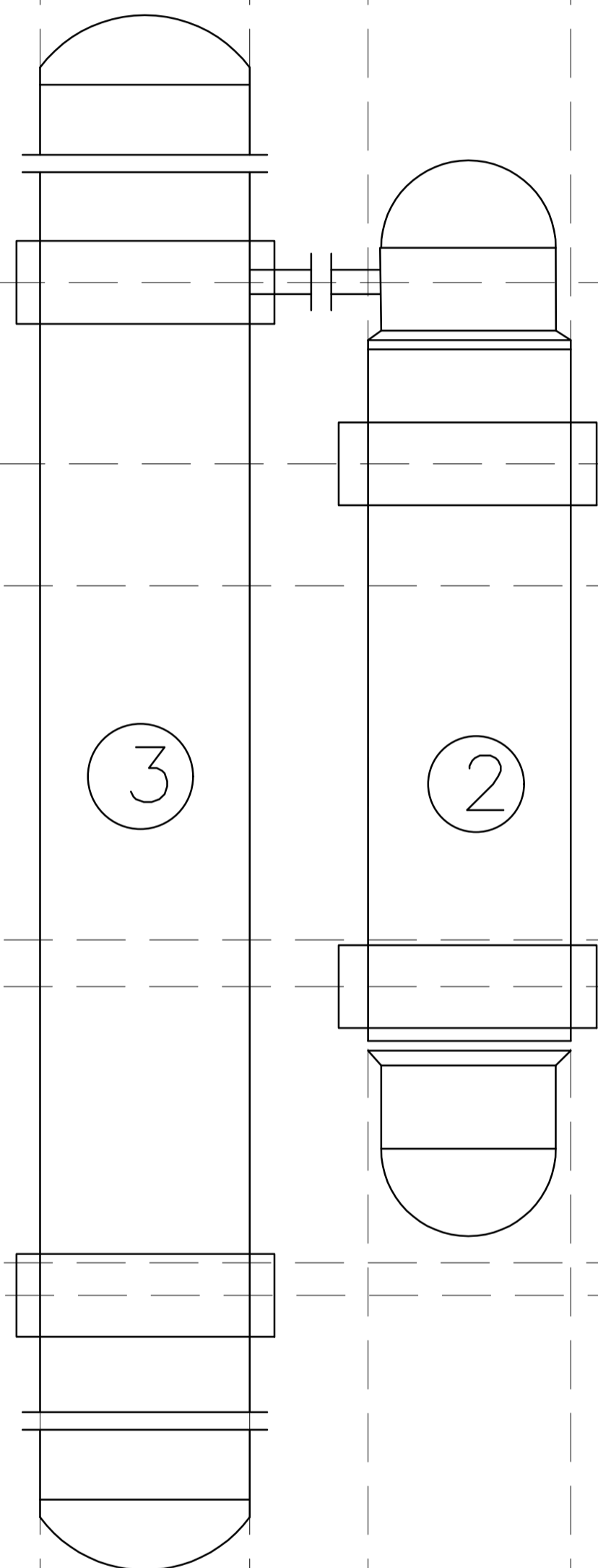
## **Priedai**

- 1 priedas. Įrenginių išdėstymo planas**
- 2 priedas. Anglies monoksido konversijos technologinės linijos pjūvis A-A**
- 3 priedas. Sklypo planas**
- 4 priedas. Technologinė schema**

1 2 3 4

5 6

A



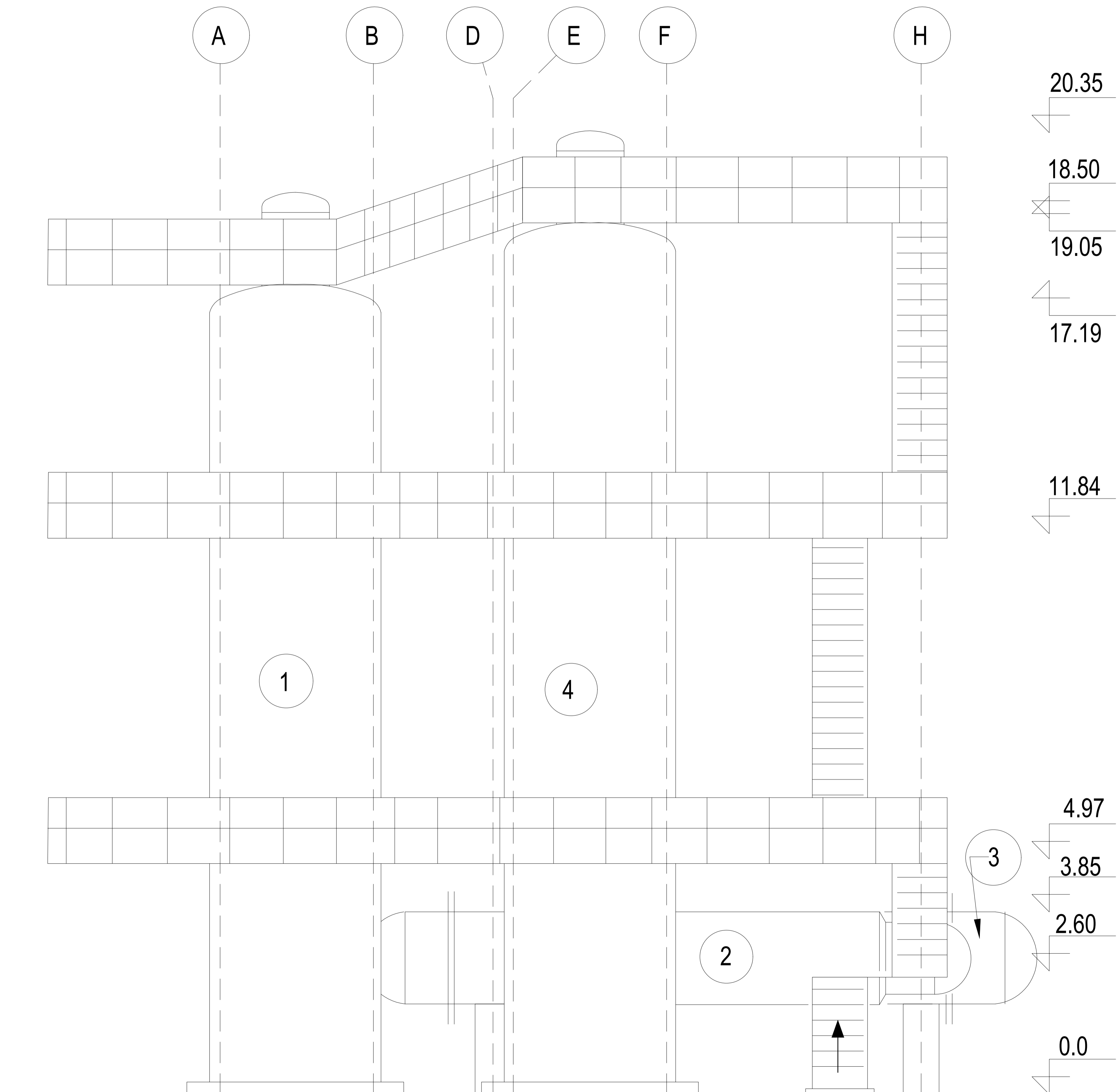
H  
G  
F  
E  
D  
C  
B  
A

Įrengimų eksplikacija

Eil. Nr.	Pavadinimas	Žymuo	Kiekis
1	Aukštatemperatūris konvertorius	1	1
2	II-ojo laipsnio katilas utilizatorius	2	1
3	Šilumokaitis	3	1
4	Žematemperatūris konvertorius	4	1

Grupė		KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
TMC - 9	Studentas	D. Timinskas		Anglies monoksido konversijos proceso modernizavimas	Laida
	Vadovas	A. Jaskūnas			0
	Konsultantas	D. Vilčionė		Įrenginių išdėstymo planas	
	Recenzentas				
Pr. etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19 C, Kaunas			2021-MBP-FNCK	Lapas Lapių
MBP					1 4

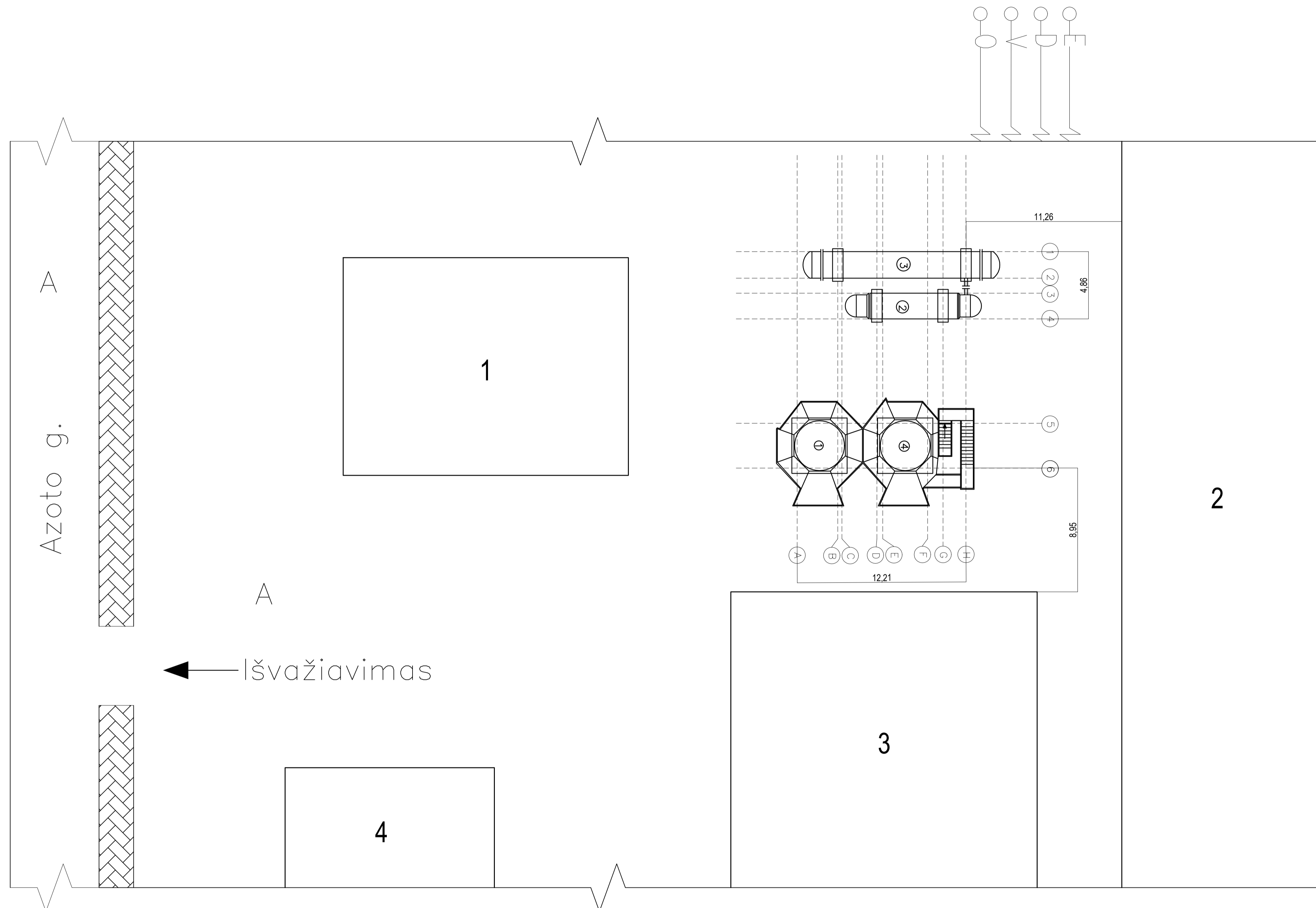
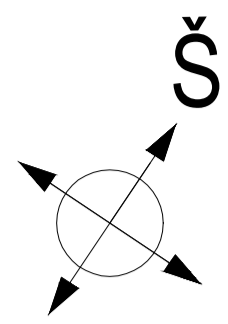
Pjūvis A-A



Eil. Nr.	Pavadinimas	Žymuo	Kiekis
1	Aukštatemperatūris konvertorius	1	1
2	II-ojo laipsnio katilas utilizatorius	2	1
3	Šilumokaitis	3	1
4	Žematemperatūris konvertorius	4	1

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas	Magistro baigiamasis projektas
TMC - 9	Studentas D. Timinskas	Anglies monoksido konversijos proceso modernizavimas
Vadovas A. Jaskūnas	Konsultantas O. Vilūnienė	Anglies monoksido konversijos technologinės linijos pjūvis A-A
Recenzentas		
Pr. etapas MBP	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19 C, Kaunas	2021-MBP-FNCK
		Lapas 2
		Lapų 4

# Situacijos planas

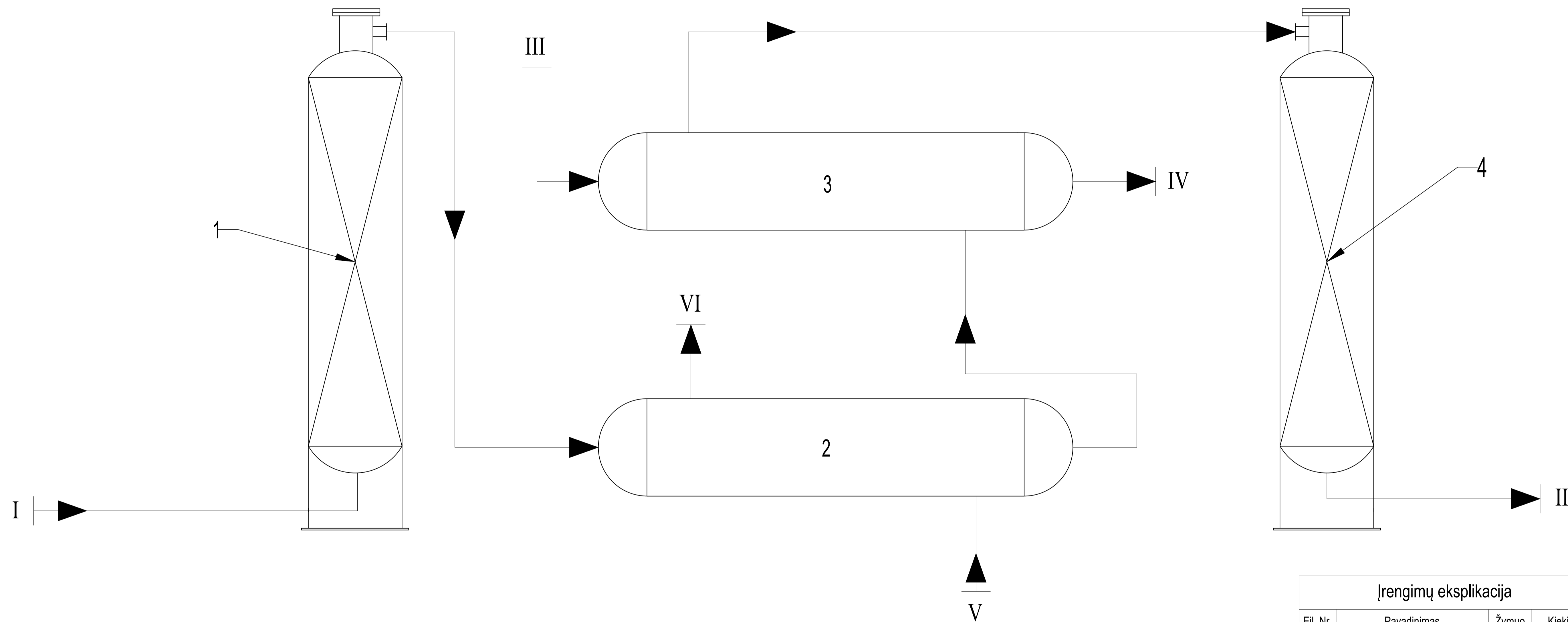


## Sutartiniai žymėjimai:

A	Asfalto danga	V	Vandentiekio įvadas
Trinkelių danga		E	Elektros įvadas
D	Gamtinių dujų įvadas	O	Technologinis oras

Pastatų, statinių eksplikacija			
Eil. Nr.	Pavadinimas	Žymuo	Plotas, m <sup>2</sup>
1	Metano konversijos technologinė linija	1	—
2	Siurblinė	2	1060
3	Centrinio valdymo pulto pastatas	3	1962
4	Administracinės paskirties pastatas	4	863

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
TMC - 9	Studentas	D. Timinskas	Anglies monoksido konversijos proceso modernizavimas	Laida
	Vadovas	A. Jaskūnas		
	Konsultantas	O. Vilūnienė	Sklypo planas	0
	Recenzentas			
Pr. etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19 C, Kaunas		2021-MBP-FNCK	Lapas Lapų
MBP				3 4



**Įrengimų eksplikacija**

Eil. Nr.	Pavadinimas	Žymuo	Kiekis
1	Aukštatemperatūris konvertorius	1	1
2	II-ojo laipsnio katilas utilizatorius	2	1
3	Šilumokaitis	3	1
4	Žematemperatūris konvertorius	4	1
5	AVM po CO konversijos	I	1
6	AVM po CO konversijos	II	1
7	AVM po CO <sub>2</sub> valymo	III	1
8	AVM į metanavimą	IV	1
9	Katilų maitinantis vanduo	V	1
10	100 atm. vandens garų emulsija	VI	1

Grupė		KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
TMC - 9	Studentas	D. Timinskas		Anglies monoksido konversijos proceso modernizavimas	Laida
	Vadovas	A. Jaskūnas			
	Konsultantas	O. Vilūnienė		Technologinė schema	0
	Recenzentas				
Pr. etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra Radvilėnų pl. 19 C, Kaunas			2021-MBP-FNCK	Lapas
MBP					Lapų 4 4