



**Kauno technologijos universitetas**  
Cheminės technologijos fakultetas

# **Azoto rūgšties gamybos modernizavimas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Lukas Trikšys**

Projekto autorius

**Lekt. dr. Andrius Jaskūnas**

Vadovas

---



**Kauno technologijos universitetas**  
Cheminės technologijos fakultetas

## **Azoto rūgšties gamybos modernizavimas**

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

---

Konsultantai:

**Lekt. dr. Odeta Viliūnienė**

Statybų sprendimai

**Lukas Trikšys**

Projekto autorius

**Prof. dr. Irena Pekarskienė**

Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

**Lekt. dr. Andrius Jaskūnas**

Vadovas

**Prof. dr. Gintaras Denafas**

Aplinkosauginis vertinimas

**Lekt. dr. Simona Ostachavičiūtė**

Recenzentė

**Doc. dr. Dalia Nizevičienė**

Darbuotojų sauga ir sveikata

---

Kaunas, 2021



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

Lukas Trikšys

## **Azoto rūgšties gamybos modernizavimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad mano, Luko Trikšio, baigiamasis projektas tema „Azoto rūgšties gamybos modernizavimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

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

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

Dekano potvarkis Nr. ST18-F-02-03, 2021-04-15

2021 m. kovo mėn. 03 d.

## Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema	<u>Azoto rūgšties gamybos modernizavimas</u>
Darbo tikslas ir uždaviniai	<p>Darbo tikslas – išanalizuoti pramonėje naudojamus azoto rūgšties gamybos būdus, žinomus technologinius sprendimus, įvertinti nagrinėjamos technologijos tobulinimo galimybes.</p> <p>Darbo uždaviniai: atlikti azoto rūgšties gamybos 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.</p>
Reikalavimai ir sąlygos	<p>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“.</p>
Vadovas	<u>lekt. dr. Andrius Jaskūnas</u> <span style="float: right;"><u>2021-03-02</u></span> (vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas) <span style="float: right;">(data)</span>
Užduotį gavau:	<u>Lukas Trikšys</u> <span style="float: right;">_____</span> (studento vardas, pavardė) <span style="float: right;">(parašas, data)</span>

Trikšys Lukas. Azoto rūgšties gamybos modernizavimas. Magistro baigiamasis projektas/ lekt. dr. Andrius Jaskūnas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis: Inžinerijos mokslai, Chemijos inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: Azoto rūgštis, gamybos modernizavimas, dviejų slėgių technologija

Kaunas, 2021 p.67

### **Santrauka**

Vienas svarbiausių junginių chemijos pramonėje tai azoto rūgštis. Daugiausia rūgštis sunaudojama kalcio amonio nitrato ir amonio nitrato gamybai. Pagrindinė gamybos žaliava – amoniakas, kuris gaminamas iš gamtinių dujų. Gamtinės dujos neatsinaujinantis gamtinis išteklius, todėl azoto rūgšties gamybos metu reikia siekti kuo mažesnio amoniako sąnaudų. Magistro baigiamajame darbe buvo atliktas tyrimas, siekiant išsiaiškinti, ar panaudojus NO oksidavimui Pt/TiO<sub>2</sub> katalizatorių bus padidinta NO išeiga, bei padidintas proceso efektyvumas. Tyrimas parodė, kad naudojant katalizatorių azoto oksidavimo reakcijai galima pagaminti 3,2 % daugiau grynos azoto rūgšties panaudojus tą patį amoniako kiekį.

Rekonstruojamas azoto rūgšties gamybos agregatas esantis Jonalaukio kaime, Jonavos rajone. Įmonė įsikūrusi patogioje vietoje netoli A6 magistralinio kelio. Sklypo plotas užima 62,5 a, kuriame pastatytas 1494 m<sup>2</sup> ploto gamybinis cechasis. Sklype yra visos inžinerinės komunikacijos sistemos – vanduo, elektra, garas, nuotekos, technologinis oras.

Atlikti ekonominiai skaičiavimai, kiek tokia modernizacija kainuotų įmonei, kiek būtų sumažinti gamybos kaštai, kokia būtų produkto kaina ir per kiek laiko atsipirktų investicijos. Pagaminti vieną toną azoto rūgšties kainuotų 7,40 Eur pigiau ir būtų sutaupoma 1,868 mln. Eur per metus. Investicijos atsipirktų per 1,67 metų.

Atlikta darbuotojų saugos ir sveikatos analizė. Pateiktos projektuojamojo objekto charakteristikos, profesinės rizikos vertinimas, darbo sauga darbo higiena ir gaisrinė sauga,. Nustatytos sprogios ir degios medžiagos, nustatytos patalpų kategorijos pagal gaisringumą.

Atliktas poveikio aplinkai vertinimas, nustatytos orą teršiančios medžiagos bei kokie jų kiekiai išskiriami. Taip pat nustatytos kitos gamybos metu susidarantios atliekos ir jų tvarkymo būdai

Trikšys Lukas. Modernization of Nitric Acid Production Master Final Degree Project / supervisor lekt. dr. Andrius Jaskūnas; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology

Study field and area: Engineering Sciences, Chemical Engineering.

Keywords: Nitric Acid , Process modernization, Two-Pressure Technology.

Kaunas, 2021 p.67

### **Summary**

Nitric acid is one of the most important compounds in the chemical industry. Most of the acid is used for the production of calcium ammonium nitrate and ammonium nitrate. The main raw material of nitric acid production is ammonia, which is produced from natural gas. Natural gas is a non-renewable natural resource, so during nitric acid production ammonia consumption must be kept to a minimum. In this master's thesis, the study was made to find out if NO oxidation reaction on platinum/titanium dioxide catalyst has an impact on product's yield and process efficiency. The study shown that using platinum/titanium dioxide catalyst in NO oxidation reaction can produce 3,2 % more pure nitric acid using the same amount of ammonia.

Nitric acid production aggregate is located in Jonalaukis village, Jonava district. Factory is located near A6 highway in convenient location. The area of the site is 62,5 a and aggregate area is 1494 m<sup>2</sup>. Site has engineering communication systems like water, electricity, steam, sewage and technological air.

Economic calculations was made to find out how much such modernization would cost, how much manufacture cost would be reduced, final price of product and how long would it take for investments to pay off. The cost of one tonne of ammonia is 7,40 Eur lower and 1,868 million Eur is saved throughout the year after reconstruction. The investments would pay off during 1,67 years. Analysis of occupational safety and health was performed. The characteristics of the designed object, occupational risk assessment, occupational safety, occupational hygiene and fire safety are presented. Explosive and flammable substances were identified and the categories of premises according to the fire risk were determined.

An environmental impact assessment has been made, air pollutants and their quantities have been identified. Other wastes generated during production and handing methods with them have also been identified.

## Turinys

<b>IVADAS</b> .....	<b>12</b>
<b>1.LITERATŪROS APŽVALGA</b> .....	<b>13</b>
1.1 Fizikinės ir cheminės savybės.....	13
1.2 Azoto rūgšties gamybos proceso pagrindai .....	13
1.3 Azoto rūgšties gamybos būdai .....	16
1.3.1 Vieno slėgio gamybos būdas.....	17
1.3.2 Dviejų slėgių gamybos būdas.....	18
1.4 Technologijų palyginimas.....	19
1.5 Katalizatorių panaudojimas .....	19
<b>2.TIRIAMOJI DALIS</b> .....	<b>20</b>
2.1 Esamos technologijos modelio sukūrimas .....	20
2.2 Sumodeliuotos technologijos aprašymas .....	21
2.2.1 Amoniakso oksidavimas į NO .....	21
2.2.2 NO oksidavimas į NO <sub>2</sub> .....	24
2.2.3 NO <sub>2</sub> absorbcija pasigaminant rūgščiai .....	25
2.3 Sumodeliuota modernizuota technologija .....	27
2.3.1 NO oksidavimas naudojant katalizatorių .....	29
2.3.2 Absorbcijos procesas po modernizacijos .....	32
2.4 Energetinis proceso balansas po atnaujinimo .....	33
2.4.1 Garo Turbinos SST-200 principinis veikimas .....	34
<b>3. INŽINERINĖ DALIS</b> .....	<b>35</b>
3.1. Azoto rūgšties technologinė schema ir jos aprašymas.....	35
3.1.1 Amoniakso–oro mišinio paruošimas .....	35
3.1.2 NH <sub>3</sub> oksidavimas kontaktiniame aparate.....	35
3.1.3 Silpnos rūgšties kondensacija ir NO oksidavimas .....	36
3.1.4 Nitrozinių dujų kompresija ir NO <sub>2</sub> absorbcija.....	37
3.1.5 Liekamųjų dujų valymas .....	37
3.2. FINANSINIAI IR EKONOMINIAI SKAIČIAVIMAI .....	<b>38</b>
3.2.1 Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė: ekonominių ir organizacinių problemų nustatymas.....	38
3.2.2 Projekto investicijos, finansavimo šaltiniai.....	39
3.2.3 Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas.....	39
3.2.4 Produkcijos gamybos apimtis ir gautinos pajamos .....	40

3.2.5 Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas .....	40
3.2.6 Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas.....	41
3.2.7 Veiklos kaštai .....	42
3.2.8 Finansinės ir investicinės sąnaudos.....	43
3.2.9 Gaminio kainos skaičiavimas.....	43
3.2.10 Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai .....	44
3.2.11 Grynujų pinigų srautai ir pelno skaičiavimas po modernizacijos .....	44
3.2.12 Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai .....	46
3.2.13 Diskontuoto investicijų atsipirkimo periodo skaičiavimas .....	47
3.2.14 Vidinės pelno normos skaičiavimas.....	47
3.2.15 Pelningumo indekso skaičiavimas .....	47
3.2.16 Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai .....	48
<b>3.3 STATYBINIAI SPRENDIMAI.....</b>	<b>49</b>
3.3.1 Bendroji dalis .....	49
3.3.2 Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės linijos sprendimai.....	50
<b>3.4. APLINKOSAUGINIS VERTINIMAS .....</b>	<b>51</b>
3.4.1 Bendrieji sprendimai .....	51
3.4.2 Išmetimai į orą.....	52
3.4.3 Atliekos .....	53
3.4.4 Aplinkosaugos dalies išvados.....	54
<b>4. DARBUOTOJŲ SAUGA IR SVEIKATA.....</b>	<b>54</b>
4.1 Projektuojamo objekto charakteristika .....	54
4.2 Profesinės rizikos vertinimas .....	55
4.3 Saugi gamyba.....	58
4.4 Elektrosauga.....	59
4.5 Darbo higiena.....	60
4.6 Gaisrinė sauga.....	61
<b>IŠVADOS .....</b>	<b>63</b>
<b>LITERATŪROS SĄRAŠAS.....</b>	<b>64</b>
<b>PRIEDAI .....</b>	<b>67</b>



## LENTELIŲ SĄRAŠAS

<b>Lentelė 1</b> Azoto rūgšties tirpalų savybės .....	13
<b>Lentelė 2</b> Skirtingų azoto rūgšties gamybų technologijų palyginimas .....	19
<b>Lentelė 3</b> NO išėigos priklausomybė nuo amoniako koncentracijos amoniako-oro mišinyje .....	20
<b>Lentelė 4</b> NO išėigos priklausomybė nuo temperatūros ir slėgio .....	22
<b>Lentelė 5</b> Skirtingų azoto rūgšties gamybos proceso tipų žaliavų ir katalizatorių nuostolių palyginimas (1 tonai 100 % azoto rūgšties pagaminimui) .....	23
<b>Lentelė 6</b> Kontaktinio aparato (conversion reactor) medžiagų balansas .....	23
<b>Lentelė 7</b> Aušinimui reikalingas energijos kiekis .....	24
<b>Lentelė 8</b> Oksidacijos kolonos medžiagų balansas .....	25
<b>Lentelė 9</b> Energijos kiekis reikalingas kompresoriams .....	25
<b>Lentelė 10</b> Absorbcijos kolonos medžiagų balansas .....	26
<b>Lentelė 11</b> Azoto rūgšties gamybos našumai iš vienos tonos amoniako .....	26
<b>Lentelė 12</b> Kontaktinio aparato medžiagų balansas po modernizacijos .....	28
<b>Lentelė 13</b> Katalizatoriai, kurie gali būti panaudoti oksidacijos kolonoje [21, 22, 23, 24] .....	29
<b>Lentelė 14</b> Idealojo išstūmimo reaktoriuje ir pusiausvyros reaktoriaus medžiagų balansas .....	31
<b>Lentelė 15</b> Absorbcijos kolonos medžiagų balansas po modernizacijos .....	32
<b>Lentelė 16</b> Energetinis proceso balansas .....	33
<b>Lentelė 17</b> Garo turbinos SST-200 parametrai .....	34
<b>Lentelė 18</b> Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai .....	39
<b>Lentelė 19</b> Technologinių įrenginių vertė .....	39
<b>Lentelė 20</b> Produkcijos gamybos apimtis ir gautinos pajamos .....	40
<b>Lentelė 21</b> Išlaidos pagrindinei žaliai amoniakui .....	40
<b>Lentelė 22</b> Pagrindinių darbininkų metinis darbo užmokestis .....	41
<b>Lentelė 23</b> Tiesioginės išlaidos elektros energijai .....	41
<b>Lentelė 24</b> Pagrindinio įrenginio nusidėvėjimas(amortizacija) .....	42
<b>Lentelė 25</b> Gamybos kaštai .....	42
<b>Lentelė 26</b> Veiklos sąnaudų paskirstymas .....	42
<b>Lentelė 27</b> Paskolos gražinimo planas ir palūkanų mokėjimas .....	43
<b>Lentelė 28</b> 1 tonos azoto rūgšties kainos skaičiavimas .....	43
<b>Lentelė 29</b> Azoto rūgšties tirpalų savybės .....	44
<b>Lentelė 30</b> Išlaidų pasikeitimas įgyvendinus rekonstrukciją .....	44
<b>Lentelė 31</b> Projekto grynujų pinigų srautai .....	45
<b>Lentelė 32</b> Diskontuotų investicijų atsipirkimo periodo skaičiavimas .....	47
<b>Lentelė 33</b> Lūžio taško skaičiavimai .....	48
<b>Lentelė 34</b> Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai .....	48
<b>Lentelė 35</b> Statinio bendrieji rodikliai .....	50
<b>Lentelė 36</b> Gamyboje naudojamos žaliavos ir energija .....	52

<b>Lentelė 37</b> Tarša į aplinkos orą .....	52
<b>Lentelė 38</b> Stacionarių taršos šaltinių fiziniai duomenys .....	52
<b>Lentelė 39</b> Išmetamųjų dujų valymo įrenginiai.....	53
<b>Lentelė 40</b> Susidarančios atliekos, atliekų tvarkymas.....	53
<b>Lentelė 41</b> Rizikos veiksnių nustatymas ir kiekybinis vertinimas [29, 30, 31, 32] .....	55
<b>Lentelė 42</b> Patalpų kategorijos pagal gaisro ir sprogimų pavojų .....	57
<b>Lentelė 43</b> Žaliavų, medžiagų ir produkto gaisringumo, sprogumo ir toksiškumo savybės .....	57
<b>Lentelė 44</b> Lentelė Saugus atstumas nuo žmogaus iki įtampą turinčių įrenginių .....	59
<b>Lentelė 45</b> Gesintuvų kategorijos, atsižvelgiant į gesinimo medžiagos tipą .....	61

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

<b>1 pav.</b>	NO išeigos priklausomybė nuo amoniako-oro mišinio santykio .....	13
<b>2 pav.</b>	Temperatūros ir slėgio įtaka NO Išeigai .....	15
<b>2 pav.</b>	Vieno slėgio azoto rūgšties gamyba.....	18
<b>4 pav.</b>	Dviejų slėgio azoto rūgšties gamybos technologija .....	18
<b>5 pav.</b>	HNO <sub>3</sub> esamos technologijos schema .....	20
<b>6 pav.</b>	Konversijos reaktoriuje (nusidėvėjimas reactor) įvesta reakcija .....	22
<b>7 pav.</b>	Pusiausvyros reaktoriuje (equilibrium reactor) įvesta reakcija .....	24
<b>8 pav.</b>	Azoto rūgšties koncentracija .....	26
<b>9 pav.</b>	Energijos kiekis reikalingas kompresoriams .....	28
<b>10 pav.</b>	Absorbcijos kolonos medžiagų balansas .....	30
<b>11 pav.</b>	Kinetinės reakcijos duomenys .....	31
<b>12 pav.</b>	Reaktoriaus matmenų duomenys .....	31
<b>13 pav.</b>	Idealiojo išstūmimo reaktoriuje konversijos laipsnis .....	31
<b>14 pav.</b>	Garų turbina SST-200 .....	34

## IVADAS

Vienas svarbiausių junginių chemijos pramonėje tai azoto rūgštis. Rūgštis naudojama ypač plačiai, trąšų, dažų, plastikų, organinių junginių, sprogmenų ir net reaktyvinio kuro gamyboje. Pirmoji azoto rūgštis buvo pradėta gaminti 1665 m. Reaguojant kalio nitratai su sieros rūgštimi ir taip gaunant azoto rūgštį [1].

Vėlesniuose laikuose kalio nitratas buvo pakeistas ir pradėta naudoti natrio nitratas, kitaip dar vadinama Čilės salietra. Tačiau mokslininkai vėliau atrado kitą būdą kaip gauti azoto oksidą, kuris yra būtinas azoto rūgšties gamybai komponentas, panaudojant tik vieną žaliavą. Azoto oksidai buvo gaunami iš atmosferos oro ir toliau naudojami azoto rūgšties gamybos procesui. Pagrindinis technologinis atradimas šioje technologijoje tai gamyba iš žaliavos kuri nieko nekainuoja. Tačiau tokiam procesui vykdyti reikalingas ypač didelis kiekis energijos, todėl procesas neprigijo [25].

Pagrindinis lūžis azoto rūgšties gamyboje įvyko XX a. Kai mokslininkas V. Oswaldas atrado, kad azoto monoksidą galima gauti oksiduojant amoniaką ant platinos katalizatoriaus [21]. Vėliau buvo suprojektuota pirmoji technologija paremta amoniako–oro mišinio oksidavimu ant platinos katalizatoriaus. Panašiu metu atsirado ir Haber'io – Bosch'o procesas, azoto rūgšties gamyba pradėjo plėsti ir statyti gamyklos visame pasaulyje. Dabartiniu laikotarpiu azoto rūgštis gaminama pagal tą patį Oswaldo procesą, bet nuolatos ieškoma būdu technologija padaryti dar efektyvesnę ir švaresnę.

Azoto rūgšties gamyba gali būti vykdoma esant skirtingiems slėgiams. Galima vieno slėgio technologija, procesas gali vykti žemame, vidutiniame arba aukštame slėgyje arba naudojama dviejų slėgių technologiją. Kadangi skirtingi procesai vyksta efektyviau esant skirtingiems slėgiams, todėl dažniausiai renkama azoto rūgštį gaminti dviejų slėgių technologijoje [17].

# 1.LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1 Fizikinės ir cheminės savybės

Azoto rūgštis yra stipri neorganinė rūgštis, grynas junginys bespalvis, skystos agregatinės būsenos, aštraus kvapo. Tai laki medžiaga. Rūgštis kristalizuojasi esant  $-41,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūrai, o verda esant  $84,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Veikiant šviesai ir aukštesnėje nei  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūroje vyksta azoto rūgšties skilimas, kurio metu susidaro azoto dioksidas ir vanduo pagal šią reakciją:



Taip pat junginys gali disocijuoti taip:



Neorganinės rūgšties spalva kinta, priklausomai nuo skystyje ištirpusio  $\text{NO}_2$  koncentracijos ir gali įgyti nuo šviesiai geltonos iki raudonos spalvos. Komerciškai prieinamų azoto rūgščių koncentracija vandenyje paprastai ne didesnė kaip 68 % koncentracijos. Ši koncentracijos riba negali būti peržengta dėl azoto rūgšties sudaromų azeotropų, kurių virimo temperatūra  $121,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Fizikinės savybės nulemia ištirpęs  $\text{NO}_2$  kiekis [2, 3]. Lentelėje pateikiami azoto rūgšties tirpalų fizikiniai duomenys:

1 lentelė Azoto rūgšties tirpalų savybės

$\text{HNO}_3$ koncentracija, %	Virimo temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Lydomosi temperatūra, $^{\circ}\text{C}$
0	100,0	0
10	101,2	-7
20	103,4	-17
30	107,0	-36
40	112,0	30
50	116,4	-20
60	120,4	-22
70	121,6	-41
80	116,6	-39
90	102,0	-60
100	86,0	-42

Azoto rūgštis yra labai stiprus oksidantas. Dauguma metalų tirpsta azoto rūgštyje, o platina, rodis iridis ir auksas ne. Tačiau, tokius metalus kaip geležis, chromas ir aliuminis, koncentruota azoto rūgštis pasyvuoja. Pasyvuojant susidaro tanki apsauginė oksidų plėvelė, kuri apsaugo metalą nuo tolimesnės korozijos – metalo tirpimas tampa negalimas [1, 4].

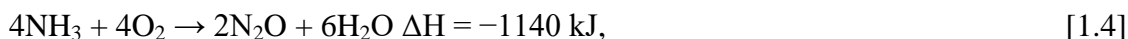
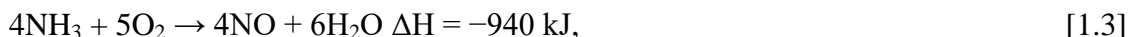
## 1.2 Azoto rūgšties gamybos proceso pagrindai

Azoto rūgšties gamyba remiasi Ostwald'o procesu ir yra paremta trimis nesudėtingais procesais. Pirmiausia vykdomas amoniako oksidavimas naudojant platinos–rodžio katalizatorių ir proceso metu gaunamas azoto monoksidas. Toliau vyksta  $\text{NO}$  oksidavimas į  $\text{NO}_2$ . Paskutinis procesas yra  $\text{NO}_2$  absorbcija nuduruskintu vandeniu ir produkcinės rūgšties gavimas.

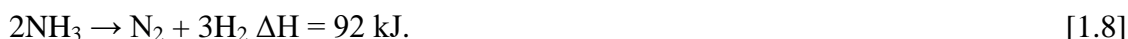
Pirmasis etapas, amoniako oksidavimas, vykdomas išgarinant skystą amoniaką. Tuomet jis pakaitinimas, sumaišomas su suslėgtu, filtruotu ir pašildytu oru. Toliau, mišinys tiekiamas į

kontaktninį aparatą, kuriame ant platinos katalizatoriaus mišinys reaguoja ir gaunamas azoto oksidas NO.

Tarp dujinio amoniako ir deguonies gali vykti kelios reakcijos:

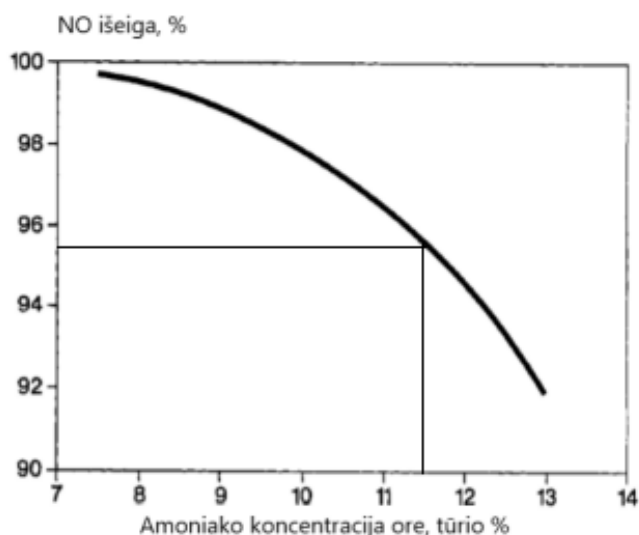


Taip pat vyksta ir šalutinės reakcijos:



Pagrindinė reakcija yra [1.3], todėl reikia parinkti tokias sąlygas, kad kuo mažiau vyktų kitos reakcijos, kurios mažina proceso efektyvumą. Esant šilumos pertekliui reaktoriuje pradeda vykti reakcija [1.8]. Esant aukštai temperatūrai, amoniako-oro mišinys netolygiai pasiskirsto ant katalizatoriaus tinklelių ir tokiu atveju vyksta reakcija [1.8], o reakcija [1.6] gali vykti dėl per trumpo dujų kontakto su katalizatoriumi. Reakcija [1.4] vyksta esant maždaug 500 °C temperatūrai, todėl tokiomis proceso sąlygomis susidaro tik nedideli N<sub>2</sub>O kiekiai [6, 7].

Tam, kad procesas vyktų pagal [1.3] reakciją turi būti parinktos optimalios sąlygos –viena iš jų yra amoniako oro mišinio santykis. Apskaičiavus amoniako molinę koncentraciją ore iš lygties gauname 14,1 %. Kadangi konversijos laipsnis mažėja didėjant amoniako koncentracijai ore, tai realiomis sąlygomis pasirenkama mažesnė molinė koncentracija. Konversijos laipsnio priklausomybė nuo amoniako kiekio mišinyje pavaizduota paveikslėlyje. Grafike pažymėtas optimalus amoniako molinis kiekis mišinyje 11,5 % [8, 9].



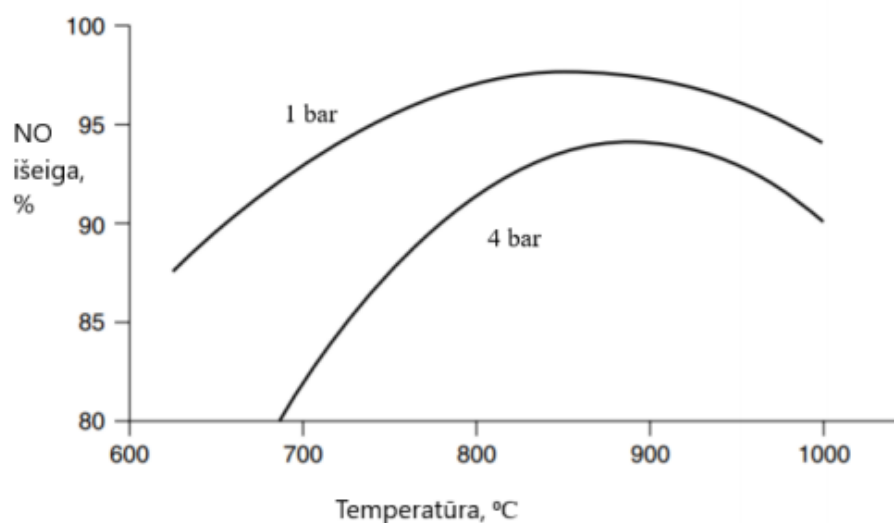
1 pav. NO išeigos priklausomybė nuo amoniako-oro mišinio santykio

Kiti svarbūs parametrai, nuo kurių priklauso NO išeiga yra proceso slėgis ir temperatūra. Remiantis Le Šateljė principu teigiama, kad amoniako oksidavimo reakcija turi vykti mažesniame slėgyje ir

esant žemai temperatūrai. Dauguma reakcijų yra egzoterminės. Didelių apimčių gamybinėmis sąlygomis procesas vykdomas 550–1000 °C temperatūroje. Termodinaminis požiūris reakcijos yra negrįžtamos, nes esant tokioms sąlygoms reakcijos praktiškai vyksta iki galo. Oksidavimo procesui vykstant pusiausvyros sąlygomis susidaro elementinis azotas pagal reakciją [1.5]. Iš trijų amoniako oksidavimo reakcijų, reakcija [1.3] turi mažiausią entalpiją. Norint padidinti azoto monoksido išėigą ir sumažinti šalutinių reakcijų metu susidarančius pašalinius produktus, procesą reikia vykdyti aukštoje temperatūroje bei naudoti katalizatorių. Katalizatorius procese naudojamas ne pusiausvyros sąlygoms pagreitinti, o priešingai, reakciją sulėtinti ir nukreipti procesą pagal pagrindinę reakciją. Didinant temperatūrą didėja NO skilimo galimybė į azotą ir deguonį. Visa tai parodo, kad norint pasiekti didžiausią NO išėigą reikia parinkti tinkamą proceso temperatūrą reaktoriuje su katalizatoriumi. Optimali proceso temperatūra gali būti 800–950 °C, tuomet NO išėiga siekia 98–99 % [11,12]. Kadangi NO susidarymas yra heterogeninė katalizinė reakcija, tai procesas susideda iš tokių etapų:

1. reaguojančių medžiagų difuzija ( $\text{NH}_3 + \text{O}_2$ ) į katalizatoriaus paviršių;
2. aktyvuota deguonies adsorbcija. Pt labai gerai adsorbuoja deguonį, susidaro 5-ių molekulių storio deguonies sluoksnis;
3. aktyvuoto deguonies cheminė sąveika su  $\text{NH}_3$ ;
4. reakcijos produktų desorbcija iš katalizatoriaus paviršiaus;
5. reakcijos produktų difuzija į dujinę fazę.

Nėra nustatyta, kuris iš išvardintų etapų limituoja oksidacijos procesą, todėl nėra proceso greitį aprašančios lygties. Procesui vykstant didesnėje nei 950 °C temperatūroje, patiriami dideli katalizatoriaus nuostoliai, o dėl to rūgštis gamybą brangsta. Pastovi temperatūra reaktoriaus viduje kontroliuojama keičiant amoniako-oro mišinio santykį. Padidinus amoniako koncentraciją mišinyje vienu procentu, temperatūra reaktoriuje padidėja 68 °C. Vadinasi, esant 10–11 %  $\text{NH}_3$  ore, optimali reakcijos temperatūra nėra pasiekama. Todėl mišinys yra pašildomas prieš tiekiant į amoniako oksidavimo reaktorių [2,11]



2 pav. Temperatūros ir slėgio įtaka NO Išėigai

Iš šio grafiko galima matyti, kad NO išeiga didėja esant mažesniai slėgiui, o optimali proceso temperatūra turėtų būti 850–900 °C.

Antras proceso etapas NO oksidavimas į NO<sub>2</sub>. Oksidacija vyksta dujinėje fazėje pagal reakcijos lygtį:



Žemesnėje nei 200 °C temperatūroje reakcijos pusiausvyra pilnai persistumia į produktų pusę. NO oksidavimas – viena iš retų reakcijų, kuri vyksta pagal III laipsnio kinetinę lygtį. Trečio laipsnio kinetinės lygties reakcijos greitis labai priklauso nuo pradinių medžiagų koncentracijos. Kai reakcija vyksta dujinėje fazėje, slėgio didinimas tolygius reaguojančių medžiagų koncentracijos didinimui. Taigi, sureagavimo trukmė yra atvirkščiai proporcinga slėgiui pakeltam kvadratu. Kadangi NO oksidavimas deguonimi yra ypač svarbu etapas azoto rūgšties gamyboje, nuolatos yra atliekami tyrimai oksidavimo greičiui padidinti naudojant įvairius katalizatorius.

Susidaręs NO<sub>2</sub> esant dideliam slėgiui bei žemai temperatūrai gali virsti į N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Reakcijos [1.10] pusiausvyra nusistovi labai greitai. Susidaręs N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> neleidžia vyksti atgalinei NO<sub>2</sub> reakcijai skylant į azoto monoksidą ir deguonį [2, 13].



Trečias etapas – azoto dioksido absorbcija vandeniu gaunant azoto rūgštį. Absorbuojant NO<sub>2</sub>, didžiausia azoto rūgšties išeiga gaunama dėl NO<sub>2</sub> ir N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sąveikos su vandeniu, pagal lygtis:



N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> difuzijos koeficientas yra mažesnis kaip NO<sub>2</sub>, tačiau azoto rūgšties išeiga, sureagavus 1 mol N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yra dvigubai didesnė. Todėl ir N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> absorbcija efektyvesnė. Nitrozinėse dujose yra nedidelis kiekis kitų azoto junginių, pavyzdžiui, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kuris taip pat reaguoja su vandeniu:



Visose trijose reakcijose susidaro nitritinė rūgštis, kuri skyla pagal lygtį:



Absorbcijos kolonos turi būti projektuojamos gana aukštos, nes ši reakcija vyksta gana lėtai, tokiu atveju suteikiama pakankamai laiko reakcijai įvykti. Tokio proceso metu gaunama 45–55 % koncentracijos rūgštis.

Vykstant azoto oksidų absorbcijai susidaro nitritinė rūgštis. Rūgščiai skylant susidaro azoto monoksidas, todėl į absorbcijos koloną turi būti tiekiamas oras, kuris padeda NO suoksiduoti į NO<sub>2</sub>. Vėliau susidaręs azoto dioksidas absorbuojamas vandeniu. Susidariusi azoto rūgštis turi ištirpusių azoto oksidų, todėl jos yra nupučiamos antriniu oru – vyksta rūgšties balinimas [15, 16].

### 1.3 Azoto rūgšties gamybos būdai

Pramoniniu būdu gaminamos azoto rūgšties procesas yra paremtas NH<sub>3</sub> oksidavimu. Vieno slėgio technologijose, skirtingai nei dviejų slėgių sistemose, oksidacijos ir absorbcijos procesai vyksta esant tam pačiam slėgiui. Vieno slėgio gamybą galima vykdyti aukštame slėgyje (6,5–13bar) arba



vidutiniame slėgyje (1,7–6,5). Pasirinkimas priklauso nuo gamybos tikslo: aukštas slėgis naudojamas kai pagrindinis dėmesys skiriamas azoto rūgšties tirpalui gaminti, o vidutinio slėgio technologija yra efektyvus pasirinkimas amoniako oksidacijai su oru gaminant azoto oksidą. Azoto rūgšties gamyba žemame slėgyje praktiškai nebevykdoma, nes vykdant gamybą žemame slėgyje susidaro dideli kiekiai azoto oksidų, kurie vėliau pašalinami į aplinką, o tai sukelia įvairių aplinkosaugos problemų [4, 11].

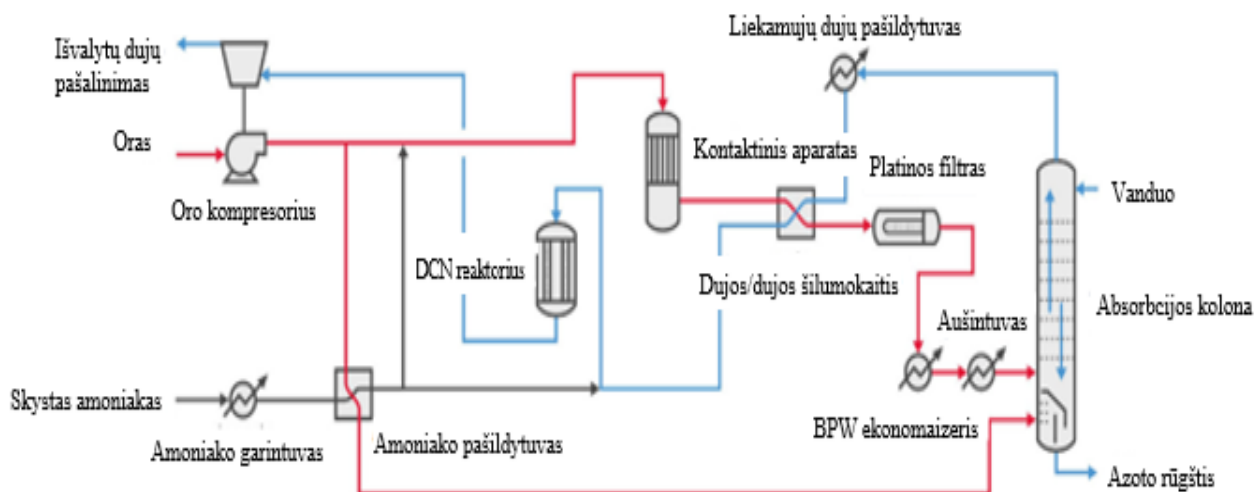
### 1.3.1 Vieno slėgio gamybos būdas

Amoniako oksidavimas žemame slėgyje vyksta esant tokioms sąlygoms – 1,7 barų slėgis, 810–850 °C temperatūra, gaunamas oksidacijos laipsnis >97 %. Amoniako oksidacija žemame slėgyje lemia didesnę konversijos laipsnį bei mažesnius platinos katalizatoriaus nuostolius, palyginti su vidutinio ar didelio slėgio oksidacija. Dėl to katalizatoriaus eksploatavimo laikas prailgėja ir reikalinga retesnė jo priežiūra. Procesui vykti žemame slėgyje reikalingi ypač brangūs reaktoriai, kurie reikalauja ir brangių dujų kompresorių, jog prireikus po oksidavimo proceso nitrozinės dujos būtų suslėgtos iki reikiamo slėgio [17].

Amoniako oksidavimas vidutiniame slėgyje vyksta esant tokioms sąlygoms – 1,7–6,5 barų slėgis, 50–890 °C temperatūra, pasiekiamas konversijos laipsnis 96 %. Vidutinio slėgio gamyboje naudojama išcentriniai kompresoriai, kurių paskirtis suslėgti orą iki 5–6 bar. Amoniako oro maišytuve sumaišomas suslėgtas oras iš kompresoriaus su dujiniu amoniaku. Kadangi NO oksidavimas į NO<sub>2</sub> greičiau vyksta žemesnėje temperatūroje, tai gamyklos, gaminančios rūgštį vidutiniame slėgyje, yra efektyvesnės už gamyklas rūgštį gaminančias aukštame slėgyje [20]. Vidutinio slėgio technologija pranašesnė už aukšto slėgio technologija, nes proceso metu patiriami mažesni katalizatoriaus nuostoliai bei pasiekiamas didesnis oksidacijos laipsnis. Tačiau lyginant su žemo slėgio technologija katalizatoriaus nuostoliai didesni ir proceso metu nepasiekiamas toks oksidacijos laipsnis. Vidutinio slėgio technologijose naudojamas vienas kontaktinis aparatas ir viena absorbcijos koloną, Gamyklos našumas gali siekti apie 700 tonų per dieną. Našumas gali padidėti iki 1000 tonų per parą panaudojus dar vieną papildomą absorbcijos koloną [16].

Amoniako oksidavimas aukštame slėgyje vykdomas esant tokioms darbinėms sąlygoms – 6,5 barų slėgis, 900–940 °C temperatūra, ir oksidacijos laipsnis 95 %. Gamyklų struktūra, kuriose vykdoma azoto rūgšties gamybą aukštame slėgyje yra labai panaši į vidutinio slėgio gamyklų struktūra. Remiantis Johnson Matthey moksliniu straipsniu, Jungtinėse valstijose esančios aukšto slėgio gamyklos amoniako oksidacija vykdoma esant 900–950 °C ir 1–1,3 MPa slėgis. Gamybos metu patiriami dideli katalizatoriaus nuostoliai, lyginant su žemo slėgio ir vidutinio slėgio technologijomis jie yra patys didžiausi. Dėl šios priežasties katalizatorių priežiūrai ir keitimui reikalingos didesnės investicijos [17]. Esminiai proceso parametrai skiriasi dėl didesnio darbinio slėgio. Pagrindiniai skirtumai yra šie:

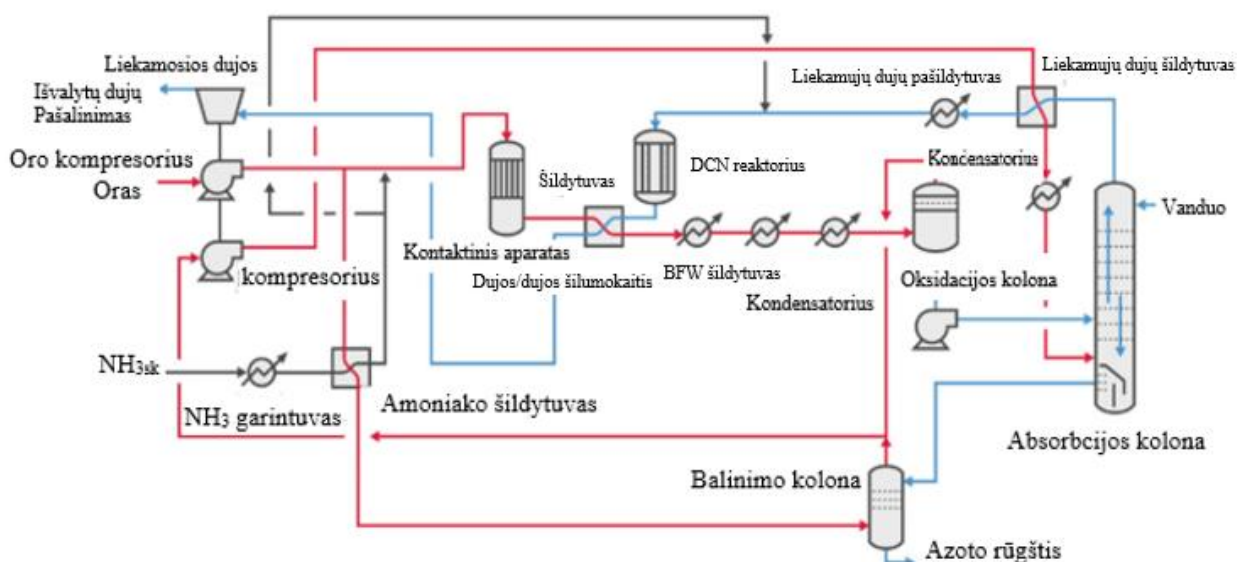
1. Aukštesnė katalizės temperatūra ir slėgis;
2. Mažesnė NO išeiga;
3. Didesni katalizatoriaus nuostoliai;
4. Mažesnis liekamųjų dujų kiekis po absorberio;
5. Dėl aukšto slėgio ekspanderyje išgaunama daugiau energijos, kuri panaudojama dujų pašildymui.



3 pav. Vieno slėgio azoto rūgšties gamyba

### 1.3.2 Dviejų slėgių gamybos būdas

Azoto rūgšties gamyba dviejų slėgių technologijoje vykdoma 850–900 °C temperatūroje. Oksidacijos procesas vyksta platinos katalizatoriaus paviršiuje. Amoniako oksidavimo procesas vyksta esant vidutiniam slėgiui – 0,3-0,6 MPa. Po reaktoriaus nitrozinės dujos patenka į šilumokaitį, kuriame dujos aušinamos iki 150 °C temperatūros. Procesu metu gaunamos NO, NO<sub>2</sub> ir N<sub>2</sub>O vidutinio slėgio dujos. Antrame etape vidutinio slėgio dujos patenka į kompresorių, kuriame suslegiamos iki 1–1,5 MPa slėgio. Suslėgtos dujos iš kompresoriaus privalo būti aušinamos ir patenka į aukšto slėgio aušintuvą – kondensatorių, kuriame NO<sub>x</sub> dujos aušta ir oksiduojamos iki NO<sub>2</sub>. Susidaręs azoto dioksidas nukreipiamas į absorbcijos koloną, kurioje pagaminama 58-62 % azoto rūgštis [18].



4 pav. Dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos technologija

Koncentruota azoto rūgštis gaunama, naudojant vandenį sujungiančias medžiagas. Pramonėje norint gauti koncentruotą azotą reikia panaudoti 92–94 % koncentracijos sieros rūgštį. Azoto rūgšties sukcentravimas vykdomas specialioje kolonoje, o rūgštis į koloną patenka iš talpyklų. Į

apatinę kolonos dalį tiekiamas garas, kuris sušildo azoto rūgštį ir ji pradeda garuoti. Susidare rūgšties garai kyla į viršų, kur kondensuojasi. Garuose esantis vanduo surišamas koncentruota sieros rūgštimi, kuri atiteka į viršutinę kolonos dalį. Susikondensavusi azoto rūgštis būna 98–99 % koncentracijos. Tai vienintelis būdas gauti koncentruotą azoto rūgštį, nes kitais būdais – kaitinimu ar distiliavimu koncentruota azoto rūgštis negaunama. Azoto rūgštis sudaro azeotropus, kurių garų sudėtis ir skystos fazės sudėtis yra vienoda, todėl kaitinant ar veikiant kitais būdais negali būti perskirta. Susidarančių atskirų komponentų garų greitis yra vienodas, dėl šios priežasties vienintelis kelias koncentruoti azoto rūgštį yra prieš tai minėtas būdas naudojant sieros rūgštį [19].

#### 1.4 Technologijų palyginimas

Šiais laikais gali būti projektuojamos visų trijų rūšių azoto rūgšties gamybos procesai, atsižvelgiant į strateginius veiksnius bei poreikį tuo metu. Pradinės investicijos pastatyti vieno slėgio azoto rūgšties gamyklą yra mažesnės nei dviejų slėgių gamyklos pastatymui. Pagrindinis skirtumas, kodėl vienos slėgio technologijos pasirenkamos rečiau – kintamos išlaidos. Taip pat, šių technologijų metu sunaudojamas didesnis kiekis amoniako bei patiriami didesni katalizatoriaus nuostoliai. Šie dalykai ne tik daro įtaką produkto kainai, bet ir proceso efektyvumo ilgaamžiškumui. Vieno slėgio gamybos būdą verta rinktis tuomet, kai norima gaminti nedidelius kiekius rūgšties – iki 900 t/parą. Dauguma ekspertų sutaria, kad dviejų slėgių gamyba šiuo metu yra geriausia įmanoma azoto rūgšties gamybos technologija. Nors reikalingos didesnės pradinės investicijos, tačiau mažesnės eksploataavimo išlaidos su laiku atperka didesnes išlaidas gamyklai pastatyti. 1.3 lentelėje palyginti šie skirtingi procesai [13, 18].

2 lentelė Skirtingų azoto rūgšties gamybų technologijų palyginimas

Proceso tipas	Vidutinio slėgio	Aukšto slėgio	Dviejų slėgių
Proceso slėgis	5,9 bar	10 bar	4,6/12 bar
Amoniako sąnaudos	285	286	282
Elektros energija	9,3 kWh	13,0 kWh	8,5 kWh
Pirminiai platinos nuostoliai	0,15 g	0,26 g	0,13 g
Platinos nuostoliai po utilizavimo	0,04 g	0,08 g	0,03 g
Aušinamo vandens kiekis	100 t	130 t	105 t
Procesui reikalingas vandens kiekis	0,3 t	0,3 t	0,3 t
Aukšto slėgio perteklinis garas	0,76 t	0,57 t	0,65 t
Žemo slėgio perteklinis garas	0,1 t	0,55 t	0,65 t

#### 1.5 Katalizatorių panaudojimas

Dažniausias amoniako oksidavimo metu naudojamas katalizatorius yra platina arba jos lydiniai su rodžiu. Dar aktyvesnis katalizatorius yra paladis, tačiau platinos ir rodžio lydiniai lydymosi temperatūra yra aukštesnė už paladžio. Naudojant paladžio katalizatorių procesas bus efektyvesnis, tačiau procesas bus neekonomiškas, nes katalizatoriaus nuostoliai proceso metu yra kur kas

didesni. Gamybos sąlygomis katalizatorių sunaudojimas priklauso nuo proceso technologinio režimo [2].

Platininiai katalizatoriai dažniausiai naudojami tinklelio pavidalu. Tinkleliai būna sumegzti iš 0,045–0,09 mm storio vielų. Platinos tinkleliai pramoniniuose agregatuose dažniausiai įvirtinami horizontaliai. Prieš tai juos būtina išplauti 30 % HCl rūgštimi. Šis procesas vykdomas norint nuo katalizatoriaus paviršiaus pašalinti nuosėdas. Po to, tinkleliai plaunami distiliuotu vandeniu, kol visiškai pasišalins chloro jonai ir tinklelis džiovinamas.

Yra įvairių rūšių katalizatorių, jų paruošimo būdų bei naudojimo sąlygų, kurie gali būti panaudoti NO konversijai. Svarbiausias dalykas pasirenkant katalizatorių NO oksidacijai tai konversijos laipsnis, katalizatoriaus ilgaamžiškumas, bei kaina. Norint patobulinti azoto rūgšties gamybos technologiją, galima panaudoti katalizatorių oksidacijos kolonoje [19].

Platinos katalizatorius yra pagrindinis pasirinkimas iš tauriųjų metalų NO oksidacija, dėl ilgiausio eksploatavimo laiko. Nuolatos tiriami tokie veiksniai: Pt įkrovos kiekio įtaką NO oksidavimui, platinos oksidų formavimosi įtaka kataliziniam aktyvumui. Didelę įtaką Pt katalizatoriaus aktyvumui turi pačio katalizatoriaus paruošimo sąlygos–slėgis ir temperatūra. Pt katalizatoriai pagaminti esant skirtingoms temperatūroms ir slėgiui pasižymi nevienodomis katalizinėmis savybėmis, o nuo to priklauso NO reakcijos sąlygos bei konversijos laipsnis [20].

Viengubo įmirkymo bimetalinis katalizatorius, kuriame yra platinos ir paladžio, yra paruošiamas drėgnu įmirkimo būdu–gautus miltelius užšaldant, vėliau juos džiovinant ir gaunant monometalinį katalizatorių, kurio nešikliu naudojamas  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  [22].

Dvigubo įmirkimo bimetalinis katalizatorius ruošiamas pradžioje taip pat, kaip ir drėgno impregnavimo metu. Esminis skirtumas yra tai, kad gauti milteliai po įmirkimo išdeginami ir sumaišomi su nedideliu kiekiu azoto rūgšties ir vandens, o tada dar kartą išdeginami 500°C temperatūroje [21].

## **2.TIRIAMOJI DALIS**

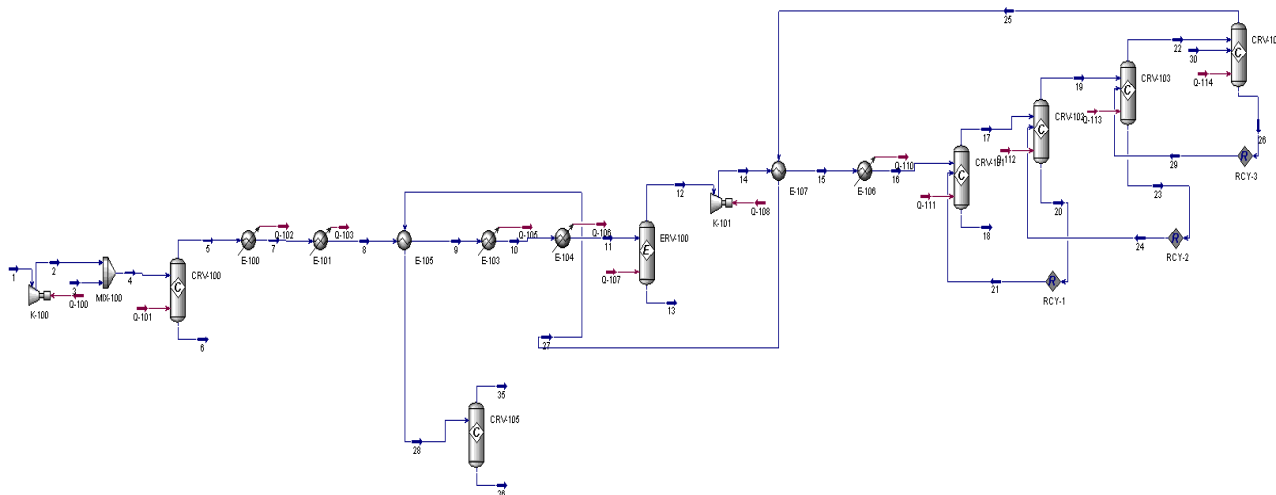
Šiame skyrelyje modeliuojant azoto rūgšties gamybos procesą yra naudojami esamos gamybos technologiniai parametrai, našumai, žaliavų kiekiai. Modeliavimui pasitelkiama Aspen HYSYS V9 programą.

### **2.1 Esamos technologijos modelio sukūrimas**

Šiame skyrelyje modeliuojant azoto rūgšties gamybos procesą yra naudojami esamos gamybos technologiniai parametrai, našumai, žaliavų kiekiai. Modeliavimui pasitelkiama Aspen HYSYS V9 programą.

Modeliuojant azoto rūgšties gamybos procesą Aspen HYSIS aplinkoje, reikia panaudoti įvairius aparatus bei reaktorių, kad gautume norimą galutinį produktą. Šio modeliavimo metu buvo naudojami tokie įrenginių modeliai: 1. Kompresorius (Compressor), skirtas atmosferiniam orui suslėgti 2. Sumaišytuvas (Mixer), vyksta amoniako ir oro sumaišymas 3. Konversijos reaktorių (Conversion reactor), reaktoriuje vyksta  $\text{NH}_3$  oksidavimas į NO 4. Aušintuvas (Cooler) 5. Aušintuvas (Cooler) 6. Šilumokaitis (Heat Exchanger) 6. Aušintuvas (Cooler) 7. Aušintuvas (Cooler) 8. Pusiausvyros reaktorių (equilibrium reactor), skirtas sumodeliuoti NO konversijos procesą į  $\text{NO}_2$  9. Kompresorius (Compressor), skirtas nitrozinių dujų suspaudimui prieš absorbcijos

procesą. 10. Šilumokaitis (Heat Exchanger) 11. Aušintuvas (Cooler) 12. Konversijos reaktorius (Conversion reactor), modeliuojant vaizduoja apatinę absorbcijos kolonos lėkštę 13. Konversijos reaktorius (Conversion reactor), modeliuojant reaktorius atvaizduoja tarpinę absorbcijos kolonos lėkštę 14 Konversijos reaktorius (Conversion reactor) 15. Konversijos reaktorius (Conversion reactor) ,skirtas pavaizduoti viršutinę absorbcijos kolonos lėkštę 16. Konversijos reaktorius (Conversion reactor) liekamųjų dujų valymas. 5 paveikslėlyje pavaizduota kaip atrodo sumodeliuota technologinė schema panaudojus aukščiau išvardintus įrenginius.



5 pav. HNO<sub>3</sub> esamos technologijos schema

## 2.2 Sumodeliuotos technologijos aprašymas

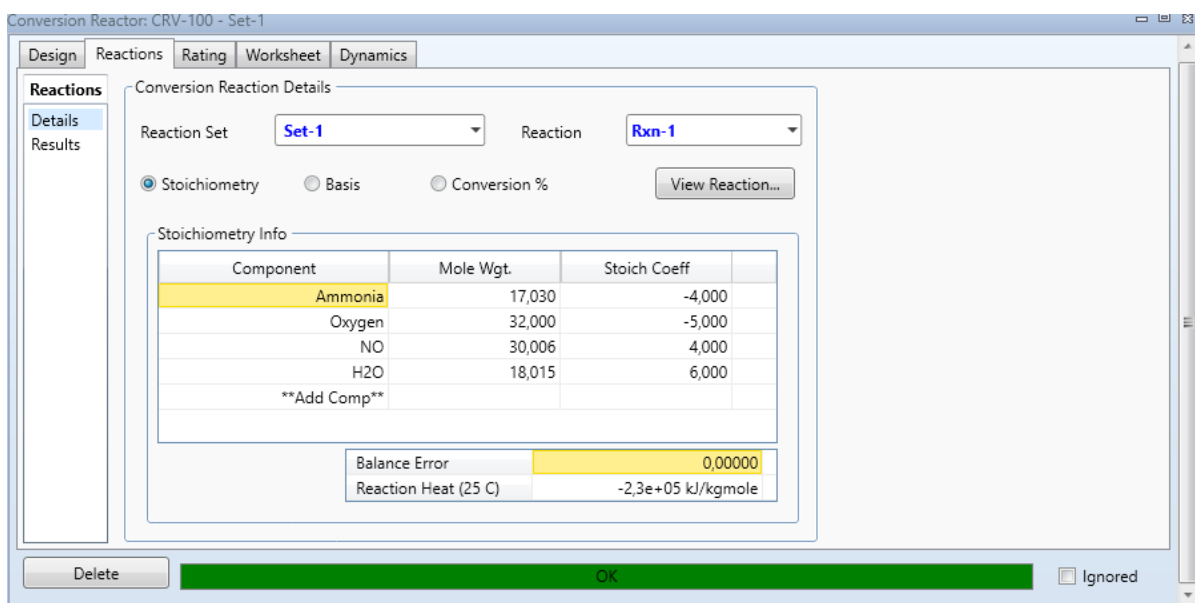
### 2.2.1 Amoniaکو oksidavimas į NO

Azoto rūgšties gamybos metu naudojamas atmosferos oras, kurio temperatūra priklauso nuo aplinkos oro sąlygų. Šio modeliavimo metu naudojamas buvo 20 °C temperatūros oras. Oras, kurio debitas 115000 kg/h, patenka į kompresorių, kuriame suslegiamas iki 2,8 bar. Oro temperatūra pakyla iki 149 °C o suslėgtas oras yra sumaišomas su amoniaku, kurio srauto debitas yra 8562 kg/h, o temperatūra 50 °C. Amoniaکو procentė dalis ore yra 11,5 %. Šis parametras turi didelę įtaką NO išėigai bei nulemia pagal kurią reakciją vyksta procesas.

3 lentelė NO išėigos priklausomybė nuo amoniako koncentracijos amoniako-oro mišinyje

NO Išėiga %	Amoniaکو koncentracija ore tūrio %
97	10
97	10.5
96	11
95	11.5
94	12
93	12.5
92	13

Pagal reakcijos stochiometriją procentinis amoniako kiekis ore yra didesnis (14,3 %), tačiau kaip matome iš 3 lentelės, didėjant amoniako kiekiui ore NO išeiga mažėja, todėl realiomis sąlygomis pasirenkama mažesnė amoniako koncentracija ore. Sumaišytas srautas nukreipiamas į kontaktinį aparatą, Aspen HYSYS programoje naudojame konversijos reaktorių



6 Pav. Konversijos reaktoriuje (conversion reactor) įvesta reakcija

Konversijos reaktoriuje vyksta šios reakcijos:



Kontaktiniame aparate vyksta amoniako oksidavimas iki NO [1.15]. Reakcija yra pagrindinė amoniako oksidavimo reakcija, o [1.16], [1.17] reakcijos yra šalutinės. NO išeigai didelę įtaką turi slėgis bei temperatūra. Taigi, amoniako oksidavimui turi būti parinktos tokios sąlygos, kad procesas vyktų pagal pirmąją reakcijos lygtį. Apačioje pateiktoje 4 lentelėje rodoma, kaip vyktų procesas kontaktiniame aparate keičiant amoniako oksidavimo slėgį ir temperatūrą.

4 lentelė NO išeigos priklausomybė nuo temperatūros ir slėgio

NO, išeiga %	Slėgis, bar	Temperatūra, °C
95	1	750
96	1	800
93	1	900
92	2,8	800
95	2,8	850
91	2,8	900
92	4	900
89	4	950
91	4	850

Palyginus lentelės duomenis atrodytų, kad geriausias variantas vykdyti amoniako oksidavimą būtų atmosferiniame slėgyje, tačiau šis variantas yra netinkamas, nes į gamybą tiekimo amoniako slėgis yra 2,8 baro. Tokiu atveju tektų numesti slėgį iki 1 baro, o tam prireiktų papildomos įrangos bei

padidėtų gamybos išlaidos. Kur kas paprastesnis variantas būtų padidinti slėgį iki 4 barų, tokiu atveju vėlesniems procesams būtų sunaudojama mažiau energijos. Tačiau lentelėje matyti, jog sumažėja NO išeiga bei pasiekama aukštesnė reakcijos temperatūra, todėl būtų reikalingas papildomas aušinimas. Taip pat, didėjant temperatūrai vyksta, didesni katalizatoriaus nuostoliai. Kadangi katalizatorius ypač svarbus šiame procese, todėl proceso sąlygos turi būti parenkamos tokios, kad patiriami nuostoliai būtų patys mažiausi. Apačioje lentelėje palyginamas NH<sub>3</sub> oksidavimas esamose skirtingose technologijose. Visuose procesuose naudojamas Pt/Rd katalizatorius.

**5 lentelė** Skirtingų azoto rūgšties gamybos proceso tipų žaliavų ir katalizatorių nuostolių palyginimas (1 tonai 100 % azoto rūgšties pagaminimui)

Įrenginio pavadinimas	Grand Paroisse	SBA	Pechiney-St Gobain
Darbinis slėgis	2,8–4 bar	3-4 bar	2,6-3,8 bar
Amoniaکو kiekis	282 kg	281 kg	286 kg
Pirminiai katalizatoriaus nuostoliai	0,12 g	0,15 g	0,26 g
Katalizatoriaus nuostoliai po utilizavimo	0,03 g	0,06 g	0,09 g

Palyginus lentelės duomenis matome, kad SBA technologijoje reikalingas pats mažiausias amoniako kiekis, kad būtų gauta 1 tona azoto rūgšties. Tačiau patiriami didesni katalizatoriaus nuostoliai nei GP įrenginyje. Matome, kad Pechiney-St Gobain įrenginyje reikalingas ne tik didesnis amoniako kiekis, bet prarandama ir daugiau katalizatoriaus. Atsižvelgus į išvardintus veiksnius, GP (Grand Paroisse) įrenginys yra ekonomiškiausias. Amoniako kiekis reikalingas šiek tiek didesnis nei SBA įrenginyje, tačiau katalizatoriaus nuostoliai 50 % mažesni, o tai nulemia žymiai ilgesnį katalizatoriaus tarnavimo laiką įrenginyje.

Taigi išanalizavus NO išeigos priklausomybę nuo temperatūros ir slėgio, galima teigti, jog optimalios proceso sąlygos, kuriomis vyksta amoniako oksidavimas kontaktiniame aparate, yra 850–870 °C ir 2,8 barų slėgis. Atitinkamai gaunamas konversijos laipsnis yra 95 %. Apačioje pateikiamas kontaktinio aparato medžiagų balansas.

**6 lentelė** Kontaktinio aparato (conversion reactor) medžiagų balansas

Komponentai	Įtekantis srautas, kg/h	Ištekantis srautas, kg/h
NH <sub>3</sub>	8562	0
N <sub>2</sub>	88213	88565
O <sub>2</sub>	26786	7078
NO	0	14331
H <sub>2</sub> O	0	13585
Viso:	123561	123561

Iš lentelėje pateiktų duomenų matome, kad didžioji amoniako dalis suoksiduojamas iki NO dujų, o likusi dalis sureaguoja ir sudaro elementinį azotą. Kadangi oksidavimo procesas vykdomas aukštoje temperatūroje, todėl susidariusios nitrozinės dujos po kontaktinio aparato turi būti ataušintos. Aušinimas susideda iš 5 stadijų – dujos aušinamos 4 aušintuvuose ir viename šilumokaityje. Pirmajame aušintuve dujos ataušinamos nuo 850 °C iki 750 °C, o slėgio nuostoliai patiriami visuose aušintuvuose yra 1 kPa. Toliau srautas teka į antrą aušintuvą, kuriame dujos ataušinamos iki 320 °C. Trečiasis aušinimo etapas vyksta šilumokaityje. Vamzdine šilumokaičio dalimi teka nitrozinių dujų

srautas, o į tarp vamzdinę dalį tiekiamos liekamosios dujos iš absorbcijos kolonos, kurių temperatūra 54 °C, o slėgis 8,77 barų. Šilumokaityje vyksta šilumos mainai–nitrozinės dujos atiduoda savo šilumą liekamosioms dujoms ir atvėsta iki 250 °C, o liekamosios dujos sušyla iki 152 °C temperatūros. Iki oksidacijos kolonos srautas turi būti ataušintas iki 50 °C, todėl aušinimas vykdomas dar dviejuose aušintuvuose, iš kurių viename dujos atvėsinašamos iki 130 °C, o paskutiniame iki 50 °C. Iš čia kyla pirmoji gamybos problema – naudojami aušintuvai reikalauja gana didelio kiekio energijos, kuri reikalinga srauto aušinimui. Toliau lentelėje pateikiamas bendras energijos balansas, kuris reikalingas ataušinti nitrozinėms dujoms nuo kontaktinio aparato iki oksidacijos kolonos.

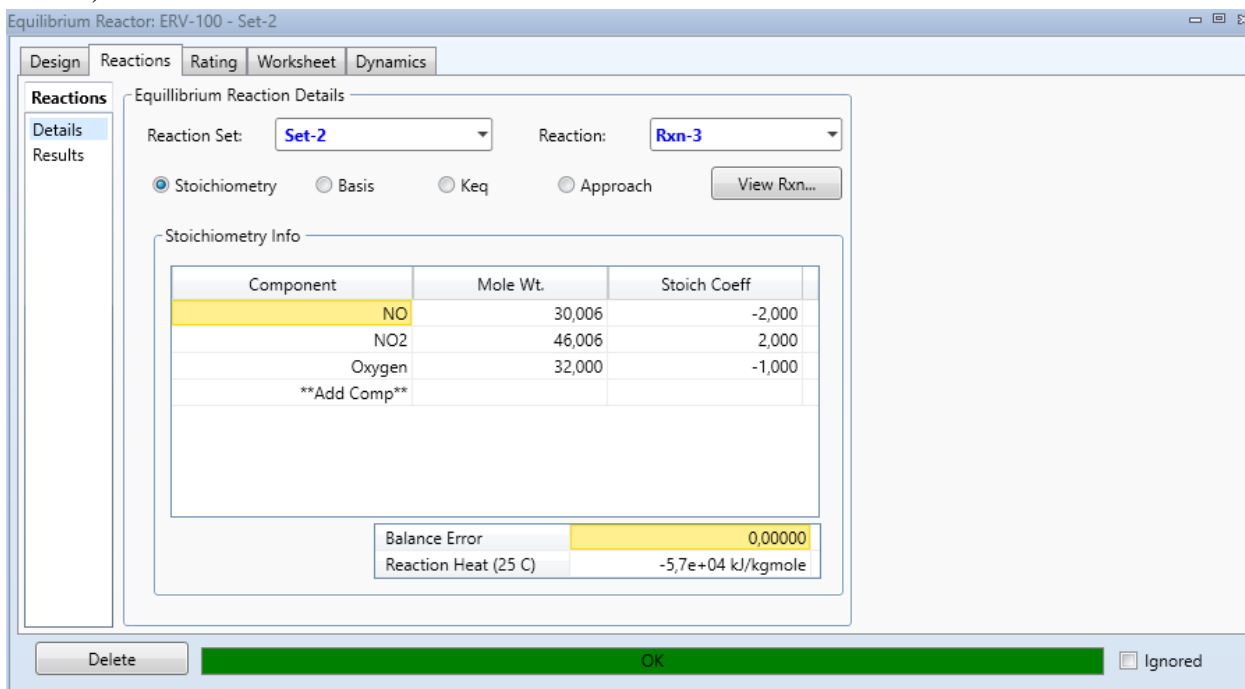
**7 lentelė** Aušinimui reikalingas energijos kiekis

Srauto pavadinimas	Energijos kiekis kJ/h
Q-102	2062347,84
Q-103	4985673,23
Q-104	1481696,04
Q-105	3335155,28
Suma	11864872,31

Iš lentelės matome, kad šiose aušinimo stadijose gali būti gautas labai didelis energijos kiekis, todėl energetiškai modernizavus šią vietą būtų galima įvykdyti pigesnę rūgšties gamybą. Toliau atvėsusios nitrozinės dujos patenka į oksidacijos koloną.

### 2.2.2 NO oksidavimas į NO<sub>2</sub>

Aspen HYSYS aplinkoje NO oksidavimui į NO<sub>2</sub> naudojame pusiausvyros reaktorių (equilibrium reactor).



**7 pav.** Pusiausvyros reaktoriuje (equilibrium reactor) įvesta reakcija.

Šioje proceso stadijoje vyksta NO oksidavimas iki NO<sub>2</sub>, kuris vyksta pagal sekančią reakciją:





Pusiausvyros reaktoriuje vyksta homogeninė katalizinė reakcija, kurios metu susidaro du srautai – pirmasis, dujinis srautas, kuris naudojamas tolimesnei azoto rūgšties, o antrasis, skystasis srautas, iš kolonos apačios gali būti tiekiamas į absorbcijos koloną arba tiesiog nenaudojamas. Pagal schemą projektuojant azoto rūgšties gamybą šio srauto nenaudojame. Apačioje lentelėje pateiktas medžiagų balansas oksidacijos kolonoje.

**8 lentelė** Oksidacijos kolonos medžiagų balansas

Komponentai	Įtekantis srautas, kg/h	Ištekantis srautas, kg/h
N <sub>2</sub>	108565	108565
O <sub>2</sub>	14078	4211
NO	14331	568
H <sub>2</sub> O	13585	13585
NO <sub>2</sub>	0	20789
Viso:	150559	150559

Tai antroji problema gamyboje, kuri gali būti modernizuota ir pakeista. Vienas iš būdų gauti didesnę NO oksidavimo laipsnį į NO<sub>2</sub> yra panaudoti katalizatorių. Tokiu būdu homogeninė katalizinė reakcija pakeičiama į heterogeninę ir gali būti vykdoma aukštesnėje temperatūroje. Toliau, dujinis srautas prieš absorbciją turi būti suslėgtas, todėl patenka į antrąjį kompresorių, kuriame slėgis pakeliamas nuo 2,4 iki 8,9 barų, Kompresoriui veikti reikalinga energija – proceso metu naudojami du kompresoriai: Pirmasis kompresorius naudojamas NH<sub>3</sub> oksidavimo procese, o antrasis prieš absorbcijos procesą. Jiems reikalingas energijos kiekis pavaizduotas lentelėje.

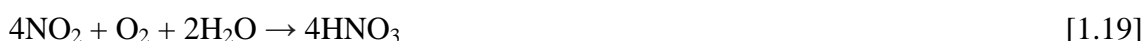
**9 lentelė** Energijos kiekis reikalingas kompresoriams

Kompresoriaus pavadinimas	Energijos kiekis reikalingas kompresoriui veikti, kJ/h
NH <sub>3</sub> oksidavimo proceso kompresorius	12944844,93
Nitrozinių dujų kompresorius prieš absorbcijos koloną	15420578,45

Dėl dujų suslėgimo kompresoriuje, dujų temperatūra pakyla, todėl dujos turi būti aušinamos tol, kol pasieks 50 °C temperatūrą. Pirminis šių dujų aušinimas vyksta šilumokaityje. Kaip ir prieš tai buvusiame šilumokaityje, dujos aušinamos liekamosiomis dujomis iš absorbcijos kolonos. Šioje vietoje liekamosios dujos sušyla nuo 5 °C iki 54 °C temperatūros, o papildomai aušinimui naudojamas aušintuvas. Aušintuve dujos atvėsina iki 50 °C. Atvėsintos dujos nukreipiamos į absorbcijos koloną.

### 2.2.3 NO<sub>2</sub> absorbcija pasigaminant rūgščiai

Modeliuojant procesą Aspen HYSYS aplinkoje negalima naudoti absorbcijos kolonos, todėl kaip alternatyva naudojami keturi nuosekliai sujungti konversijos reaktoriai. Kiekvienas konversijos reaktorių atspindi vieną absorbcijos kolonos lėkštę. Absorbcijos procesas vyksta pagal šią reakciją:



Dujų srautas nuo pirmos iki paskutinės lėkštės atvėsta nuo 50 °C iki 5 °C. Susidariusi skysta fazė po kiekvieno reaktoriaus yra gražinama reciklu į prieš tai buvusį reaktorių. Į viršutinę absorbcijos kolonos dalį taip pat papildomai yra tiekiamas vandens srautas, kurio debitas yra 2000 kg/h, o temperatūra yra 20 °C. Aspen HYSYS programoje suprojektuotoje azoto rūgšties technologinėje schemoje gauname 55 % koncentracijos azoto rūgštį. Gautas tirpalo sudėtis pavaizduota 4 pav.

	Mass Fractions	Vapour Phase	Aqueous Phase	Liquid Phase
NO	0.0001	0.1218	0.0000	0
NO2	0.0010	0.0011	0.0006	0
Ammonia	0.0000	0.0000	0.0000	0
Oxygen	0.0000	0.0000	0.0000	0
Nitrogen	0.0005	0.8200	0.0001	0
H2O	0.4482	0.0104	0.9463	0
N2O	0.0000	0.0000	0.0000	0
HNO3	0.5503	0.0466	0.0530	0

Total: 1,00000

8 pav. Azoto rūgšties koncentracija

Toliau 10 lentelėje pateikiamas azoto rūgšties medžiagų balansas absorbcijos kolonoje.

10 lentelė Absorbcijos kolonos medžiagų balansas

Komponentai	Įtekantis srautas kg/h	Ištekantis srautas kg/h
N <sub>2</sub>	108565	108579
O <sub>2</sub>	4211	0,5
NO	568	214,7
H <sub>2</sub> O <sub>g</sub>	13585	927
H <sub>2</sub> O <sub>s</sub>	25552	21026
NO <sub>2</sub>	20789	0
HNO <sub>3g</sub>	0	4142
HNO <sub>3s</sub>	0	25149
Viso:	172702	172702

Iš lentelėje pateiktų duomenų matome, kad šios technologijos našumas yra 600 t/parai azoto rūgšties. Apačioje palygintos panašiomis technologijomis gaunamos azoto rūgšties kiekiai.

11 lentelė Azoto rūgšties gamybos našumai iš vienos tonos amoniako

Technologijos pavadinimas	Pagaminamos rūgšties kiekis, t
GP(Grand Paroisse)	3,50
570 STPD	3,47
Pechiney-St Gobain	3,55
SBA	3,67

Iš lentelės duomenų matyti, kad Pechiney-St Gobain, SBA technologijomis iš vienos tonos amoniako gaunamas didesnis azoto rūgšties kiekis nei GP technologijoje. Tačiau atlikus NO oksidavimo patobulinimą, galima padidinti ne tik NO konversijos laipsnį į NO<sub>2</sub>, bet padidės ir pagaminamos rūgšties kiekis.

Viršutinėje absorbcijos kolonos dalyje susidaro dujinis srautas – liekamosios dujos, kurios naudojamos prieš tai aprašytuose šilumokaičiuose kaip aušinanti medžiaga. Panaudotos dujos toliau

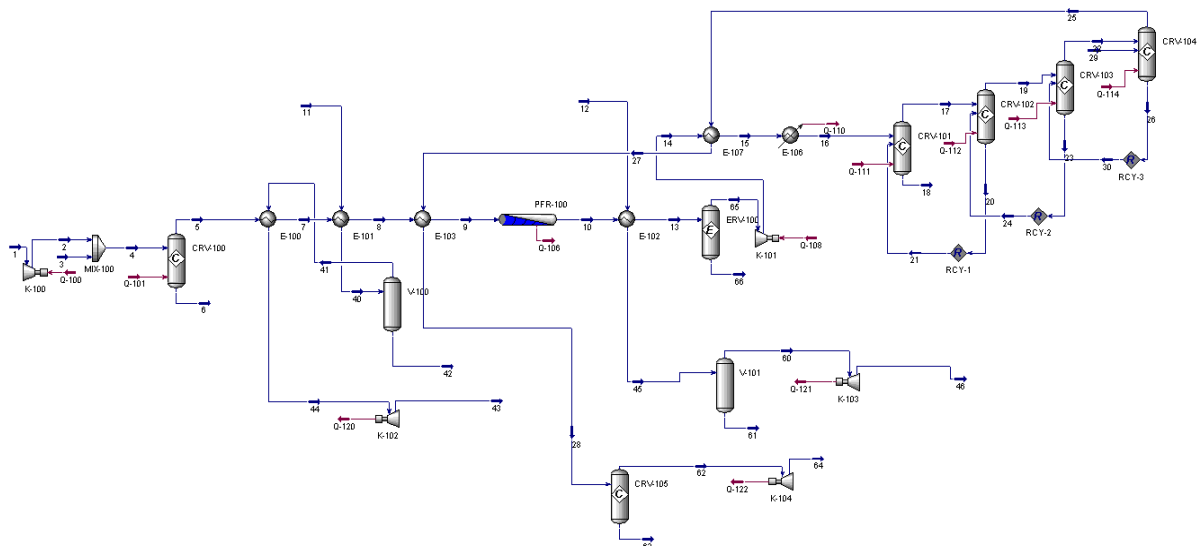
patenka į DeNO<sub>x</sub> reaktorių, kuriame vykdomas selektyvus dujų valymas. Selektvus dujų valymas vyksta pagal šias reakcijas:



Išvalytos dujos pašalinamos į aplinką per kaminą. Taigi, pagrindiniai technologijos trūkumai yra didelės energijos sąnaudos aušinimui, bei NO oksidavimas į NO<sub>2</sub>. Dėl šių priežasčių atliktas schemos patobulinimas, kuris parodo, kaip būtų galima sutaupyti energijos ir gauti didesnę NO oksidavimo laipsnį. Tokiu būdu procesas būtų ekonomiškėnis bei pelningesnis.

### 2.3 Sumodeliuota modernizuota technologija

Modeliuojant modernizuotą azoto rūgšties schemą Aspen Hysys aplinkoje reikia pasitelkti didesnę kiekį įrenginių, tačiau gaunamas efektyvesnis procesas, kuris galėtų būti pritaikytas praktikoje. Modeliuojant modernizuotą schemą buvo panaudoti tokie aparatai: 1. Kompresorius (Compressor) atmosferinio oro suspaudimui prieš NH<sub>3</sub> oksidaciją 2. Sumaišyvas (Mixer), paskirtis paruošti amoniako oro mišinį. 3. Konversijos reaktorius (Conversion reactor), reaktoriuje vyksta NH<sub>3</sub> oksidavimo procesas į NO 4. Šilumokaitis (Heat Exchanger), skirtas aušinti nitrozines dujas po NH<sub>3</sub> oksidacijos, aušinimas vyksta naudojant garus 5. Separatorius (separator), jame atskiriamas garai nuo susikondensavusio vandens 6. Šilumokaitis (Heat Exchanger) aušinimas vykdomas garu 7. Garo turbina (expander), skirta gaminti energiją iš perkaitintų garų. 8. Šilumokaitis (Heat Exchanger), skirtas aušinti nitrozines dujas, aušinimas liekamosiomis dujomis 9. Idealaus išstūmimo reaktorius (IIR), modeliavimo aplinkoje reaktorius žymimas (PFR reactor) ir skirtas vykdyti NO oksidavimą į NO<sub>2</sub> 10. Šilumokaitis (Heat Exchanger) aušinimas šilumokaityje vyksta aukšto slėgio garu 11 Separatorius (separator), atskiriami garai nuo susikondensavusio vandens 12. Garo turbina (expander), skirta gaminti energiją iš perkaitintų garų. 13. Pusiausvyros reaktorius (equilibrium reactor), reaktoriuje vyksta NO konversija į NO<sub>2</sub> 14. Kompresorius (Compressor), skirtas suspausti nitrozines dujas prieš absorbcijos procesą 15. Šilumokaitis (Heat Exchanger) 16. Aušintuvas (Cooler) 17. Konversijos reaktorius (Conversion reactor), atvaizduoja apatinės absorbcijos kolonos dalie lėkštę 18. Konversijos reaktorius (Conversion reactor), tarpinė absorbcijos kolonos lėkštė 19. Konversijos reaktorius (Conversion reactor), tarpinė absorbcijos kolonos lėkštė 20. Konversijos reaktorius (Conversion reactor), vaizduoja viršutinę absorbcijos kolonos lėkštę 21. Konversijos reaktorius (Conversion reactor), reaktoriuje vykdomas selektyvus liekamųjų dujų valymas 22. Liekamųjų dujų turbina (expander), skirta gaminti energijai iš liekamųjų dujų.



9 pav. Patobulinta HNO<sub>3</sub> technologinė schema

Paveikslėlyje pavaizduota tokios pačios koncentracijos azoto rūgšties gamyba, tačiau schemoje atlikti esminiai pakeitimai, kurie leidžia procesą padaryti dar efektyvesniu. Procesas vyksta kaip ir anksčiau – oras suslegiamas, sumaišomas, jis patenka į kontaktinį aparatą, kuriame vyksta NH<sub>3</sub> oksidavimas į NO dujas. Šioje vietoje esminių pasikeitimų nėra, procesas vyksta tokiomis pačiomis sąlygomis ir gaunamas toks medžiagų balansas:

12 lentelė Kontaktinio aparato medžiagų balansas po modernizacijos

Komponentai	Įtekantis srautas	Ištekantis srautas kg/h
NH <sub>3</sub>	8562	0
N <sub>2</sub>	88213	88565
O <sub>2</sub>	26786	7078
NO	0	14331
H <sub>2</sub> O	0	13585
Viso:	123561	123561

Iš lentelėje pateikto medžiagų balanso galima matyti, kad tiek po atnaujinimo, tiek prieš jį, procesas kontaktiniame aparate vyksta identišškai.

Toliau, visi aušintuvai po kontaktinio aparato pakeisti šilumokaičiais. Pirmajame ir antrajame šilumokaityje nitrozinės dujos aušinamos 40 barų 257 °C temperatūros vandeniu. Šilumokaityje 2 dujos ataušinamos nuo 700 °C iki 320 °C, didelė dalis vandens išgaruoja ir visas srautas iš šilumokaičio nukreipiamas į separatorių, kuriame atskiriamas vanduo ir vandens garai. Šiuo atveju atskirtas vanduo nenaudojamas ir nukreipiamas į kanalizaciją. Atrodytų, kad jį būtų galima nukreipti į absorbcijos koloną, tačiau taip nėra daroma. Tokiu atveju vandenį reikėtų aušinti, o tai reikalauja papildomos įrangos bei energijos. Separatoriuje atskirti garai naudojami pirmajame šilumokaityje ataušinti nitrozinėms dujoms nuo 800 °C iki 700 °C temperatūros. Susidaro perkaitinti garai, kurie suka garo turbiną o joje gaminama energija skirta sukti kompresorius. Turbinoje slėgis numetamas nuo 40 barų iki 0,1 baro. Trečiajame šilumokaityje aušinimas vyksta liekamosiomis dujomis iš absorbcijos kolonos iki 250 °C temperatūros. Taip pat kaip ir anksčiau aprašytoje schemoje, likutinės dujos patenka į DeNO<sub>x</sub> valymo įrenginį. Jame vyksta selektyvus valymas pagal

[6], [7] reakcijos lygtis, o iš jo srautas nukreipiamas į turbiną, kurioje dujų slėgis numetamas iki 0,1 baro ir likutinės dujos pašalinamos į aplinką per kaminą.

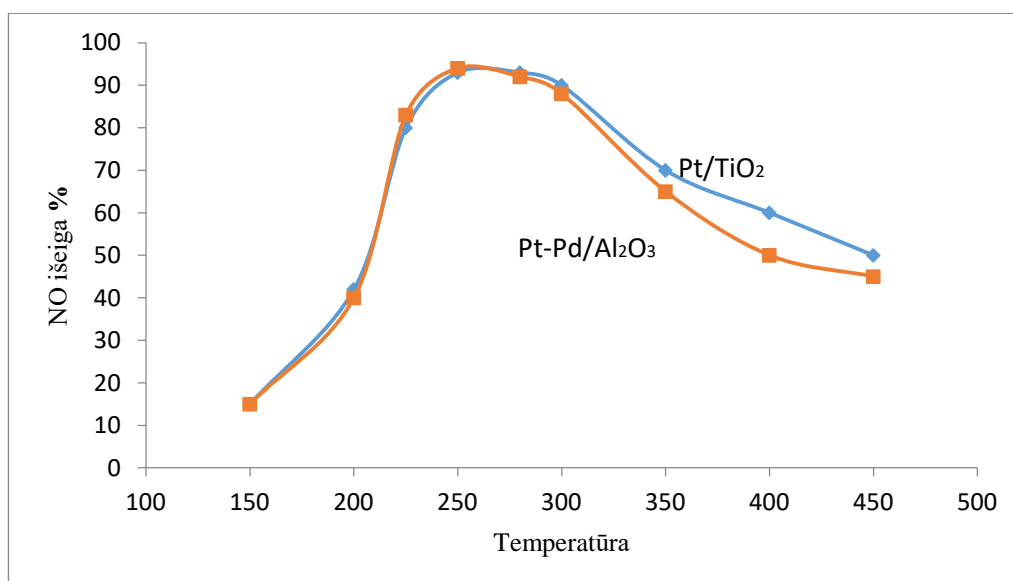
### 2.3.1 NO oksidavimas naudojant katalizatorių

Anksčiau paminėta, kad NO oksidavimas yra viena iš problemų gamyboje, kuri gali būti tobulinama. Lyginant GP (Grand Paroisse), 570 STPD, Pechiney-St Gobain ir ir SBA technologijas, NO oksidavimas į NO<sub>2</sub> vyksta pusiausvyros reaktoriuose. Didžiausia NO išeiga gaunama SBA technologija, išeiga siekia 92 %. Procesas vykdomas 90 °C 3,3 bar slėgyje. Tuo tarpu GP (Grand Paroisse) technologijoje NO išeiga 89 %, procesui vykstant 2,4 bar slėgyje ir 50 °C temperatūroje. Kuo didesnis azoto monoksido kiekis susioksiduoja iki NO<sub>2</sub>, tuo didesnę rūgšties išėigą gauname ir tuo mažesnė dalis azoto oksidų lieka liekamosiose dujose. 570 STPD, Pechiney-St Gobain ir konversijos laipsnis siekia 90 %, tačiau šiose technologijose reikalingas didesnis amoniako kiekis gauti 1 t azoto rūgšties, todėl gamybos kaštai automatiškai tampa didesni nei kitų technologijų. Atlikus NO modernizavimą GP (Grand Paroisse) technologijoje ir panaudojus katalizatorių galima suoksiduoti visą NO iki NO<sub>2</sub>. Taip padidėja ne tik viso proceso išėiga, bet ir pasiekiamas geresnis energetinis balansas. 13 lentelė pateikta katalizatorių, kurie galėtų būti panaudoti gerinant oksidacijos procesą.

13 lentelė Katalizatoriai, kurie gali būti panaudoti oksidacijos kolonoje [21,22,23,24]

Katalizatorius	Katalizatoriaus paruošimo būdas	Reakcijos sąlygos	NO konversijos laipsnis %
Pt/TiO <sub>2</sub>	Įmirkymas	0.04% NO, 10% O <sub>2</sub> , 180 000 h, 250-275 °C	93
Pt/TiO <sub>2</sub>	Sintezės būdas	0.04% NO, 8% O <sub>2</sub> , 180 000 h, 275 °C	83
WO <sub>3</sub> /Pt/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Įmirkymas	0.045% NO, 8% O <sub>2</sub> , 180 000 h, 220 °C	92
MoO <sub>3</sub> /Pt/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Įmirkymas	0.045% NO, 8% O <sub>2</sub> , 180 000 h, 220 °C	81
Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Pt/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Įmirkymas	0.045% NO, 8% O <sub>2</sub> , 180 000 h, 300 °C	78
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /Pt/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Įmirkymas	0.045% NO, 8% O <sub>2</sub> , 180 000 h, 320 °C	67
Pt-Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Įmirkymas	0.05% NO, 8% O <sub>2</sub> , 120 000 h, 250 °C	72
Pt-Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dvigubas įmirkymas	0.05% NO, 8% O <sub>2</sub> , 120 000 h, 230 °C	95
Pd/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Įmirkymas	0.05% NO, 8% O <sub>2</sub> , 20 000 h, 450 °C	31
Ru/TiO <sub>2</sub> (JP25)	Įmirkymas	0.04% NO, 10% O <sub>2</sub> , 180 000 h, 275 °C	94
Ru/TiO <sub>2</sub> -R	Įmirkymas	0.04% NO, 10% O <sub>2</sub> , 180 000 h, 280 °C	91
Ru/TiO <sub>2</sub> -A	Įmirkymas	0.04% NO, 10% O <sub>2</sub> , 180 000 h, 320 °C	82
Ru/ZrO <sub>2</sub>	Įmirkymas	0.04% NO, 10% O <sub>2</sub> , 180 000 h, 285 °C	89

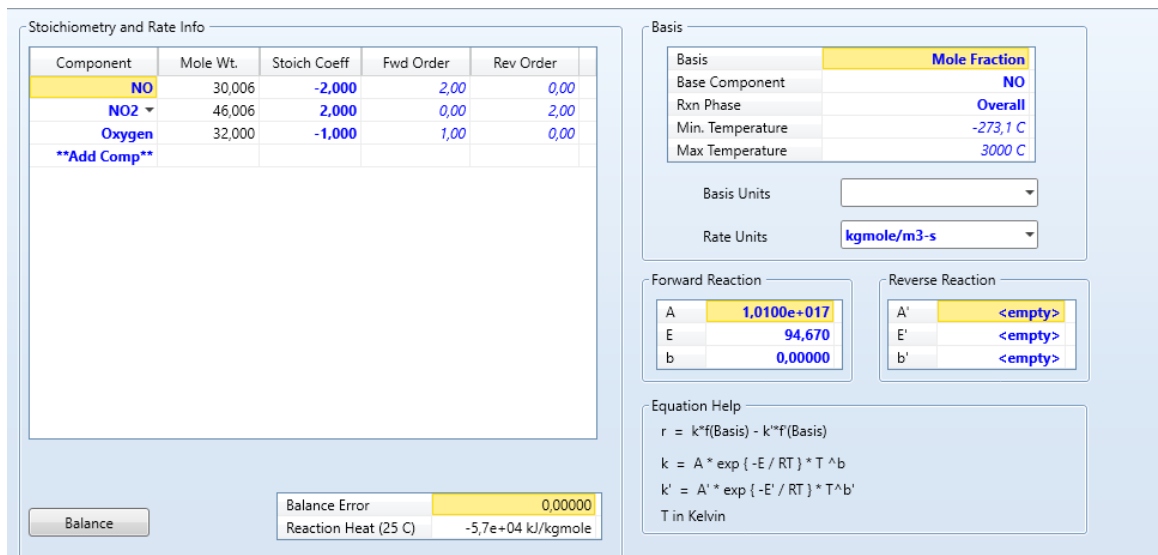
Lentelėje aprašytos pagrindinės darbinės sąlygos, paruošimo būdas, bei naudojant gaunamas NO konversijos laipsnis. Katalizatorių pasirinkimas ypač platus, tačiau tik keletą iš jų gali suaktyvinti procesą taip, kad būtų pasiekiami maksimali NO išeiga. Geriausi katalizatorių pasirinkimai Pt-Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> arba Pt/TiO<sub>2</sub>, nes su jais pasiekiamas didžiausias NO konversijos laipsnis. Taip pat labai svarbu atkreipti dėmesį į katalizatorių darbo sąlygas, tai yra slėgį, temperatūrą ir tarnavimo laiką.



10 pav. NO išeigos priklausomybės nuo temperatūros naudojant skirtingus katalizatorius

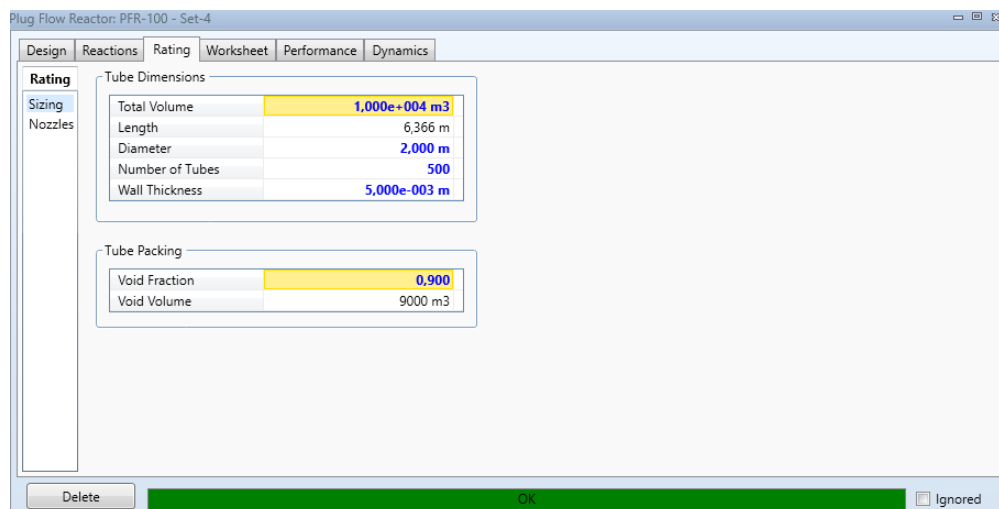
Paveikslėlyje 10 pavaizduoti katalizatoriai, kuriuos naudojant galima pasiekti didžiausią NO išeigą. Kaip matome, naudojant Pt-Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatorių galima pasiekti šiek tiek didesnę konversijos laipsnį nei su Pt/TiO<sub>2</sub> katalizatoriumi. Pt/TiO<sub>2</sub> katalizatoriaus nuostoliai proceso metu 0,04 g, o Pt-Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,06 g. Vadinasi Pt-Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatoriaus nuostoliai yra 2 % didesni. Nors skirtumas atrodo gana nedidelis tačiau tarnavimo laikas, kaip matome iš lentelės 11 skiriasi 1,5 karto. Taip pat Pt-Pd/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatoriaus paruošimas yra žymiai sudėtingesnis, todėl tai stipriai turi įtakos katalizatoriaus kainai. Todėl iš ekonominės pusės ir atsižvelgus į darbinius parametrus bei konversijos laipsnį geresnis pasirinkimas būtų Pt/TiO<sub>2</sub> katalizatorius.

Taip pat, naudojant šį katalizatorių procesą galima vykdyti 250 °C temperatūroje, todėl ataušinimui nereikia naudoti tiek daug nitrozinių dujų ir aušinimui pakanka trijų aukščiau aprašytų šilumokaičių. Ko pasekoje, du aušintuvai nebenaudojami ir taip sutaupoma energija. Aspen Hysys modeliavimo aplinkoje pasitelkiamas idealiojo išstūmimo reaktorius (IIR), leidžiantis panaudoti reakcijos kinetinius duomenis. Apačioje pateiktas paveikslėlis su užrašyta oksidacijos lygtimi bei reakcijos kinetiniais duomenimis.



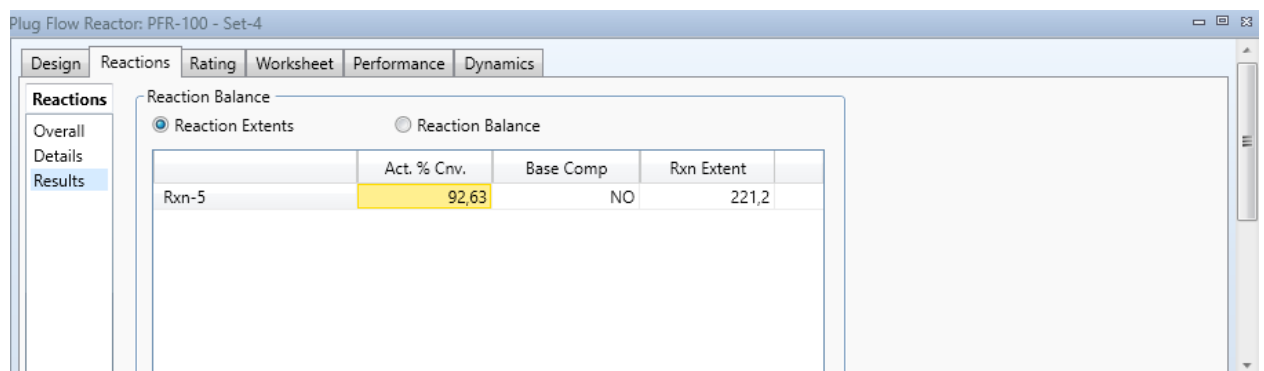
11 pav. Kinetinės reakcijos duomenys

Ši reakcija modeliuojama idealiojo išstūmimo reaktoriuje, tačiau jame taip pat būtina įvesti svarbius parametrus apie patį reaktorių. Paveikslėlyje 12 pavaizduoti pagrindiniai reaktoriaus parametrai: srauto kiekis reaktoriuje 10000 m<sup>3</sup>/h, vamzdelių skaičius reaktoriuje – 500, reaktoriaus plotas – 2m, reaktoriaus ilgis – 6,36m.



12 pav. Reaktoriaus matmenų duomenys

Procesas vyksta 250 °C temperatūroje ir 2,8 barų slėgyje, tokiu būdu vykdant procesą pasiekiamas 93 % konversijos laipsnis.



13 pav. Idealiojo išstūmimo reaktoriuje konversijos laipsnis

Likusi dalis susioksiduoja oksidacijos kolonoje, tokiu būdu Aspen HYSYS aplinkoje pasiekiamas 100 %. NO suoksidavimas iki NO<sub>2</sub>. Tiek idealiojo išstūmimo reaktoriuje, tiek pusiausvyros reaktoriuje, procesas vyksta pagal šią reakcijos lygtį:



Apacioje lentelėje pateikiamas bendras medžiagų balansas po idealiojo išstūmimo reaktoriaus ir pusiausvyros reaktorių.

**14 lentelė** Idealojo išstūmimo reaktoriuje ir pusiausvyros reaktoriaus medžiagų balansas

Komponentai	Įtekantis srautas	Ištekantis srautas kg/h
N <sub>2</sub>	108565	108565
O <sub>2</sub>	14078	3978
NO	14331	0
H <sub>2</sub> O	13585	13585
NO <sub>2</sub>	0	21957
Viso:	150559	150559

Palyginus oksidacijos kolonos medžiagų balanso su idealiojo išstūmimo reaktoriaus(IIR) ir pusiausvyros reaktoriaus medžiagų balanso lentelių duomenis galima daryti išvadą, kad procesas tampa efektyvesnis, visas NO kiekis yra suoksiduojamas. Taip pat, procesas vykdomas aukštesnėje temperatūroje, o tai padeda atsisakyti dviejų aušintuvų.

### 2.3.2 Absorbcijos procesas po modernizacijos

Kadangi naudojant katalizatorių homogeninė reakcija pakeičiama į heterogeninę katalizinę reakciją, todėl vykstant NO oksidavimui į NO<sub>2</sub> visa reakcijos šiluma išsiskiria iškart. Dėl šios priežasties dujų srautas sušyla nuo 250 °C iki 409 °C. Srautas po idealiojo išstūmimo reaktoriaus ir pusiausvyros reaktoriaus šilumokaityje aušinamas 40 barų 257 °C temperatūros vandeniu. Didelė vandens dalis išgaruoja, garas toliau yra atskiriamas separatoriuje ir nukreipiamas į garo turbiną, kurioje slėgis numetamas nuo 40 iki 0,1 baro. Toliau, absorbcijos procesas vyksta taip pat kaip ir ankstesnėje schemoje, tačiau pasiekus didesnę suoksidavimo laipsnį, pasikeičia ir medžiagų balansas absorbcijos kolonoje. Lentelėje pateikiamas absorbcijos kolonos medžiagų balansas po atlikto atnaujinimo.

**15 lentelė** Absorbcijos kolonos medžiagų balansas po modernizacijos

Komponentai	Įtekantis dujinis srautas kg/h	Ištekantis dujinis srautas kg/h
N <sub>2</sub>	108565	108589
O <sub>2</sub>	3978	0,5
NO	0	214,7
H <sub>2</sub> O <sub>g</sub>	13585	927
H <sub>2</sub> O <sub>s</sub>	25552	19026
NO <sub>2</sub>	21957	0
HNO <sub>3g</sub>	0	4242
HNO <sub>3s</sub>	0	26349
Viso:	173637	173637

Palyginus abiejų lentelių duomenis matome, kad atlikus proceso modernizavimą buvo pagerintas ne tik NO oksidavimas į NO<sub>2</sub>, bet ir tuo pačiu padidėjo galutinio produkto išeiga – 1200 kg/h. Taigi bendras paros našumas technologijoj pasikeičia nuo 600 t/parai iki 632 t/parai. Palyginus modernizuoto proceso duomenis su lentelės 10 duomenis gauname, kad GP technologijos našumas



yra 3,71 t rūgšties iš 1 t amoniako. Kadangi amoniakas gaminamas deginant gamtines dujas, kurios yra išsenkantis gamtinis šaltinis galima gaminti tą patį kiekį rūgšties, iš mažesnio kiekio žaliavų. Perskaičiavus, kad norint gauti tą patį rūgšties kiekį kaip esamoje technologijoje 25149 kg/h, patobulintoje linijoje reikės 480 kmol/h dujinio amoniako, o tai net 21 kmol/h mažiau nei gaminant rūgštį be katalizinio NO oksidavimo. Perskaičiavus amoniako kiekį į masę NH<sub>3</sub> reikės 340,7 kg/h mažiau, nei gaminant esama technologija.

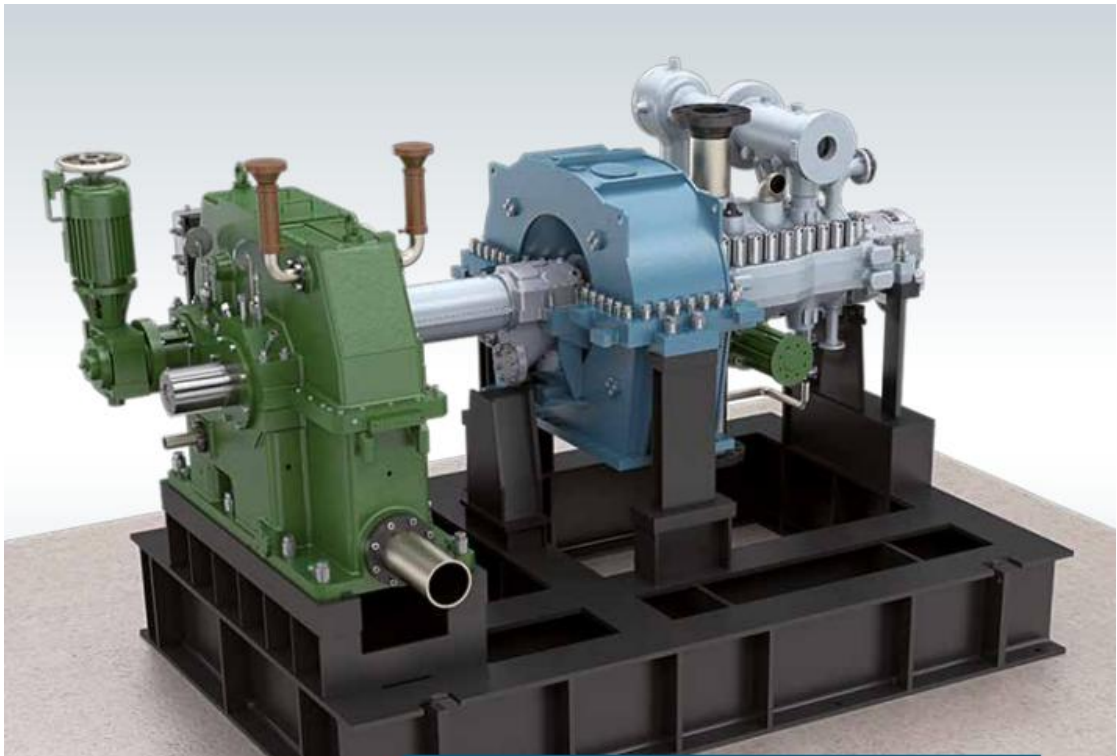
## 2.4 Energetinis proceso balansas po atnaujinimo

Toliau, apskaičiuojamas ir parašomas proceso energetinis balansas, kad būtų galima įvertinti procese sunaudotą energijos kiekį ir energijos kiekį gaunamą iš turbinų.

16 lentelė Energetinis proceso balansas

Procesui reikalingas energijos kiekis		Proceso metu pagaminamas energijos kiekis	
Pozicija	Energijos kiekis, kJ/h	Pozicija	Energijos kiekis, kJ/h
Q-100	15257324	Q-120	42238367
Q-108	36401152	Q-121	6274653
Q perteklinė	10768161	Q-122	13907617
Suma	51658476		51658476

Kaip matome proceso metu susidarantys perkaitinti garai bei liekamosios dujos suka turbinas, kurios generuoja pakankamai energijos visam procesui vykdyti. Didžiausias energijos kiekis yra reikalingas kompresoriams suslėgti dujas prieš kontaktinį aparatą ir prieš absorbcijos procesą. Taip pat iš šios energijos balanso lentelės galima pastebėti, kad pagaminamo energijos kiekio užtenka ne tik visam procesui aprūpinti, bet tuo pačiu yra ir energijos perteklius. Toks energijos perteklius atsiranda dėl atnaujintos gamybos technologijos. Pakeitus aušintuvus į šilumokaičius, aušinimui energija tampa nereikalinga. Dalis aušintuvų gali būti nenaudojami dėl modernizuoto NO oksidavimo naudojant katalizatorių. Perteklinis energijos kiekis galėtų būti panaudojamas elektros gamyboje – proceso metu susidaro apie 9,5 t/h perkaitintų garų o iš tokio kiekio būtų galima pagaminti apie 2,7 MW elektros energijos. Vienas iš būdų panaudoti perteklinę energiją būtų pastatyti garo turbiną. Siemens gaminamos turbinos yra plačiai paplitusios ir labiausiai naudojamos garo turbinos pasaulyje. Siemens pasižymi ne tik kokybe, bet gali pasiūlyti įvairaus tipo ir galingumo turbinų. Turbinų gaminamos energijos kiekis gali svyruoti nuo 300 kW iki 250MW. Šiame projekte kaip optimaliausią variantą pasirenku SST-200 tipo garo turbiną, kurios tikslas bus iš susidarancio perkaitinto garo gamykloje gaminti elektros energiją. SST-200 garo turbinos modelis pavaizduotas paveikslėlyje 14.



14 pav. Garo turbina SST-200

Prieš modernizaciją gamykloje šios garo turbinos potencialas galėtų būti išnaudojamas apie 75 %, tačiau atlikus azoto rūgšties modernizaciją, būtų galima ne tik gauti efektyvesnę rūgšties gamybos procesą, bet tuo pačiu ir padidinti šios turbinos apkrovimą ir gauti didesnę kiekį elektros energijos. Iš procese susidarancio perkaitinto garo turbinos apkrova galima būtų padidinti iki 85 %.

17 lentelė Garo turbinos SST-200 parametrai

Maksimalus energijos kiekis gaminti	20MW
Maksimalus apsisukimų skaičius	2500 rpm
Maksimali galima įėjimo temperatūra	540°C
Maksimalus įėjimo slėgis	120 bar
Variklio aušinimui reikalingas vandens slėgis	0,1-0,15 bar

#### 2.4.1 Garo Turbinos SST-200 principinis veikimas

SST-200 yra vieno korpuso garo turbina, užtikrinanti nuo 40 iki 50 Hz kintamosios elektros srovės srautą į generatorių, kompresorių ar siurblių. Simetriškas turbinos apvalkalas su horizontalaus jungimo flanšais įgalina šia turbiną pasiekti greitą paleidimą, greitą apkrovos bei laiko keitimą. Taip pat galimi įvairūs kiti pakeitimai turbinoje, kad ši dirbtų ekonomiškiausiu režimu. Šios turbinos priežiūra yra ypač paprasta, paprastas priėjimas prie pagrindinių turbinos detalių, lengvas ardymas bei naujų detalių keitimas, vykstantis procesas nėra sudėtingas ir greitai įsisavinamas.

### 3. INŽINERINĖ DALIS

#### 3.1. Azoto rūgšties technologinė schema ir jos aprašymas

Azoto rūgšties gamybą sudaro šios pagrindinės stadijos:

1. Oro Suspaudimas
2. Amoniakoro mišinio paruošimas
3. NH<sub>3</sub> oksidavimas
4. Nitrozinių dujų šilumos utilizavimas
5. Silpnos rūgšties kondensavimas ir nitrozinių dujų oksidacija
6. Nitrozinių dujų suspaudimas ir šilumos utilizavimas
7. Absorbicija ir rūgšties gavimas
8. Azoto rūgšties balinimas
9. Liekamųjų dujų valymas
10. Azoto rūgšties sandėliavimas

Gamybos proceso metu gaunami bei naudojami šalutiniai energetiniai srautai:

1. Garai ir kondensatas
2. Katilą maitinantis vanduo
3. Apytakinio ciklo vanduo

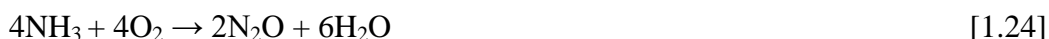
##### 3.1.1 Amoniakoro mišinio paruošimas

Atmosferos oro filtravimas vyksta oro filtre 3, taip iš oro pašalinama 99,9 % mažesnių nei 0,3 μm nešvarumų. Oras valomas stengiantis išvengti dulkių apnašų susidarymo ant kompresoriaus menčių. Žiemos metu kai oro temperatūra žemesnė nei 5 °C, įsiurbiamas oras pašildomas kaloriferyje. Išvalytas oras nuo dulkių tiekiamas į oro kompresorių 4A, kuriame suslegiamas iki 2,8 barų slėgio. Suslėgtos dujos sušyla iki 150–180 °C temperatūros. Toliau, oras patenka į aušintuvą 5, kuriame atvėsinama iki 130–165 °C, aušinamųjų dujų slėgis nesikeičia. Visas oro srautas proceso metu padalinamas į du srautus: pirminį ir antrinį oro srautą. Pirminis oro srautas sudaro apie 80 % viso srauto, o antrinis apie 20%. Pirminis oro srautas tiekiamas į amoniako – oro maišytuvą 7, į kurį taip pat tiekiamas ir dujinis amoniakas. Amoniakoro mišinys nukreipiamas į amoniako – oro mišinio filtrą 8. Antrinis oro srautas aušinamas aušintuve 6 apytakinio ciklo vandeniu. Vanduo sušyla iki 80–120 °C ir naudojamas rūgšties balinimui prapūtimo kolonoje 17. Amoniakoro išgarintuvas sudarytas iš dviejų dalių: amoniako išgarintuvo 1 ir amoniako prapūtimo išgarintuvo 9. Išgarinimo įrenginys skirtas tiekti dujinį amoniaką į kontaktinius aparatus 10 A/B/C/D. Užtikrinti sklandų amoniako išgarintuvo darbą į jį nuolatos tiekiamas pastovus skysto amoniako kiekis. Neišgarinta skysto amoniako dalis išgarintuve naudojama liekamųjų dujų valyme. Amoniakoro mišinys tiekiamas į keturis kontaktinius aparatus 10 A/B/C/D. Amoniakoro – oro mišinio santykis palaikomas 11,5–12 % pagal amoniaką. Viršijant nustatytą amoniako-oro santykį automatiškai užsidaro du blokuojantys vožtuvai ir užtikrinamas amoniako nutekėjimas.

##### 3.1.2 NH<sub>3</sub> oksidavimas kontaktiniame aparate

Kontaktinių aparatų viršutiniai atvamzdžiai yra su Rašigo žiedais. Rašigo žiedai užtikrina tolygų amoniako-oro mišinio paskirstymą katalizatoriaus tinklelio paviršiuje. Kontaktiniame aparate įtvirtintas platinos – rodžio lydinio katalizatorius. Platinos katalizatoriaus skirtas intensyvinti

procesą pagal reakciją [1.23], o rodis skirtas sumažinti platinos nuostolius išnešamus su dujomis. Heterogeninėse reakcijose, reaguojant amoniakui su oru, galimos įvairios reakcijos.



Tuo pat metu vyksta ir šalutinės reakcijos, kurių galutinis produktas yra  $\text{N}_2$  ir  $\text{N}_2\text{O}$ . Reakcijos yra egzoterminės, negrįžtamos ir realiomis gamybos sąlygose procesas apibrėžiamas tik šių reakcijų greičiais. Reakcijos [1.23] greitis didžiausias naudojant metalinius platinos – paladžio arba platinos – rodžio katalizatorius. Reakcijos oksidų išeigai įtakos turi šie faktoriai:

**Temperatūra.** Kylant reakcijos temperatūrai iki  $910\text{ }^\circ\text{C}$ , oksidų išeiga didėja, didėja reakcijos greitis ir sureagavusio amoniako kiekis.

**Slėgis.** Pakilus slėgiui azoto oksidų išeiga mažėja, sumažėja agregato našumas.

**Amoniako – oro mišinio užterštumas** tepalu ir mechaninėmis priemaisomis. Priemaišos užteršia katalizatorių, mažėja konversijos laipsnis.

**Amoniako koncentracija.** Amoniako koncentracija pakilus iki  $12\%$ , azoto oksidų išeiga mažėja.

Amoniako oksidavimo procesas vyksta  $850 \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$  temperatūroje. Norint išlaikyti katalizatoriaus paviršiaus temperatūrą pastovią ir normos ribose, reguliuojamas amoniako – oro santykis. Kontaktiniame aparate po pirminio katalizatoriaus sluoksnio susidariusios dujos susideda iš azoto oksidų, vandens garų ir elementinio azoto ir yra vadinamos nitrozinėmis dujomis (ND). Nitrozinėse dujose taip pat yra ir šalutinio reakcijos produkto – azoto suboksido ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Šis produktas azoto rūgšties gamyboje yra visiškai nenaudingas, bei labai kenksmingas, todėl kontaktiniame aparate yra įrengtas antrinis katalizatorius. Nitrozinės dujos pratekėdamos per antrinį selektyvaus  $\text{N}_2\text{O}$  mažinimo katalizatorių, kuris sumontuojamas kontaktiniame aparate po pirminio katalizatoriaus sluoksniu azoto suboksidas skyla į  $\text{N}_2$  ir  $\text{O}_2$ .  $\text{N}_2\text{O}$  valymo katalizatorius yra sumontuotas specialiame krepšyje  $150\text{--}200\text{ mm}$  sluoksnio storiu. Katalizatorius sudarytas iš Rašigo žiedų arba plytelių formos retųjų žemės metalų oksidų. Amoniako oksidacijos metu susidairančių dujų temperatūra yra  $850 \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ . Šių dujų šiluma panaudojama perkaitintiems garams gaminti ir kitiems technologiniams srautams pašildyti. Po platinos tinkleliais esančios žemo slėgio nitrozinės dujos, prateka per šilumokaičius ir koloną: garo perkaitą *11 A/B/C/D*, katilus – utilizatorius *12 A/B*, liekamųjų dujų šaldytuvą *13*, ekonomizerį *14* žemo slėgio  $\text{NO}_x$  kondensatorių *15* ir oksidacijos koloną *16*. Šiuose įrenginiuose yra panaudojama nitrozinų dujų šiluma susidariusi amoniako oksidacijos metu.

### 3.1.3 Silpnos rūgšties kondensacija ir NO oksidavimas

Nitrozinės dujos ištekančios iš kondensatoriaus *15*, patenka į vamzdinį reaktorių (oksidacijos koloną). NO oksidavimo procesas vykdomas  $250\text{ }^\circ\text{C}$  temperatūroje. NO konversijos laipsniui padidinti naudojamas Pt/TiO<sub>2</sub> katalizatorius. Vamzdiame reaktoriuje pasiekama  $93\%$  NO konversija į NO<sub>2</sub>. Vykstant reakcijai dujų temperatūra pakyla iki  $320\text{ }^\circ\text{C}$ . Toliau srautas patenka į oksidacijos koloną *16B*, kurioje dujos atvėsta, kad būtų palengvinta likusių nitrozinų dujų

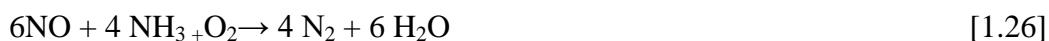
oksidacija. Antrinis oro srautas, turintis nitrozinių dujų pėdsakų, patenkantis iš prapūtimo kolonos 17, susimaišo su žemo slėgio nitrozinėmis dujomis oksidacijos kolonos apačioje. Šių dviejų srautų mišinys kyla aukštyn per skėtinio tipo lėkštes. Nitrozinių dujų oksidacijos šiluma perduodama tiesioginio kontakto metu į koloną tiekiamai rūgščiai, kuri iš kolonos viršaus teka žemyn. Nitrozinės dujos iš oksidavimo kolonos išteka 35–60 °C. Aušinant nitrozinės dujos kondensuojasi silpna rūgštis, kuri panaudojama cirkuliacijai.

### 3.1.4 Nitrozinių dujų kompresija ir NO<sub>2</sub> absorbcija

Nitrozinės dujos iš oksidavimo kolonos patenka į separatorių 21, kuriame nitrozinės dujos atskiriamos nuo skysčio lašelių ir tiekiamos į nitrozinių dujų kompresorių 4B. ND dujos kompresoriuje suslegiamos iki 8,5–8,8 bar slėgio. Toliau srautas tiekiamas į absorbcijos koloną 22. Absorbcijos kolona sudaryta iš 33 perforuoto tipo lėkščių. Aukšto slėgio NO<sub>x</sub> dujos prateka per skysčio atskyrimo įrenginį, kurio paskirtis užtikrinti, kad skystis kolonos viduje negalėtų tekėti atbuline eiga. Tuomet aukšto slėgio nitrozinės dujos tiekiamos į apatinę absorbcijos kolonos dalį. Dujos kyla į viršų per 33 perforuoto tipo lėkštes su skylutėmis. Ant kiekvienos lėkštės absorbuojasi didžioji dalis N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, taip susidaro azoto rūgštis ir nedideli kiekiai NO dujų. Tarpas tarp lėkščių, naudojamas kaip terpė NO dujų oksidacijai vykti. Tarpai tarp visų lėkščių yra vienodi ir daromi tam, kad susidariusios NO dujos pilnai susioksiduoti į NO<sub>2</sub> ir N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> bei susidarytų azoto rūgštis. Iš kolonos ištekančiose liekamosiose dujos yra apie 1200 ppm NO<sub>x</sub>. Dujos nukreipiamos į šilumokaičio 24 vamzdinę dalį. šilumokaityje 24 liekamosios dujos aušina į absorbcijos koloną tiekiamas aukšto slėgio NO<sub>x</sub> dujas. Taip pat absorbcinės kolonos laistymui naudojamas dalinai valytas bazinis parūgštintas kondensatas, kuris tiekiamas iš KAN cecho ir patenka į absorbcinės kolonos lėkštę Nr.31. Absorbcijos kolona taip pat laistoma dalinai nudruskintu vandeniu, kuris tiekimas į viršutinę kolonos dalį lėkštę Nr. 33. Iš nitrozinių dujų kondensatoriaus 15 silpna rūgštis tiekama į apatinę kolonos dalį. Pagaminta rūgštis kaupiama absorbcinės kolonos kūginėje dalyje. Absorbcijos kolonoje susidariusioje rūgštyje yra didelis kiekis ištirpusių nitrozinių dujų, kurios rūgščiai suteikia spalvą, todėl rūgštis turi būti balinama. Balinimo proceso metu rūgštis išgarinama karšto oro srautu, taip iš rūgštis pašalinant ištirpusias dujas. Į prapūtimo kolonos 17 viršutinę dalį tiekama rūgštis prisotinta nitrozinėmis dujomis, o iš pačios tiekiamas antrinis oro srautas ir išgarina rūgštyje esančias. Pagaminta rūgštis iš prapūtimo kolonos sandėliuojama azoto rūgštis saugyklose.

### 3.1.5 Liekamųjų dujų valymas

Absorbcijos kolonos liekamosios dujose yra 1200–1250 ppm NO<sub>x</sub>, kurių temperatūra yra 25–35 °C, o slėgis 870–900 kPa. Jos sušyla vamzdiniuose šilumokaičiuose 24 ir 13. Likutinių dujų temperatūra po šilumokaičio 13 ir 24 pakyla iki 205–270 °C. Jeigu dujos nepasiekia šios temperatūros ir išteka žemesnės temperatūros jos pašildomos iki 220–270 °C. Norint užtikrinti, kad DeNO<sub>x</sub> sistemoje tinkamai vyktų selektyvus dujų valymas, likutinių dujų temperatūra turi būti ne žemesnė nei 220 °C. Toliau srautas sumaišomas su nedideliu kiekiu amoniako dujų, kuris tiekiamas iš amoniako išgarintuvo į DeNO<sub>x</sub> amoniako išgarinimo įrenginį ir yra būtinas vykdant selektyvų dujų valymą DeNO<sub>x</sub> reaktoriuje 29. Selektvus dujų valymas vyksta pagal sekančias reakcijas:



Abi įvardintos reakcijos yra egzoterminės ir reakcijos metu dujų temperatūra pakyla 15 °C. Reikalingas amoniako kiekis selektyviam valymui išgarinamas DeNO<sub>x</sub> amoniako išgarinimo įrenginyje 26 ir truputį pašildomas DeNO<sub>x</sub> amoniako šilumokaityje 27. Skysto amoniako lygio palaikymas vykdomas valdymo vožtuvu jį atidarant arba uždarant. Šilumą, reikalingą amoniako išgarinimui šilumokaityje 26, suteikia gyvatukuose. cirkuliuojantys garai. Išgarintas amoniako kiekis priklauso nuo slėgio išgarintuve: kuo didesnis slėgis, tuo aukštesnė amoniako virimo temperatūra. Slėgis kyla tol, kol perduodamos šilumos kiekis atitinka reikiamą išgarinto amoniako srautą. Iš amoniako išgarintuvo 26 atitekančios dujinio amoniako slėgis kontroliuoja garų kiekį amoniako išgarintuvo 26 gyvatukuose. Dujinis amoniakas perkaitinamas garais amoniako perkaitintuve 27. Apsauginiai vožtuvai skirti sustabdyti amoniako tiekimą į DeNO<sub>x</sub> reaktorių ir saugioje vietoje išmesti jį į atmosferą: taip išvengiama slėgio padidėjimo sistemoje ir tolesnių problemų. Amoniako – likutinių dujų maišymo įrenginys 28 ir DeNO<sub>x</sub> reaktoriaus 29. Dujinis amoniakas iš įpurškimo įrenginio įpurškiamas į liekamųjų dujų vamzdį. Prieš DeNO<sub>x</sub> reaktorių yra sumatuota termopora matuoti temperatūrai, bei siųsti signalus į valdymo pultą. Jei dujų temperatūra į DeNO<sub>x</sub> reaktorių per žema, DeNO<sub>x</sub> reaktoriaus stabdomas. Užtikrinti sklandų dujų valymą prieš ir po DeNO<sub>x</sub> reaktoriaus įrengti specialūs dujų analizatoriai, kurie nuolatos siunčia valomų dujų parametrus į valdymo pultą. Po DeNO<sub>x</sub> reaktoriaus NO<sub>x</sub> kiekis neturi viršyti 50 ppm. Ši priemonė užtikrina saugų agregato darbą ir nesudaro sąlygų formuotis amonio nitratui tuo atveju, kai DeNO<sub>x</sub> reaktoriuje amoniakas nesureaguoja su nitrozinėmis dujomis. Taip pat šiais analizatoriais įsitikinama, kad išmetamų dujų kiekiai neviršija leistinų normų. Amoniako ir deguonies kiekius atitinkamai nuolatos kontroliuoja po DeNO<sub>x</sub> reaktoriaus esantys analizatoriai. Esant normalioms liekamųjų dujų turbinos 4C temperatūrinėms darbo sąlygomis, amoniakas, galintis būti likutinėse dujose, gali sureaguoti su NO<sub>x</sub>, suformuodamas amonio nitratą ir sukeldamas skilimo pavojų. Dėl to amoniako kiekis po DeNO<sub>x</sub> reaktoriaus matuojamas ir palaikomas kiek įmanoma mažesnis, neviršijantis 2 ppm. Amoniako kiekio matavimui naudojami tam specialiai pritaikyti analizatoriai. Signalizacija suveikia prie 1 ppm, o amoniako kiekiui pakilus iki 2 ppm DeNO<sub>x</sub> skyrius blokuojamas. Analizatoriaus darbas ir kalibravimas vykdomas nuolatos ir turi būti kontroliuojamas mėginiais ir laboratorine dujų analize. Iš DeNO<sub>x</sub> reaktoriaus likutinės dujos, kurių slėgis 870–900 kPa, o temperatūra 210–285 °C, siunčiamos į liekamųjų dujų turbiną 4C, kur jos išplečiamos dalinio įsiurbimo rankinių vožtuvų pagalba. Liekamųjų dujų turbina skirta sukurti nitrozinių dujų kompresorių. Išvalytos iki normų liekamosios dujos per kaminą pašalinamos į atmosferą kartu su dujomis iš prapūtimo ventiliatoriaus bei separatoriaus.

## **3.2. FINANSINIAI IR EKONOMINIAI SKAIČIAVIMAI**

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

Nuolatos ieškoma būdų kaip pagerinti esamus produktus ar technologijas. Tačiau dažnu atveju sukūrus technologiškai geresnį produktą susiduriama su ekonominėmis problemomis. Planuojant azoto rūgšties gamybos technologiją svarbu ją įvertinti ekonomiškai, norint nustatyti, ar technologijos modernizavimas bus ekonomiškai efektyvus.

Visos pramonės šakos, ypač chemijos pramonė, pasižymi dideliu įmonių skaičiumi. Kiekviena dirbanti įmonė siekia nuolatos gerinti technologijas, diegia naujus procesus, kurie leistų išlikti konkurencingais rinkos atžvilgiu. Ne visuomet tobulinamas galutinis produktas, dažnai bandoma patobulinti esamas technologijas siekiant sutaupyti energijos, gamyboje naudojamų žaliavų ar

įrangos kaštus. Tuomet pagaminus produktą pigiau, įmonė gali sumažinti savo parduodamo produkto kainą, taip pritraukiant daugiau klientų ir sutaupant pinigų skirtų gamybos plėtrai.

Deja, egzistuoja ir veiksniai, kurie yra nekontroliuojami – ekonominiai, demografiniai, technologiniai, gamtos, socialiniai, kultūriniai ir politiniai. Jie sudaro išorinę rinkodaros aplinką ir taip gali pakeisti produkto kainą. Taigi, įmonei yra būtina stengtis tobulinti technologijas, analizuoti aplinkos veiksnius ir juos pritaikyti taip, kad atneštų naudos.

Projektuojant azoto rūgšties gamybos modernizavimą ir prieš ir po patobulinimų analizuojami aplinkos veiksniai ir vertinami ekonominiai rodikliai. Pagrindinis tobulinimo siekis – sumažinti gamybos išlaidas, norint pagaminti didesnę kiekį produkto. Pasirėmus inžineriniais sprendimais buvo sudarytas medžiagų balansas ir apskaičiuota, kad norint pagaminti tą patį azoto rūgšties kiekį reikėtų 340,7 kg/h mažiau amoniako, lyginant su kiekiu prieš technologijos patobulinimą. Rinkoje esanti amoniako kaina 2021 kovo mėnesio duomenimis yra 223 \$ už 1 toną arba 206 € už 1 toną

### 3.2.2 Projekto investicijos, finansavimo šaltiniai

Akcinis kapitalas bei paskolos yra pagrindiniai projekto finansavimo šaltiniai. Pirmiausia, ekonominis vertinimas pradedamas skaičiuojant ilgalaikio turto įsigijimui reikalingus kaštus. Šiuo atveju tai būtų vamzdinė oksidavimo kolona, Pt/TiO<sub>2</sub> katalizatorius.

18 lentelė Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	Tūkst. Eur	Struktūra	Tūkst. Eur
Gamybos priemonėms ir ilgalaikiam turtui įsigyti	509,37	Akcinis kapitalas, rezervai, akcininkų nuosavybė	439,69
Įrenginio darbų kaštai	250	Paskolos	439,69
Kiti kaštai	120		
Viso kaštų:	879,38	Viso:	879,38

Technologijos modernizavimo kaštai padengiami lygiomis akcininkų kapitalo ir paskolų dalimis. Paskolos suma siekia 439,69 tūkst. Eur. Ji paimta investiciniu kreditu su 4 % metinėms palūkanomis.

### 3.2.3 Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas

Šiame skyriuje įvertinami įrenginiai ir jų vertės, skirti rekonstrukcijai.

19 lentelė Technologinių įrenginių vertė

Įrenginio pavadinimas	Vertė, tūkst. Eur
Pt/TiO <sub>2</sub> katalizatorius	4,38
Oksidavimo kolona	505
Viso	509,38

Norint patobulinti technologiją reikalinga oksidavimo kolona su katalizatoriaus montavimo vieta ir Pt/TiO<sub>2</sub> katalizatorius. Ilgalaikio turto vertės yra tik apytikslūs.

### 3.2.4 Produkcijos gamybos apimtis ir gautinos pajamos

20 lentelė Produkcijos gamybos apimtis ir gautinos pajamos

Rodikliai	Gamybos įsisavinimo koeficientas	Gaminys,t/met.	Iš viso, tūkst. Eur
<b>Prieš rekonstrukciją</b>			
Produkcijos gamybos (pardavimo) apimtis brandos stadijoje, vnt.	1	239000	
Gaminio kaina, Eur			240,28
Gautinosios pajamos esant brandos stadijai			57427
<b>Po modernizacijos</b>			
Produkcijos gamybos (pardavimo) apimtis brandos stadijoje, vnt.		239000	
Gaminio kaina, Eur			241,15
Gautinosios pajamos esant brandos stadijai			57634

Brandos metais azoto rūgšties gamybos technologijoje (Grand Paroisse) pagamina 239 tūkst. tonų 100 % azoto rūgšties per metus. Atlikus inžinerinius sprendimus siekiama gauti tą patį azoto rūgšties kiekį, todėl po rekonstrukcijos gaminio kaina beveik nesikeičia. Tačiau esant tokiems dideliems gamybos našumams ir parduodant tokį didelį kiekį produkto, gaunamos pajamos per metus išauga apie  $\pm 200$  tūkst. eurų.

### 3.2.5 Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Žinant metinį produkcijos kiekį, galima apskaičiuoti reikalingą žaliavų ir naudojamų medžiagų kiekį bei darbo ir energijos poreikį siektinam azoto rūgšties kiekiui gauti. Pirmiausia skaičiuojamos amoniako išlaidos. Išlaidos orui ir nudruskintam vandeniui nėra skaičiuojamos, nes oras gaunamas iš aplinkos, o vanduo tiekiamas iš šalia esančios Neries upės ir pačiame ceche apdirbamas

21 lentelė Išlaidos pagrindinei žaliavai amoniakui

Žaliavos pavadinimas	Gamybos planas, t/metus	Medžiagų sunaudojimo norma gaminiui, kg/t produkto	Medžiagos kaina, Eur/kg	Medžiagos poreikis natūriniais vienetais, t	Medžiagų kaštai	
					Gaminio, Eur/t	Iš viso, tūkst. Eur
Prieš rekonstrukciją						
Amoniakas	239000	543	0,21	129777	114,03	27253,17
Po rekonstrukcijos						
Amoniakas	239000	521	0,21	124519	109,41	26148,99



Remiantis 21 lentelėje pateiktais duomenimis, po proceso modernizavimo amoniako metiniai kaštai sumažėja apie 1 mln. Eurų.

Tiesioginės gamybos išlaidos skaičiuojamos priimant, kad nepertraukiamos gamybos darbo imlumas yra 8760 val/metus. Taikomas valandinis atlyginimas darbuotojams – 8,7 Eur. Darbdavio atskaitymai nuo 2020 m. sausio 1 d. sudaro 1,79 % bendro darbo užmokesčio. Įmonėje yra 16 tiesiogiai su gamyba susiję asmenys, kurie išskirstyti į 4 pamainas po 4 darbuotojus.

**22 lentelė** Pagrindinių darbininkų metinis darbo užmokestis

Gaminys	Metinė gamybos apimtis, t/metus	Programos darbo imlumas, val	Darbininkų skaičius	Valandinis atlyginimas, Eur/val	Darbo užmokestis, tūkst. Eur	Atskaitymai VSD, GF, IDIF, tūkst. Eur
<b>Prieš rekonstrukciją</b>						
Amoniakas	239000	8760	16	8,7	304,85	5,46
<b>Po rekonstrukcijos</b>						
Amoniakas	239000	8760	16	8,7	304,85	5,46

Po modernizacijos darbuotojų darbo atlyginimas išliko toks pat, kadangi papildomų darbų neatsirado.

Toliau apskaičiuojame elektros energija reikalinga tepalo pašildytuvams automatikos ir valdymo prietaisams bei kitiems įrenginiams naudojantiems elektra.

**23 lentelė** Tiesioginės išlaidos elektros energijai

Įrengimų pavadinimas ir markė	Suminis aktyvinis galingumas, kW	Darbo valandų skaičius metuose, h	Elektros energijos poreikis, kWh	1 kWh kaina, Eur	Išlaidos elektros energijai, tūkst. Eur
<b>Prieš modernizacija</b>					
Įrengimų varikliai	706	8760	4329192	0,07	303
<b>Po modernizacijos</b>					
Įrengimų varikliai	706	8760	4329192	0,07	303

Po atnaujinimo išlaidos elektros energijai per metus nepakito, nes rekonstrukcijos metu nebuvo statomas joks naujas įrenginys naudojantis elektros energiją.

Gaminant azoto rūgštį, tiesioginės gamybos išlaidos yra pagrindinių darbininkų darbo užmokestis, elektros energija ir naudojamos žaliavos.

### 3.2.6 Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Netiesioginės gamybos išlaidos – tai visos tiesiogiai su gamyba nesusiję kaštai, tačiau jie sudaro sąlygas įmonei veikti. Pavyzdžiui cecho meistrų, viršininkų, sandėlininkų, valytojų atlyginimai,

išlaidos medžiagoms ir amortizacijai. Laikoma, kad netiesioginiai gamybos kaštai sudaro apie 60 % tiesioginių gamybos išlaidų, todėl šiame darbe taip ir skaičiuojama.

Atliekame proceso modernizaciją, todėl išlaidos nusidėvėjimui skaičiuojamos tik naujai oksidavimo kolonai. Priimta, kad turto metinė likvidacinė vertė yra 8 %.

**24 lentelė** Pagrindinio įrenginio nusidėvėjimas(amortizacija)

Ilgalaikio turto rūšis	Išsigijimo vertė, tūkst. Eur	Normatyvinė eksploataavimo trukmė	Nusidėvėjimo suma, tūkst. Eur metams	Likutinė vertė, tūkst. Eur
Oksidavimo kolona	505	20	23	45

Apačioje sudaryta bendrų išlaidų lentelė 25 prieš ir po rekonstrukcijos.

**25 lentelė** Gamybos kaštai

Kaštų rūšys	Gamybos kaštai, tūkst. Eur	
	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos
Pagrindinės medžiagos	27253	26149
Elektros energija	303	303
Pagrindinių darbininkų darbo užmokestis	304	304
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	5	5
Netiesioginės gamybos išlaidos	16719	16056
Viso gamybos kaštų	44584	42817
Produkcijos gamybos planas, tūkst. t/metus	239	239
Gaminio gamybinė savikaina, Eur	186,6	179,2

25 lentelėje matyti, kad įvykdžius modernizavimą labiausiai atpigo gamybos kaštai pagrindinėms medžiagoms. Išlaidos elektros energijai, pagrindinių darbininkų darbų užmokesčiui išliko tokios pat. Suskaičiavus visus gamybos kaštus nustatyta, kad 1 tonos azoto rūgšties savikaina sumažėjo 7,4 eurai arba 4 %.

### 3.2.7 Veiklos kaštai

Veiklos sąnaudas sudaro išlaidos logistikai, reklamai, pagalbinėms medžiagoms, administracijos darbuotojų darbo užmokesčiui, paslaugoms, elektros energijai, komandiruotėms. Veiklos sąnaudos dažniausiai sudaro nuo 5 iki 30 % gamybinių kaštų. Šiuo atveju veiklos sąnaudos sudaro 15 % nuo gamybinių kaštų sumos.

**26 lentelė** Veiklos sąnaudų paskirstymas

Rodikliai	Suma, tūkst. Eur	
	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos
Veiklos sąnaudos	6687	6422
Pardavimo planas, tūkst. tonų	239	239
Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	27,98	26,87

Atlikus proceso atnaujinimą veiklos kaštai sumažėjo 265 tūkst. eurų.

### 3.2.8 Finansinės ir investicinės sąnaudos

Įmonė, kurioje atliekamas azoto rūgšties gamybos agregato atnaujinimas yra akcinė ir turi akcinį kapitalą. Pusė sumos, kuri reikalinga modernizacijai atlikti, yra pasiskolinama iš banko imant investicinį kreditą. Metinė palūkanų norma 4 %, paskolos grąžinimo būdas – linijinis. Paskolos suma – 439,69 tūkst. eurų.

27 lentelė Paskolos grąžinimo planas ir palūkanų mokėjimas

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	4
Paskolos suma, tūkst. Eur	439,69	351,75	263,81	175,88	87,94
Metinė palūkanų norma, %	4	4	4	4	4
Palūkanos, tūkst. Eur	17,59	14,07	10,55	7,04	3,52
Paskolos padengimas, tūkst. Eur	87,94	87,94	87,94	87,94	87,94
Iš viso, tūkst. Eur	105,53	102,01	98,49	94,97	91,46

### 3.2.9 Gaminio kainos skaičiavimas

Suskaičiavus visas išlaidas nustatoma galutinio produkto kaina.

28 lentelė 1 tonos azoto rūgšties kainos skaičiavimas

Gaminys	Gaminio gamybinė savikaina, Eur	Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	Gaminiui tenkančios investicinės sąnaudos, Eur	Gaminio pilnoji savikaina, Eur	Pelnas		Kaina
					%	Eur/1t	Eur
Prieš rekonstrukciją							
Azoto rūgštis	186,6	27,98	-	214,58	12	25,75	240,33
Po rekonstrukcijos							
Azoto rūgštis	179,2	26,87	0,07	206,07	17	35,03	241,1

Siekiamas gauti pelnas prieš rekonstrukciją yra 12 % nuo gaminio pilnosios savikainos, o po modernizacijos 17 %. Pelno procentas didinamas norint išlaikyti tą pačią gaminio kainą.

### 3.2.10 Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai

29 lentelė Projekto pelno(nuostolio) ataskaita

Rodiklis	Suma, tūkst. Eur	
	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos
Pardavimų pajamos	57439	57623
Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	44584	42817
Bendras pelnas	12855	14806
Veiklos sąnaudos	6687	6422
Veiklos pelnas	6168	8384
Finansinė ir investicinės veiklos sąnaudos	-	17,59
Pelnas prieš apmokestinimą	6168	8366
Pelno mokestis (15 %)	925	1255
Grynasis pelnas	5243	7111

Atlikus rekonstrukciją gaunamas 7 mln. 111 tūkst. eurų grynasis pelnas, o tai yra 1,868 mln. eurų daugiau nei pelnas prieš rekonstrukciją.

### 3.2.11 Grynujų pinigų srautai ir pelno skaičiavimas po modernizacijos

Šioje dalyje skaičiuojamas kaštų ir pelno pokytis po azoto rūgšties technologijos atnaujinimo.

30 lentelė Išlaidų pasikeitimas įgyvendinus rekonstrukciją

Sąnaudų rūšis	Išlaidos/sąnaudos prieš rekonstrukciją		Išlaidos/sąnaudos po rekonstrukcijos		Išlaidų/sąnaudų pokytis gaminio vienetui, Eur/t
	Iš viso sąnaudų, tūkst. Eur	Sąnaudos gaminio vienetui, Eur/t	Iš viso sąnaudų, tūkst. Eur	Sąnaudos gaminio vienetui, Eur/t	
Kaštai pagrindinėms medžiagoms	27253	114,03	26149	109,41	-4,62
Kaštai pagalbinėms medžiagoms	16719	69,95	16056	67,17	-2,78
Energijos išlaidos	303	1,27	303	1,27	0
Amortizacinės išlaidos	0	0	45	0,19	0,19
Išlaidos darbuotojų atlyginimams	304,85	1,27	304,85	1,27	0
Kitos išlaidos	5,46	0,02	5,46	0,02	0
Bazinė gamybos	239000				

apimtis, t	
Gamybos apimtis projekte, t	239000
Viso išlaidų ekonomija tonai azoto rūgštis (be amortizacijos), Eur/t	7,21
Viso išlaidų ekonomija, tūkst. Eur	1723,19

Užpildžius 13 lentelę sužinome, kad 1 tonai azoto rūgštis pagaminti sutaupoma 7,21 eurų, o iš viso sutaupoma 1723 tūkst. Eur. Taigi, galima daryti išvadą, kad azoto rūgštis gamybos patobulinimas yra pelningas.

**31 lentelė** Projekto grynųjų pinigų srautai

Rodiklis	Projekto įgyvendinimo metai					
	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos				
	0	1	2	3	4	5
Gamybos apimtis, t	239000	239000	239000	239000	239000	239000
Pardavimo kaina, Eur/t	240,33	241,1	249,54	258,27	267,30	276,66
Pajamos, tūkst. Eur	57439	57623	59639,80	61727,19	63887,64	66123,70
Gamybinė savikaina, Eur/t	186,6	179,2	185,47	191,97	198,68	205,64
Gamybos kaštai, tūkst. Eur	44584	42817	44315,59	45866,63	47471,96	49133,47
Bendrasis pelnas, tūkst. Eur	12855	14806	15324,21	15860,55	16415,66	16990,20
Veiklos kaštai, tūkst. Eur	6687	6422	6646,77	6879,40	7120,18	7369,38
Veiklos pelnas, tūkst. Eur	6168	8384	8677,44	8981,15	9295,49	9620,83
Finansinės ir investicinės veiklos kaštai, tūkst. Eur	0	17,59	14,07	10,55	7,04	3,52
Pelnas prieš apmokestinimą, tūkst. Eur	6168	8366	8658,81	8961,87	9275,53	9600,17

Pelno mokestis, Eur	925	1255	1298,92	1344,38	1391,43	1440,13
Grynasis pelnas, Eur	5243	7111	7359,88	7617,47	7884,08	8160,02
Apyvartinis kapitalas, tūkst. Eur	0	10707,51	11082,27	114740,15	11871,61	12287,12
Kapitalo pokytis, tūkst. Eur	0	10707,51	374,76	387,88	401,45	415,51
Grynasis pelnas, tūkst. Eur	0	7111	7359,88	7617,47	7884,08	8160,02
Nusidėvėjimas, tūkst. Eur	0	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Projekto pagrindinės veiklos pinigų srautai, tūkst. Eur	0	-3596,51	6985,12	7229,59	7482,63	7744,51
Investicijos, tūkst. Eur	879,38	-	-	-	-	-
Likutinė vertė, tūkst. Eur	-	-	-	-	-	45,00

Prieš atliekant skaičiavimus 31 lentelėje buvo žinoma, kad pardavimo kaina, veiklos kaštai ir gamybinė savikaina kasmet didėja po 3,5 %. Taigi, įvertinus lentelėje apskaičiuotus rodiklius galima teigti, jog projektas yra pelningas

### Investicijų efektyvumo vertinimas

Šioje dalyje bus vertinama investicijos į azoto rūgšties gamybos technologijos modernizavimo efektą.

#### 3.2.12 Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai

Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai – tai visų projekto įgyvendinimui skirtų investicijų svertinis vidurkis. Jis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$KK = W_{js} \cdot k_{js} + W_{pr} \cdot k_{pr}$$

$W_{js}$  – skolinto kapitalo dalis;

$W_{pr}$  – nuosavo kapitalo dalis;

$K_{js}$  – skolinto kapitalo kaštai;

$K_{pr}$  – nuosavo kapitalo kaštai (pageidaujamas pelningumas, %).

$K_{js}$  skaičiuojamas pagal formulę:

$$(1-t) \cdot i$$

t – pelno mokesčio tarifas

$i$  – palūkanų norma.

Apskaičiuoti vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai lygus 5,00 %.

### 3.2.13 Diskontuoto investicijų atsipirkimo periodo skaičiavimas

Diskontuoto investicijų atsipirkimo periodas  $T$  – toks laikas, per kurį diskontuoti grynieji pinigų srautai susilygina su investicinėmis išlaidomis.

32 lentelė Diskontuotų investicijų atsipirkimo periodo skaičiavimas

Rodikliai	Metai					
	0	1	2	3	4	5
Projekto metiniai GPS, tūkst. Eur	-879,38	-3596,51	6985,12	7229,10	7482,63	7744,51
Suminis GPS, tūkst. Eur	-879,38	-4475,89	2509,23	9738,33	17220,96	24965,47
Diskontuotas GPS, tūkst. Eur	-879,38	-3390,94	6360,04	6270,32	6186,67	6129,44
Suminis diskontuotas GPS, tūkst. Eur	-879,38	-4284,32	2071,72	8342,04	14528,34	20657,78

Atsipirkimo laikas skaičiuojamas naudojant 15 lentelės duomenis ir pagal formulę:

$$T = T_{t-1} \frac{BGPS_{t-1}}{GPS_t}$$

$T$  – atsipirkimo laikas;

$T_{t-1}$  – metai prieš visišką išmokų padengimą;

$BGPS_{t-1}$  – suminis pinigų srautas prieš visišką išmokų padengimą;  $GPS_t$

– visiško padengimo metų grynasis pinigų srautas.

Remiantis suskaičiuotu atsipirkimo laiku, kuris yra 1,67 metai, galima teigti, jog projektas gana greitai atsiperka ir yra priimtinas.

### 3.2.14 Vidinės pelno normos skaičiavimas

Vidinė pelno norma yra projekto būsimųjų grynujų pinigų įplaukų dabartinės vertės lyginimas su projekto būsimųjų išlaidų dabartine verte. Vidinė pelno norma suskaičiuota panaudojus Microsoft Excel funkciją IRR. Gautas rezultatas - 125 %. Lyginant su vidutiniais svertiniais kapitalo kaštais, kurie sudaro 5 %, galima daryti išvadą, kad modernizacijai skirtos investicijos buvo panaudotos naudingai.

### 3.15 Pelningumo indekso skaičiavimas

Pelningumo indeksas – tai santykinis projekto pelningumas, kuris tenka vienam išleistam piniginiam vienetui. Jis suskaičiuojamas pagal formulę:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{GPS_t}{(1+KK)^t}}{GPS_0}$$

Diskontuotų GPS suma, pradedant pirmaisiais metais;

GPS<sub>0</sub> – Nulinių metų GPS

PI = 24,51

Lūžio taško skaičiavimas

Lūžio taškas – tai tokia gamybos apimtis, kai bendrosios projekto pajamos tampa lygios bendriems gamybos kaštams, tai yra pelnas tampa lygus nuliui. Apskaičiavus lūžio tašką nustatytas produkcijos kiekis, reikalingas pagaminti ir parduoti, kad įmonė taptų pelninga.

33 lentelė Lūžio taško skaičiavimai

Rodikliai	Azoto rūgštis
Pastoviųjų kaštų suma, Eur	879377
Gaminio kaina, Eur	241,1
Gaminio kintamieji kaštai, Eur	179,2
Lūžio taškas, t	14206
Pardavimų planas, t	239000

Suskaičiavus lūžio tašką nustatyta, kad po azoto rūgšties gamybos technologijos rekonstrukcijos veikla vėl taps pelninga pardavus 14206 tonas azoto rūgšties.

### 3.2.16 Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

34 lentelė Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

Rodiklis	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos	Pokytis
Produkcijos pardavimo apimtis, tonomis	239000	23900	0
Pardavimų pajamos, tūkst. Eur	57439	57623	184
Darbininkų skaičius	16	16	0
Darbininkų darbo našumas, tūkst. Eur	304,85	304,85	0
Vidutinis metinis darbo užmokestis, Eur	19053	19053	0
Gamybos kaštai, tūkst. Eur	44584	42817	1767
Gaminio pilnoji savikaina, Eur/t	214,58	206,07	8,43
Grynasis pelnas, tūkst. Eur	5231	7119	1888



Papildomas pelnas, gautas įgyvendinus projektinius sprendimus, tūkst. Eur	-	-	1720
Investicijų apimtis, tūkst. Eur	879,38	-	879,38
Veiklos pelningumas, %	10,71	14,56	3,85
Veiklos rentabilumas, %	12	17	5
Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas	-	1,67	1,67
Projekto grynoji esamoji vertė, tūkst. Eur	-	20657	20657
Kapitalo kaštai, %	-	5	5
Vidinė pelno norma, %	-	125	125
Pelningumo indeksas	-	24,51	24,51

Atlikus azoto rūgšties gamybos technologijos patobulinimą, finansinį bei ekonominį vertinimą, nustatyta, kad rekonstrukcijai atlikti reikalinga investicija yra 879,38 tūkst. eurų. Investicijos atsipirkimas numatomas po 1,67 metų, o veikla taps pelninga pardavus 14206 tonas azoto rūgšties. Atlikus patobulinimą, 1 tonos azoto rūgšties gamyba tampa 8,51 eurai pigesnė nei prieš tai, o grynasis pelnas, įvykdžius visus pardavimų planus, gaunamas 1,868 mln. eurai didesnis nei prieš atnaujinimą. Taigi, įvertinus visus rodiklius galima teigti, jog modernizacija yra ekonomiškai efektyvi.

### 3.3 STATYBINIAI SPRENDIMAI

#### 3.3.1 Bendroji dalis

Azoto rūgšties gamybinė linija projektuojama AB „Achema“ įmonės teritorijoje. Įmonė įsikūrusi Jonalaukio kaime, Ruklos seniūnijoje, nutolusi 6 km atstumu nuo Jonavos miesto. Šalia gamyklos driekiasi magistralinis kelias A6 Kaunas – Daugpilis, be to šalia nutiesti ir geležinkelio bėgiai, todėl įmonei lengva vykdyti logistinius darbus. Gamyklos teritorijoje pilnai išasfaltuotos gatvės bei šaligatviai, kurie sudaro sąlygas laisvam autotransportų ir darbuotojų judėjimui tarp gamykloje esančių pastatų. Įmoneje leidžiamas ne tik autotransportas, bet ir dviračių, geležinkelio ir pėsčiųjų eismas. Azoto rūgšties gamybinio cecho sklypas užima 62,5 a. Didelė sklypo dalis yra išasfaltuota ir apželdinta žole, o sklypą riboja šaligatviai. Į cechą galima patekti dviem būdais – išasfaltuotomis gatvėmis ir pėsčiųjų taku. Teritorijoje veja užima 2834 m<sup>2</sup>, o plytelėmis išgrįsta danga – 445 m<sup>2</sup>. Cecho pastatas kartu su lauke esančių įrengimų aikšte užima 1494 m<sup>2</sup>. Gamybinis pastatas yra dviejų aukštų, o laiptais ir kopėčiomis pasiekiami aukščiau esančių įrengimų dalis. Įrenginiai kurie aukščiau gamybinio pastato turi įrengtas specialias aikšteles. Cecho pastato aukštis 28,9 metrai. Absorbicijos kolona yra aukščiausias cecho įrenginys, kurios aukštis yra 35,5 metrai.

35 lentelė Statinio bendrieji rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
1	I. SKLYPAS 1.1 sklypo plotas 1.2 statinio užimtas žemės plotas 1.3 apželdintas žemės plotas 1.4 automobilių stovėjimo vietų skaičius 1.5 plytelėmis grįsta danga 1.6 sanitarinės apsaugos zonos dydis	aras m <sup>2</sup> m <sup>2</sup> vnt. m <sup>2</sup> m	62,5 1048 2834 už teritorijos ribų 445 500
2	II. PASTATAI 2.1 paskirties rodikliai (gamybos (kitos veiklos), paslaugų apimtys, aptarnaujamų žmonių skaičius, kiti rodikliai) 2.2 bendras plotas 2.2.1 pagrindinis 2.2.2 pagalbinis 2.3 pastato tūris 2.4 aukštų skaičius 2.5 pastato aukštis 2.6 pastato atsparumas ugniai (I, II, III)	m <sup>2</sup> m <sup>2</sup> m <sup>2</sup> m <sup>3</sup> vnt. m MJ/m <sup>2</sup>	1494 1048 446 - 2 28,9 II

### 3.3.2 Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės linijos sprendimai

Pagrindinė įranga naudojama azoto rūgšties gamyboje įrengta gamybinio pastato viduje ir išorėje. Dauguma įrenginių, reikalingų technologijai, sutelkti viename pastate, kurio plotas yra 1048 m<sup>2</sup>. Vidaus plotas išskirtas į kompresijos ir konversijos skyrius. Kompresijos skyriuje yra turboagregatas, konversijos skyriuje, pastatyti kontaktiniai aparatai bei garo gamybai skirti įrenginiai. Lauko aikštelės užimamas plotas – 446 m<sup>2</sup>. Joje įrengtos oksidacijos ir absorbcijos kolonos bei kiti didelių gabaritų įrenginiai. Visi technologiniai įrenginiai sustatyti taip, kad liktų tarpai tarp jų ir darbuotojams būtų patogų eksploatuoti, aptarnauti ir vykdyti remontus ar evakuotis iš esamos vietos be jokių kliūčių.

Gamybinės paskirties pastatas yra sudarytas iš dviejų stačiakampio formos korpusų. Konversijos skyriaus pastato dalies matmenys yra 21 x 18 m ir 28,9 m aukščio. Kompresijos skyriaus pastato dalies matmenys yra 12 x 42 m, aukštis 17,4 m. Aukštų skaičius – 2. Tarpai tarp kolonų 3 – 8 metrai.

Pastato vidaus grindys, gaminamos iš skystojo stiklo pasluoksnio ir rūgščiai atsparaus betono su skysto stiklo pagrindu. Ši grindų danga atspari labai agresyviai aplinkai, todėl puikiai tinka šiame gamybiniame ceche. Grindų danga pasižymi dar viena svarbia savybė – iš betono pagrindo išgarinami į jį patekę skysčiai ir drėgmė, o tai užtikrina grindų ilgą tarnavimo laiką. Pastato vidaus sienos gaminamos iš profiliuotos skardos su rūgštims atspariu padengimu. Sienos iš išorės sustiprinamos papildomu akrilo ir poliuretano sluoksniu. Stogo danga gaminama iš nedegios, garų ir oro nepraleidžiančios medžiagos. Stogo danga – bituminė. Saugos sumetimais ant stogo įrengtas parapetas.

Įrenginiai, kurie yra įrengti lauko aikštelėje:

- Absorbcijos kolona poz. 22. Aukštis 35,5 m, skersmuo 5,5 m, tūris 84,2 m<sup>3</sup>. Kolonoje įrengtos 33 perforuotos lėkštės. Skylučių skersmuo 3 mm. Konstrukcinė medžiaga – plienas 304 L. Kolona statoma ant betoninių pamatų.
- Vamzdinė oksidavimo kolona poz. 16A, Oksidavimo/prapūtimo kolona poz. 16B/17. Konstrukcinė medžiaga – plienas 304 L. Aukštis 19,535 m, skersmuo 4,4 m, tūris 47,5 m<sup>3</sup>. Kolona statoma ant betoninių pamatų.
- Amoniakos išgarintuvas poz. 1. Konstrukcinė medžiaga – plienas St.42. Apsauga nuo korozijos – dažai. Aukštis 13,8 m, skersmuo 1,205 m, svoris 19,3 kg. Amoniakos išgarintuvas yra vamzdinio tipo šilumokaitis, kuriame yra 1400 vamzdelių. Statomas ant metalinių atramų.
- Produkcinės rūgšties aušintuvas poz. 23. Konstrukcinė medžiaga – plienas 304 L. Ilgis 6 m, skersmuo 0,75 m, svoris 8700 kg. Statomas ant metalinių atramų.
- Aušintuvas-kondensatorius poz. 15. Konstrukcinė medžiaga – plienas 304 L. Aukštis 12,7 m, svoris 34000 kg. Statomas ant metalinių atramų.
- Nitrozinių dujų aušintuvas poz. 25. Konstrukcinė medžiaga – plienas 304 L. Ilgis 15,7 m, skersmuo 1,53 m. Statomas ant metalinių atramų.

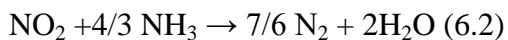
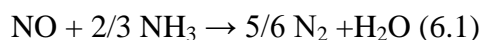
Sklypo teritorijoje įrengimai pastatyti taip, kad tarp jų būtų išlaikomas ne mažesnis nei 2 metrų atstumas. Tarpai tarp įrengimų paliekami tam, kad būtų patogų valdyti, atlikti apžiūras, remontuoti. Sklypo teritorijoje yra visos pagrindinės komunikacijų sistemos – vanduo, elektra, nuotekos, garas, technologinis oras.

### **3.4. APLINKOSAUGINIS VERTINIMAS**

#### **3.4.1 Bendrieji sprendimai**

Aplinkosauga yra viena aktualiausių temų šiandieniniame pasaulyje. Gamybinės įmonės yra didžiausi taršos šaltiniai, kurie didina šiltnamio efektą, mažina ozono sluoksnį, dėl gamybinės veiklos žūsta kai kurios gyvūnų rūšys. Kita su aplinkosauga susijusi problema yra gamyboje naudojami neatsinaujinantys gamtiniai išteklių. Ateityje gali tiesiog nebeklikti tam tikrų žaliavų ir energijos šaltinių, todėl reikia kuo protingiau ir kuo taupiau išnaudoti turimus resursus. Tam, kad sumažinti išvardintas aplinkosauginės problemas, atliekamas kiekvienos ūkinės veiklos galimo poveikio aplinkai vertinimas. Azoto rūgšties technologinio proceso metu sunaudojamos žaliavos bei susidarę produktai stipriai prisideda prie aplinkos taršos. Rūgšties gamybai naudojamas amoniakas, o proceso metu susidaro aplinkai taršios medžiagos, tokios kaip azoto oksidai, azoto rūgštis, pavojingos atliekos ir nuotekos. Norint sumažinti šių medžiagų patekimą į aplinką, gamyboje ir transportavime naudojami įrengimai, taip pat ir vamzdynai yra pagaminti iš nerūdijančio plieno. Naudojami aukščiausios klasės sandarinimo būdai – pirmos klasės sandarumo armatūra, o vamzdynų sujungimai yra „flanšinio“ tipo. Azoto rūgšties gamybos metu susidaranti atliekos ir avarijų metu galimi išsipykimai surenkami į drenažinius bakus, o juose susirinkę skysčiai supilami į rūgšties talpyklas. Amoniakos oksidavimo metu, lygiagrečiai pagrindinės reakcijos vyksta ir šalutinė reakcija, kurios produktas – azoto suboksidas (N<sub>2</sub>O). Šios dujos sukelia šiltnamio efektą. Todėl kontaktiniuose aparatuose sumontuojamas ne tik pagrindinis katalizatoriaus sluoksnis, bet ir antrinis. Tai yra selektyvus N<sub>2</sub>O susidarymo mažinimui skirtas katalizatorius. Šio katalizatorius pagalba azoto suboksidas 830 – 860 °C temperatūroje skyla į elementinį azotą ir deguonį. Liekamosiose dujose lieka apie 150 – 200 ppm azoto suboksido, kurio kiekis nesikeičia kituose

proceso etapuose. Absorbcijos kolonoje neabsorbuoti azoto oksidai valomi DeNO<sub>x</sub> valymo sistemoje. Liekamosios dujos, prieš DeNO<sub>x</sub>, pašildomos iki 200 °C, vėliau sumaišomos su nedideliu kiekiu dujinio amoniako. Dujinis amoniakas skirtas vykdyti selektyvų dujų valymą. Azoto oksidų ir dujinio amoniako sąveika vyksta pagal reakcijas:



Vertinant šio gamybinio proceso poveikį aplinkai, pirmiausia įvardijamos naudojamos žaliavos bei energijos rūšys.

36 lentelė Gamyboje naudojamos žaliavos ir energija

<b>Žaliavos pavadinimas</b>	<b>Kiekis per metus Amoniakas</b>
Amoniakas	69700 t
Atmosferos oras	1405 mln. t
Dalinai nudruskintas vanduo	98331 t
<b>Energija</b>	<b>Kiekis per metus</b>
Elektros energija	6274 MWh
4 MPa garas paleidimui	2050,2 GJ

### 3.4.2 Išmetimai į orą

Azoto rūgšties gamybos metu susidaranti dujos išvalomos ir pašalinamos į aplinkos orą per kaminą.

37 lentelė Tarša į aplinkos orą

Taršos šaltiniai	Teršalai	Leidžiama tarša		
		Mato vnt.	Maksimali	Metinė, t/m
Kaminas	Azoto oksidai	g/s	2,688	76,6403
	CO		0,0657	1,874
	NH <sub>3</sub>		0,0399	1,1376
	N <sub>2</sub> O		8,16	232,66

38 lentelė Stacionarių taršos šaltinių fiziniai duomenys

Taršos šaltiniai			Išmetamųjų dujų rodikliai matavimo vietoje			Teršalų išmetimo trukmė val/m
Pavadinimas	Aukštis, m	Išėjimo angos matmenys, m	Srauto greitis, m/s	Temperatūra, °C	Tūrio debitas, Nm <sup>3</sup> /s	
Kaminas	126	0,9	49,37	75	31,39	7920

**39 lentelė** Išmetamųjų dujų valymo įrenginiai

Valymo įrenginiai	Teršalai	Prieš valymą		Po valymo		Valymo efektyvumas
		pavadinimas	maks. g/s	t/metus	maks. g/s	
Liekamųjų dujų valymo reaktorius (1vnt.)	Azoto oksidai NO <sub>x</sub>	42,13	1201,21	2,688	76,6403	90

DeNO<sub>x</sub> valymo įrenginio, kuris skirtas dujoms valyti, efektyvumas siekia 90–91 %. Azoto oksidai, azoto suboksidai, amoniakas ir anglies monoksidas išmetami per kaminą. Kaminas įrengiamas tokia aukštyje, kad šalia esantiems cechams ir gyvenvietėms būtų kuo mažesnė tarša. Azoto oksidų emisijos kontrolei užtikrinti naudojami moderniausi ir kokybiškiausi analizatoriai, kurie sumontuoti liekamųjų dujų linijoje. Liekamosios dujos privalo būti išvalomos ir neviršyti reglamentuotų išmetimo kiekių. Azoto rūgšties gamybos linijos paleidimo ir stabdymo metu yra leistina viršyti išmetamųjų teršalų normas. Tačiau išmetamųjų dujų kiekiai privalo būti reguliuojami bei fiksuojami. Leidžiant azoto rūgšties liniją teršalai gali būti išmetami į aplinkos orą ne ilgiau 2 valandų ir ne daugiau 4 kartų per metus. Gamybos stojimo metu teršalų išmetimas į aplinką negali viršyti 8 valandų.

### 3.4.3 Atliekos

Gamybos metu susidaro įvairius atliekos: atidirbę katalizatoriaus tinklai, tepalai. Atliekos susidaro ir prižiūrint įrengimus, įrenginių patalpas, buitines patalpas, administracines patalpas. Perkant įvairius materialius daiktus, pasirašant naujas sutartis ar reglamentuojant naujus technologinius parametrus susidaro įvairių popieriaus, kartono ir plastiko atliekų. Atliekos rūšiuojamos pagal atliekų kodus ir sandėliuojamos specialiose tam skirtose vietose. Skysčiai ir lakios medžiagos sandėliuojamos tarose. Visos surinktos atliekos perduodamos į atliekų saugojimo aikšteles arba atiduodamos atliekų tvarkytojams.

**40 Lentelė** Susidarančios atliekos, atliekų tvarkymas

Atliekos pavadinimas	Atliekos susidarymas	Atliekų kodai	Agregatinis būvis	Susidarymo kiekis, t/m	Numatomi atliekų tvarkymo būdai
Panaudoti katalizatoriai	Atidirbto katalizatoriaus keitimas	120104	Kieta	2,525	Saugojimas sandėliuose
Panaudoti tepalai	Tepalų keitimas	130208	Skysta	1,2	Priduodamas saugojimui į tepalų sandėlį
Mišrios komunalinės atliekos	Buitinių patalpų valymas	200301	-	100	Kaupimas, pridavimas atliekų tvarkytojams

Naftos produktais užterštos pašluostės	Įrenginių remontas ir priežiūra	150202	-	1,5	Priduodamos į atliekų saugojimo aikštelę
Popierius ir kartonas	Materialių vertybių pirkimas	150101	Kieta	1	Kaupimas, pridavimas atliekų tvarkytojams
Stiklas	Patalpų remontas ir priežiūra	16120	Kieta	0,2	Saugojimas sandėliuose

### 3.4.4 Aplinkosaugos dalies išvados

Įvertinus azoto rūgšties agregato poveikį aplinkai galime teigti, kad didžiausia žala sukeliama gamtai, dėl į aplinkos orą išmetamų teršalų kiekio. Išvalytose dujose gausu aplinką teršiančių medžiagų. Teršalų medžiagų kiekį galima sumažinti atlikus NO oksidavimo į NO<sub>2</sub> modernizaciją. Atlikus proceso modernizaciją, būtų galima naudoti mažesnę kiekį pagrindinių žaliavų ir gauti tą patį kiekį rūgšties. Taip pat padidinus absorbcijos proceso efektyvumą liekamosiose dujose liktų mažesnis kiekis azoto oksidų.

## 4. DARBUOTOJŲ SAUGA IR SVEIKATA

Šioje dalyje aptariamos modernizuojamo gamybos objekto charakteristikos, darbo higiena, gaisrinė sauga, darbų sauga, atliekamas profesinės rizikos vertinimas. Darbuotojų sauga ir sveikata – prevencinės priemonės, kuriomis siekiama užtikrinti darbuotojų darbingumą ir išlaikyti tinkamą darbuotojų sveikatą. Darbdavio pareiga yra sudaryti darbuotojams saugias ir sveikatai nekenksmingas darbo sąlygas. Įvairūs įstatymai, tokie kaip Darbo kodeksas ar Darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas reglamentuoja darbuotojų saugos ir sveikatos užtikrinimą [27].

### 4.1 Projektuojamo objekto charakteristika

Projektuojamas objektas – azoto rūgšties gamybos technologinė linija. Procesas modernizuojamas sumontuojant Pt/TiO<sub>2</sub> katalizatorių į oksidacijos koloną poz. 16A. Oksidacijos, balinimo ir absorbcijos kolonos stovi lauke, o gamyboje naudojami įrenginiai įrengti gamyklos viduje. Objekto paskirtis – gaminti nekoncentruotą azoto rūgštį naudojant Ostwald'o amoniako oksidavimo procesą.

Eksploatuojant azoto rūgšties gamybos įrenginį susiduriama su pavojais:

1. Padidėjus slėgiui, slėginiai aparatai ir komunikacijos gali prarasti sandarumą, tuomet iš įrenginio gali ištekti pavojingi skysčiai ar dujos, kurios gali užsidegti arba sprogti.
2. Gamyboje naudojamos toksiškos, sprogios ir degios medžiagos – skystas ir dujinis amoniakas, azoto rūgštis, azoto oksidai, azoto – vandenilio mišinys.
3. Galimybė susidaryti sprogiems amoniako – oro mišiniams.
4. Galimybė apsinuodyti išsiskyrusiomis toksiškomis dujomis.
5. Dėl karštų įrenginių paviršių, išsipylimų remontuojant įrenginį, dėl įvairios azoto

- rūgšties koncentracijos bei garo ir kondensato galimi terminiai ir cheminiai nudegimai.
6. Judančios mašinų ir mechanizmų dalys.
  7. Elektros įrengimai.
  8. Triukšmas eksploatuojant įrenginį.

Azoto rūgšties gamybos proceso metu naudojamos pavojingos medžiagos:

1. Amoniakas (NH<sub>3</sub>)
2. Azoto oksidai (NO, NO<sub>2</sub>).
3. Azoto rūgštis (HNO<sub>3</sub>).
4. DEHA (Dietilhidroksilamino vandeninis tirpalas).
5. Azotas (N<sub>2</sub>).

Remiantis Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministro įsakymu dėl sanitarinių apsaugos zonų ribų nustatymo ir režimo taisyklių patvirtinimo nustatyta, kad gaminant nekonzentruotą azoto rūgštį galima cheminės ir fizikinės taršos rūšis bei sanitarinės apsaugos zonos dydis yra 500 metrų [28].

#### 4.2 Profesinės rizikos vertinimas

Profesinė rizika yra vertinama norint iširti esamą ar galimą profesinę riziką bei parinkti tam tikras prevencines priemones rizikai sumažinti. Profesinės rizikos vertinimas atliekamas keliais etapais – pirmiausia vykdomi parengiamieji darbai, toliau tiriami rizikos veiksniai, nustatomas rizikos dydis, vėliau sprendžiama dėl rizikos priimtimumo ir galiausiai nusprendžiama kaip riziką pašalinti ar sumažinti bei vykdomas tolimesnis rizikos stebėjimas [3].

Norint atlikti profesinės rizikos vertinimą, pirmiausia reikia nustatyti rizikos veiksnius ir pavojingas situacijas. Gaminant azoto rūgštį galimi fiziniai, fizikiniai, cheminiai ir ergonominiai veiksniai. Pagal nustatytus rizikos veiksnius atliekama kiekybinė analizė. Rizikos veiksniai bei jų kiekybinė analizė parodyta 41 lentelėje.

41 lentelė Rizikos veiksnių nustatymas ir kiekybinis vertinimas [29, 30, 31, 32]

Rizikos veiksnys, keliantis pavojų saugiam darbui	Rizikos veiksnio atsiradimo ar veikimo vieta	Rizikos veiksnio dydis, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio leidžiamas dydis, ribinė vertė	Rizikos veiksnio poveikio trukmė	Prevencijos priemonės
Fiziniai veiksniai					
Besisukančios įrengimų dalys	Turboagregatas	-	-	Gamybos proceso metu	Pakankama darbo erdvė; įrenginių techninės būklės tikrinimas ir palaikymas; atitvarų ir apsaugų naudojimas
Slėginiai indai	Gamyboje naudojami įrengimai	-	-	Gamybos proceso metu	Techninės būklės tikrinimai; apsauginiai vožtuvai, manometrai

Karštos medžiagos ir įrengimų paviršiai	Technologiniai įrengimai	-	45 °C	Gamybos proceso metu	Izoliuotos karštos vamzdynų ir aparatų dalys, pirštinės
Elektros įtampa	Technologiniai įrengimai	-	2 V, 0,3 mA	Nuolat	Vamzdynų, aparatų, elektros įrengimų ir prietaisų įžeminimas, dielektriniai batai
Fizikiniai veiksniai					
Darbo vietos apšvietimas	Mašinų salėje, operatorinėje	300 lx	300 lx	Nuolat	-
Triukšmas	Kompresijos skyrius	90 dBA	87 dBA	Gamybos proceso metu	Ausinės, antifonai
Cheminiai veiksniai					
Amoniakas (NH <sub>3</sub> )	Vamzdynai, technologiniai įrengimai	3 mg/m <sup>3</sup>	14mg/m <sup>3</sup> (IPRD) 36mg/m <sup>3</sup> (TPRD)	Nuolat	Chemiškai atsparus apsauginis kostiumas, pirštinės, akiniai, guminiai batai, filtruojanti dujokaukė
Azotas (N <sub>2</sub> )	Vamzdynai, technologiniai įrengimai	78 %	82 % koncentracija ore	Nuolat	Suslėgto oro kvėpavimo aparatai, žarninės dujokaukės
Azoto oksidai ( NO, NO <sub>2</sub> )	Vamzdynai, technologiniai įrengimai	NO - 2mg/m <sup>3</sup> NO <sub>2</sub> – 0,4 mg/m <sup>3</sup>	NO IPRD – 2,5mg/m <sup>3</sup> . NO <sub>2</sub> IPRD – 0,96 mg/m <sup>3</sup> , TPRD – 1,91 mg/m <sup>3</sup>	Gamybos proceso metu	Filtruojančios dujokaukės
Azoto rūgštis (HNO <sub>3</sub> )	Vamzdynai, technologiniai įrengimai, saugyklos	0 mg/m <sup>3</sup>	TPRD – 2,6 mg/m <sup>3</sup>	Nuolat	Filtruojančios dujokaukės, apsauginiai akiniai
DEHA	Garų ir kondensato linijos ir įrengimai	-	-	Nuolat	Apsauginiai drabužiai, pirštinės, akiniai. Laikyti kuo toliau nuo ugnies šaltinių.
Ergonominiai veiksniai					
Darbo poza	Operatorinė	Netinkama darbo poza 20 % darbo laiko	Netinkama poza 25 % darbo laiko	Pamainos metu	Speciali pertrauka, mankšta

Remiantis technologiniame procese naudojamų medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliais, identifikuojami sprogo ir gaisro pavojai, kurie gali vykti įrenginiuose. Analizuojant gamyboje



naudojamas chemines medžiagas, vykstančius procesus, gaisro ir sprogo susidarymo tikimybes nustatoma patalpų kategorija pagal gaisro ir sprogo pavojų.

42 lentelė Patalpų kategorijos pagal gaisro ir sprogo pavojų

Objekto, kuriam suteikiama kategorija, klasifikuojama pavojinga vieta, pavadinimas	Patalpų, išorinių įrenginių kategorija pagal sprogo ir gaisro pavojų	Sprogimui pavojinga zona	Statinių atsparumas ugniai	Sprogo ir gaisro atžvilgiu pavojingų mišinių kategorijos	Medžiagų kenksmingumo klasė darbo aplinkoje
Konversijos skyrius	B <sub>sg</sub>	2 zona	II	II AT1	III, IV
Kompresijos skyrius	B <sub>sg</sub>	-	II	-	-
Absorbcijos skyrius	E <sub>gi</sub>	-	II	-	III
Siurblinė	E <sub>g</sub>	-	II	-	III
Lauko aikštelės	E <sub>gi</sub>	-	III	-	-
Administracinis pastatas	E <sub>g</sub>	-	II	-	-

43 lentelėje pavaizduotos reglamentuojamos žaliavų, medžiagų bei gauto produkto gaisringumo, toksiškumo ir sprogo savybės.

43 lentelė Žaliavų, medžiagų ir produkto gaisringumo, sprogo ir toksiškumo savybės

Žaliavų, medžiagų, produktų pavadinimas	Temperatūra °C			Mišinių su oru koncentracija sprogo metu (%)		Toksinių charakteristikos (kenksmingumo klasė)	Ribinė leistina koncentracija gamybinių patalpų darbo zonoje mg/m <sup>3</sup>	Apsaugos priemonės
	Pliūpsnio	Užsiliepsnojimo	Savaiminio užsiliepsnojimo	Apatinė riba	Viršutinė riba			
Amoniakas	-		650	15	28	4	IPRD -14 mg/m <sup>3</sup> TPRD -36 mg/m <sup>3</sup>	Filtruojančios dujokaukės, spec. drabužiai, guminės pirštinės.
Azoto oksidas (II)	-	-	-	-	-	-	IPRD -30 mg/m <sup>3</sup> TPRD -60 mg/m <sup>3</sup>	Filtruojanti dujokaukė
Azoto oksidas (IV)	-	-	-	-	-	3	IPRD - 4 mg/m <sup>3</sup> NRD -10mg/m <sup>3</sup>	Filtruojanti dujokaukė
Azoto rūgštis	-	-	-	-	-	3	TPRD- 2,6 mg/m <sup>3</sup>	Filtruojanti dujokaukė, apsauginiai akiniai, rūgščiai atsparūs

### 4.3 Saugi gamyba

Nepriklausomai nuo įmonės rūšies, darbuotojo darbo sutarties, darbuotojo tautybės ar politinių ir religinių įsitikinimų darbdavys privalo suteikti saugias darbo sąlygas visiems savo darbuotojams. Azoto rūgštis gamybos vieta priskiriama darbo vietai, kurioje darbuotojai naudoja chemines medžiagas ar jų preparatus, todėl turi būti numatytos prevencinės priemonės, kurios padėtų apsaugoti darbuotojus nuo žalingo cheminių medžiagų poveikio. Gamyboje susiduriama ne tik su kenksmingomis medžiagomis, bet ir su didelių gabaritų agregatais, slėginiais prietaisais bei elektros įrengimais. Taigi, darbuotojai privalo būti apmokomi kaip saugiai valdyti procesus, turi būti vedami saugaus darbo bei gaisrinės saugos instruktažai [33].

Norint išvengti gamyboje esančio pavojaus, privaloma laikytis šių nurodymų: leidimas dirbti savarankiškai išduodamas tik išsilaukus žinių patikrinimo egzaminą; išlaikyti optimalias technologinio režimo sąlygas; technologinių įrenginių eksploatavimo reikalavimų vykdymas; tikrinti aparatų bei vamzdynų sandarumą; laikantis šių taisyklių privaloma eksploatuoti indus, kuriems taikomos „Slėginių indų naudojimo taisyklės“; turi būti sumontuoti ir sureguliuoti apsauginiai vožtuvai pavojingose vietose; sugedusius ar išsihermentinusius aparatus draudžiama eksploatuoti; prieš pradėdant slėginių aparatų ar vamzdynų remontą, reikia įsitikinti ar juose nėra slėgio; armatūra, skirta įrenginių ar vamzdynų prapūtimui, drenavimui ar mėginių paėmimui turi būti sumontuota taip, kad pavojinga terpė negalėtų tekėti darbuotojo link ar į viršų; vykdant išflašavimo darbus darbuotojas privalo dėvėti visa kūną ir kvėpavimo takus apsaugančias priemones; judančios ar besisukančios įrenginių dalys turi būti aptvertos; remontuoti, valyti, tepti ar reguliuoti veikiančias mašinas draudžiama; darbo vieta turi būti tinkamai apšviesta, prietaisai privalo būti gerai matomoje vietoje ir tinkamai apšviesti; kėlimo mechanizmai privalo turėti techninius pasus, ant jų turi būti pakabintos lentelės su užrašytu registracijos numeriu, kėlimo galia, bandymo data; privalomi apsauginiai gaubtai ant flanšinių sujungimų vamzdynuose, kuriuose teka azoto rūgštis; remiantis „Chemijos, naftos-chemijos ir naftos perdirbimo pramonės apsaugos nuo statinio elektros krūvio taisyklėmis“ visi įrenginiai ir vamzdynai privalo turėti apsaugą nuo elektros krūvio ir antrinių žaibo apraiškų; dujų sisteminė kontrolė vykdoma patalpose, kuriose yra tikimybė susidaryti sprogiai ir degiai aplinkai. Neleisti viršyti IPRD amoniako, azoto monoksido, azoto dioksido koncentracijoms; agregato ar gamyklos veikimas nedelsiant stabdomas kilus gaisrui ar ištekėjus dideliame kiekiu amoniako ar azoto rūgštis; tiek gamybinės tiek buitinės patalpos turi turėti gaisrinį inventorių; kad deguonies koncentracija vamzdynuose neviršytų 3 %, prieš tiekiant skystą ar dujinį amoniaką ir azoto-vandenilio mišinį, juos privaloma prapūsti azotu; dėl galimos išankstinės amoniako reakcijos ant aparato joms įkaitus, reikia būti dėmesingiems eksploatuojant maišytuvą poz. 7, kontaktinius aparatus poz. 10 A (B, C, D). Sienelės gali suirti ir patalpose gali susidaryti pavojinga amoniako koncentracija, taip pat gali išsiskirti kenksmingos azoto oksidų koncentracijos; neleisti susidaryti nitritinėms dujoms azoto-vandenilio tiekimo linijoje. Nitritinių druskų skilimas gali sukelti sprogimus, kurie gali kontaktinį aparatą paversti nesandariu.

Siekiant užtikrinti saugų procesą, turi būti taikomos šios priemonės: turi būti sumontuoti kirstuvai vamzdynuose, kuriais tiekiamas amoniakas į maišytuvus poz. 7 aparatai, vamzdynai, kontroliniai matavimo ir automatikos prietaisai turi būti įžeminti; turi būti numatytas vamzdyno išsandarumas azoto-vandenilio linijose, kuriuose gali kauptis nitritinės druskos; kad į prapūtimo vamzdynus nepatektų sprogios dujos, prapūtimui skirtas azotas tiekiamas per lanksčias žarnas,

įstatant ventilius ir atbulinius vožtuvus; norint kad netikėtai pakilus slėgiui nesuirėtų aparatų sienelės, amoniako išgarintuvas poz. 1, prapūtimų išgarintuvas poz. 9 ir amoniako pašildytuvas poz. 2 apsaugomi apsauginiais vožtuvais; turi būti izoliuotos karštos vamzdynų ir aparatų vietos; apsaugos ant judančių ir besisukančių aparatų; rūgšties vamzdynų flanšai turi turėti apsauginius gaubtus; turi būti sumontuotas specialus avarinis dušas, kad darbuotojas galėtų nusiplauti ant jo patekusį amoniaką ar azoto rūgštį.

#### 4.4 Elektrosauga

Elektros srovės poveikis žmogui yra vienas iš pavojingiausių faktorių dirbant pramonėje. Pavojai skirstomi į pirminius ir antrinius. Pirminis pavojus yra tiesioginis elektros srovės poveikis žmogaus kūnui, o antrinis – elektros lanko išlydžio sukeliama labai aukšta temperatūra. Deja, dauguma nelaimingų įvykių, susijusių su elektros srove, yra mirtini žmogui. Taigi, elektrosaugos užtikrinimas yra labai svarbus įmonės aspektas. Žmogus jaučia jau 0,5 – 1,5 mA elektros srovę, 10 – 15 mA sukelia raumenų spazmą, 20 – 25 mA paraližuoja rankas, gali sukelti skausmus sąnariuose, o 90 – 100 mA sukelia staigią mirtį. Svarbus aspektas yra tai, jog pavojus atsiranda ne tik prisiliečiant prie elektros srovę turinčių įrenginių, tačiau gali atsirasti ir priartėjus arčiau nei numatytas saugus atstumas [34].

44 Lentelė Saugus atstumas nuo žmogaus iki įtampą turinčių įrenginių

Elektros įrenginio vardinė įtampa	Atstumas nuo žmonių ir jų naudojamų įrankių bei įtaisų, metrais
Aukštesnė kaip 50 V (iki 1000 V)	Neprisiliesti
Aukštesnė kaip 1000 V (iki 6 kV)	0,4
Aukštesnė kaip 6 kV (iki 35 kV)	0,6
Aukštesnė kaip 35 kV (iki 110 kV)	1,0
Aukštesnė kaip 110 kV (iki 330 kV)	2,5
Aukštesnė kaip 330 kV (iki 400 kV)	4,0

Norint apsaugoti žmogų nuo pavojingos elektros srovės, elektros lanko ar statinės elektros poveikio eksploatuojant elektros įrenginius reikia naudoti apsaugos priemones nuo elektros, galima panaudoti skiriamuosius transformatorius, kurių antrinė apvija elektriškai atskirta nuo pirminės ar pažeminti įtampą. Taip pat, galima įžeminti ar įnulinti įrenginių korpusus, kontroliuoti įtampą ir srovę, panaudoti garsinę signalizaciją ar kitokias signalines priemones, tokias kaip perspėjančios spalvos ar ženklai.

Visus 400 V ir aukštesnės įtampos kintamosios srovės ir 440 V ar aukštesnės įtampos nuolatinės elektros srovės įrenginius įžeminti ir įnulinti yra būtina. Jei aukštesnės nei 50 V kintamosios ir 75 V elektros srovės įrenginiai yra įrengti pavojingose patalpose ar lauke, juos taip pat reikia įžeminti ar įnulinti. Iki 50 V kintamosios ir 75 V nuolatinės srovės įrenginius įžeminti reikia tik tuo atveju, jei jie yra sprogimui pavojingose zonose, taip pat suvirinimo įrenginius ir kontrolinius, galios kabelius [8].

## 4.5 Darbo higiena

Darbo higiena analizuoja darbo aplinkoje esančius kenksmingus veiksnius ir jų daroma įtaką žmogaus sveikatai. Identifikuojami rizikos veiksniai yra kenksmingos medžiagos, sproginimo pavojų sukeliančios medžiagos, biologinės medžiagos, rizikos veiksniai atsirandantys dėl fizikinių pakitimų pvz., šiluminė aplinka, apšvietimas, įvairios spinduliuotės, elektros srovė. Darbo higienos tikslas yra apsaugoti darbuotojus nuo profesinių ligų ir užtikrinti tinkamas sveikatai darbo sąlygas.

Cheminės medžiagos, esančios darbo aplinkoje, gali įvairias būdais patekti į žmogaus organizmą – įkvepiant, su maistu, su vandeniu ar per odą. Ribiniai dydžiai yra nustatomi tokie, kad darbuotojas nepatirtų jokio šių medžiagų žalingo poveikio. Reikia užtikrinti, kad užterštas oras būtų kuo švaresnis – medžiagų koncentracijos būtų kuo mažesnės net ir tada, kai dydžiai neviršytų nustatytų ribinių normų. Tai ypač svarbu, kai vienu metu darbuotoją veikia kelios cheminės medžiagos ar joms veikiant jis dirba sunkų fizinį darbą [35].

Kenksmingos cheminės medžiagos, naudojamos azoto rūgšties gamyboje:

**Amoniakas** – tai skystos arba dujinės formos medžiaga. Esant normalioms sąlygom amoniakas yra bespalvės aštraus savito kvapo, lakios ir su oru sprogius mišinius sudarančios dujos. Sprogumo riba yra 16-28 tūrio % ore. IPRD  $\leq 14 \text{ mg/m}^3$ , TPRD  $\leq 36 \text{ mg/m}^3$ . Amoniakas dirgina viršutinio kvėpavimo takus, didelės dozės toksiškai veikia centrinę nervų sistemą. Įkvėpus gali pasireikšti galvos skausmas, pykinimas ir vėmimas, sausas kosulys ir dusulys. Amoniakui patekus ant odos gali pasireikšti uždegiminiai simptomai – skausmingi paraudimai, pūslės, cheminiai nudegimai. Patekus į akis, ragena suminkštėja ir nusilupa negrįžtamai, žmogus gali apakti. Apsisaugojimui naudojamos įvairios priemonės, tokios kaip apsauginiai skydeliai, hermetiniai akiniai, filtruojanti dujokaukė, chemiškai atsparūs drabužiai ir pirštinės bei guminiai batai.

**Azotas (N<sub>2</sub>)** – bespalvės, bekvapės dujos, kurios lydosi esant -210 °C temperatūroje, o verda esant -196 °C temperatūroje. Azotas užima didžiausią dalį žemės atmosferoje – ore azotas sudaro 78 tūrio %. Šios dujos naudojamos inertinei aplinkai sudaryti, kurioje lengvai oksiduojasi medžiagos, taip pat naudojamos su azotu nesąveikaujančių karštų metalų apdirbimo procesuose. Didėjant azoto koncentracijai ore, didėja ir žalingas poveikis žmogui, kadangi atitinkamai sumažėja ir procentinis deguonies kiekis ore. Kvėpuojant aplinkos oru, kuriame yra sumažėjusi deguonies koncentracija, gali atsirasti būdingi simptomai, tokie kaip galvos skausmas, dusulys ar net sąmonės praradimas. Didelė tikimybė, jog azoto koncentracija bus padidėjusi patalpose, kuriose azotu prapučiami vamzdiniai ar technologiniai indai. Žarninės dujokaukės ir suslėgto oro kvėpavimo aparatai naudojami kaip prevencinės priemonės.

**Azoto oksidai (NO<sub>x</sub>)** – nedegios, nesprogios dujos. Įprastai gelsvai rudos spalvos, tačiau spalva tamsėja didėjant azoto oksidų koncentracijai. Azoto oksido IPRD  $\leq 30 \text{ mg/m}^3$ , TPRD  $\leq 60 \text{ mg/m}^3$ . Azoto dioksido IPRD  $\leq 4 \text{ mg/m}^3$ , NRD  $\leq 10 \text{ mg/m}^3$ . Įkvėpus, azoto oksidai kvėpavimo takuose gali reaguoti su gleivinėse esančia drėgme, todėl tokiu būdu gali susidaryti azoto rūgštis ir tai gali sukelti plaučių edemą. Taip pat, iš azoto oksidų kraujyje gali susidaryti nitritai ir nitratai, kurie plečia kraujagysles ir taip mažina arterinį kraujo spaudimą.

**Azoto rūgštis** – bespalvis, ore garuojantis ir sudarantis toksišką azoto oksidą skystis. Azoto rūgštis yra stiprus oksidantas, gali suardyti organines medžiagas. Patekus ant odos rūgštis veikia

koroziskai – pasireiškia nudegimai ir audinių nekrozė. Įkvėpus atsiranda kvėpavimo takų dirginimas, kosulys, silpnumas, galvos skausmas ir svaigimas. Apsinuodijimui sunkėjant gali atsirasti traukuliai, koma, plaučių edema, gali įvykti refleksinis kvėpavimo sustojimas. Norint apsaugoti nuo toksinio azoto rūgšties poveikio naudojami apsauginiai akiniai, filtrinės dujokaukės. Taip pat, jei šalia nėra specifinių apsaugos priemonių, galima panaudoti rankšluostį ar marlės kaukę sudrėkinus 2 % geriamosios sodos tirpalu.

**DEHA (Dietilhidroksiamino vandeninis tirpalas)** – bespalvis arba gelsvos spalvos, silpno kvapo skystis, kuris naudojamas kaip garo katilų, kondensato linijų korozijos ir nuovirų inhibitorius. Pasižymi gleivines dirginančiu poveikiu. Labai degus, todėl turi būti laikomas kuo toliau nuo šilumos ir atvirų liepsnos šaltinių. Apsisaugojimui naudojamos apsauginės pirštinės, specialūs drabužiai ir apsauginiai akiniai.

#### 4.6 Gaisrinė sauga

Gaminant azoto rūgštį galimi skysčių ir dujų gaisro pavojai. Norint išvengti gaisro pavojaus, gamykloje turi būti įrengtos gaisro aptikimo ir signalizavimo schemos, gaisriniai hidrantai, gaisriniai čiaupai bei gesintuvai. Taip pat, kiekvienas darbuotojas turi būti apmokytas, kaip reikia saugiai dirbti laikantis gaisrinės saugos instrukcijų reikalavimų. Darbuotojas privalo dirbti tik su tvarkinga darbo įranga, turi žinoti pagrindines naudojamų ir susidarantių medžiagų pavojingumo charakteristikas, baigus darbą turi susitvarkyti darbo vietą, išjungti elektrinius prietaisus. Darbuotojai turi mokėti naudotis gesinimo priemonėmis ir vengti sudaryti sąlygas gaisrui atsirasti [36].

45 lentelė Gesintuvų kategorijos, atsižvelgiant į gesinimo medžiagos tipą

I kategorija	Vandens gesintuvai (pripildyti vandens, vandens su priedais ar vandens ir putų mišinio).
II kategorija	Miltelių gesintuvai
III kategorija	Anglies dioksido gesintuvai

Gesintuvai turi būti: gerai prieinamose ir matomose vietose, ne arčiau kaip 1 m nuo šildymo prietaisų; kabinami ne aukščiau kaip 1,5 m nuo grindų iki gesintuvo apačios; statomi gaisrinių čiaupų spintelėse ar prie jų, gaisriniuose skyduose arba ant grindų, laikomi specialiose dėžutėse, stovuose, spintelėse. Gesintuvai turi turėti ant korpuso užrašytą padalinio šifrą ir gesintuvo numerį, užplombuotą paleidimo mechanizmą, raudonai nudažytą korpusą ir užrašą, nurodantį naudojimo būdą ir galiojimo laiką. Pasibaigus gesintuvo galiojimo laikui turi būti atliekama techninė jo priežiūra. Elektros įrenginius iki 1000 V įtampos reikia gesinti dujų ir miltelių ABC klasės gesintuvais.

Kiekvienas darbuotojas privalo susipažinti su gesintuvo naudojimo instrukcija, gesinti tik tas medžiagas, kurių gesinimui gesintuvas yra skirtas. Draudžiama gesinti elektros įrenginius su putų gesintuvais. Taip pat, naudojantis putų gesintuvais darbuotojas turi elgtis atsargiai, reikia stengtis, kad putos nepatektų ant atvirų kūno dalių ar akių. Kai kuriais atvejais naudojantis miltelių gesintuvais reikia naudoti respiratorius. Naudojami angliarūgštės gesintuvai stipriai atšąla, todėl privaloma dėvėti apsaugines pirštines.

Remiantis pastatų gaisringumo ir sprogumo kategorijomis nustatomas gesintuvų skaičius – azoto rūgšties gamybos metu konversijos ir kompresijos skyriuose turi būti mažiausiai 2 nešiojamieji 6 kg gesintuvai, 3 kilnojamieji gesintuvai, iš kurių bent 2 turi būti 20 – 25 kg ir vienas 40 kg ir daugiau svorio. Ne mažiau dviejų 4 kg ir vienas 6 kg nešiojamasis gesintuvas turi būti įrengtas absorbcijos skyriuje, siurblinėje ir lauko aikštelėje [36].

Dar viena priemonė, kuri gali padėti užtikrinti gaisrinę saugą yra evakuacijos planas. Kiekvienas pastato aukštas turi turėti bent 2 evakuacinius išėjimus, kurie turi būti laisvi, parengti žmonėms evakuoti bet kuriuo metu. Evakuacijos planas turi būti pakabintas gerai matomoje vietoje, kiekviename pastato aukšte. Pagrindinis evakuacijos kelias plane žymimas ištisine linija, kelias turi eiti per laiptines apsaugotas nuo dūmų ir vedančias į pastato pirmą aukštą. Atsarginis kelias žymimas punktyrine linija. Kiekvienas darbuotojas privalo būti susipažinęs su evakuacijos planu [37].

## IŠVADOS

Literatūros apžvalgoje atlikta azoto rūgšties gamybos būdų analizė, palygintos skirtingos technologijos bei jų naudojimo būdai. Aptarti technologijų pranašumai ir trūkumai. Palyginus visas technologijas matyti, kad geriausias ir efektyviausias būdas tiek ekonominiu tiek aplinkosauginiu aspektu rūgštį gaminti dviejų slėgių technologija. Taip pat, padidinti rūgšties gamybos efektyvumą galima atnaujinus NO oksidavimo procesą panaudojant katalizatorių. Katalizatoriaus pasirinkimas priklauso nuo: katalizatoriaus darbinių sąlygų, NO konversijos laipsnio bei tarnavimo laiko. Todėl šiame projekte pasirinktas Pt/TiO<sub>2</sub> katalizatorius.

Tiriamojame dalyje buvo atliktas modeliavimas naudojant Aspen HYSYS programą ir sudaryti medžiagų balansai, esant skirtingam NO oksidavimo laipsniui. Sumodeliavus schemas gautą, kad NO oksidavimo laipsnis padidėja nuo 94 iki 100 % bei panaudojus tą patį žaliavų kiekį buvo gauta 3,3 % daugiau grynos azoto rūgšties. Taip pat sumažėjo nesureagavusių azoto oksidų kiekis.

Aprašyta dviejų slėgių „GP“ azoto rūgšties gamybos technologija. Atlikus kelis technologinius pakeitimus buvo nustatyta, kad panaudojus Pt/TiO<sub>2</sub> katalizatorių NO oksidavimo reakcijai vyksta efektyviau ir gaunama didesnė produkto koncentracija. Iš gautų duomenų nustatyta, kad gauti 25149kg/h grynos azoto rūgšties reikia 341 kg/h mažiau amoniako pritaikius inžinerinius pakeitimus.

Atliktas darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimas ir identifikuoti gresiantys pavojai darbininkams azoto rūgšties gamybos metu bei pasiūlytos prevencinės priemonės nelaimėms užkirsti. Aprašytos instrukcijos kaip sukurti darbuotojams saugią aplinką, kaip dirbant atpažinti pavojingas medžiagas ir kaip su jomis elgtis, kaip elgtis avarių atvejais.

Atlikus aplinkosauginį azoto rūgšties gamybos agregato vertinimą, nustatyta, kad didžiausią žalą gamtai daro išmetimai į aplinkos orą. Daugiausia teršalų sudaro azoto oksidai ir azoto suboksidai. Taip pat nustatytos gamybos metu susidarančios atliekos bei jų tvarkymo būdai.

Atliktas statybinis vertinimas. Nustatyta vieta, kur bus statomas azoto rūgšties gamybos cechas. Nubrėžti brėžiniai: pirmo aukšto planas, pastato pjūvis ir sklypo planas. Pastato bendras plotas 1494 m<sup>2</sup>, aukščiausia vieta 28,9 m, sklypo plotas 62,5 m<sup>2</sup>.

Atliktas azoto rūgšties gamybos modernizavimo finansinis ir ekonominis įvertinimas. Skaičiavimai atlikti 239000. tonų per metus grynai azoto rūgščiai gauti. Apskaičiavus lūžio tašką, gauta, kad veikla vėl taps pelninga pardavus 14206 t grynos azoto rūgšties, o investicijos atsipirks po 1,67 metų. Po modernizacijos azoto rūgšties gamybos savikaina sumažėja 7,4 eur0, o metinis pelnas padidėja 1,868 mln. Eur

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

- [1] Ata ul Rauf Salmana , Bjørn Christian Engerb , Xavier Auvray Catalytic oxidation of NO to NO<sub>2</sub> for nitric acid production over a Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst [žiūrėta 2021-04-18].
- [2] Nitric Acid. In: Synthetic Nitrogen Products. Springer, Boston, MA. 2005 [žiūrėta 2021-04-20]. Online ISBN 978-0-306-48639-5. Prieiga per: [https://doi.org/10.1007/0-306-48639-3\\_9](https://doi.org/10.1007/0-306-48639-3_9).
- [3] Arktis–Beketas visuotinė lietuvių enciklopedija T II 2002m. [žiūrėta 2021-04-10].
- [4] Steudel, Ralf. Chemistry of the Non-Metals : With an Introduction to Atomic Structure and Chemical Bonding, edited by Frederick C. Nachod, and Jerry J. Zuckerman, De Gruyter, Inc., 2011 [žiūrėta 2021-04-16] Prieiga per: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/ktu-ebooks/detail.action?docID=938477>.
- [5] Junmei Zhao, Yong Zuo, Deqian Li, Shuzhen Liu Extraction and separation of cerium (IV) from nitric acid solutions containing thorium (IV) and rare earths (III) by DEHEHP mokslinis straipsnis. Kinija, 2004. [žiūrėta 2021-04-16]
- [6] Martín, M. M. Chapter 6 - nitric acid. In M. M. Martín (Ed.), Industrial chemical process analysis and design. Boston: Elsevier, 2016, pp. 299-345.
- [7] Abbasfard, H., Ghanbari, M., Ghasemi, A., Ghahraman, G., Jokar, S. M., & Rahimpour, M. R. (2014). CFD modelling of flow mal-distribution in an industrial ammonia oxidation reactor: A case study. Applied Thermal Engineering, 67(1–2), 223–229 [žiūrėta 2021-03-16]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.03.035>
- [8] Jinhyun Sung, Jungsoo Kim, Youngbee Lee ir kiti Decontamination of uranium – contaminated waste oil using supercritical fluid and nitric acid mokslinis straipsnis. Anglija Oxfordo universitetas 2011 [žiūrėta 2021-05-01]
- [9] G. Ertl, H. Knozinger, J. Weitkamc 19 Part B: Chapter 2: Inorganic Reactions. Handbook of Heterogeneous Catalysis, 1697–1799 [žiūrėta 2021-04-22]. Prieiga per: <https://onlinelibrary.wiley.com/>
- [10] Anton Fadic Eulefi. Study of Nitrous Oxide Production in the Nitric Acid Process: daktaro disertacija. University of Alberta. Edmond, 2018 [žiūrėta 2021-04-16].
- [11] Hatscher, S. T., Fetzer, T. , Wagner, E. and Kneuper, H. Ammonia Oxidation. In Handbook of Heterogeneous Catalysis, 2008 [žiūrėta 2021-03-27]. Prieiga per: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9783527610044.hetc0130>.
- [12] Integrated Pollution Prevention and Control. Reference document on best available techniques for the manufacture of large volume inorganic chemicals e ammonia, acids and fertilizers. European Commission, Directorate-General JRC, 2007. [žiūrėta 2021-03-24].
- [14] Thiemann, M. , Scheibler, E. and Wiegand, K. W. Nitric Acid, Nitrous Acid, and Nitrogen Oxides. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, (Ed.), 2000 [žiūrėta 2021-04-30]. Prieiga per: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a17\\_293](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a17_293)
- [15] Hocking, Martin B. 11 - Ammonia, Nitric Acid and Their Derivatives, 2005 [žiūrėta 2020- 05-01]. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120887965500144>

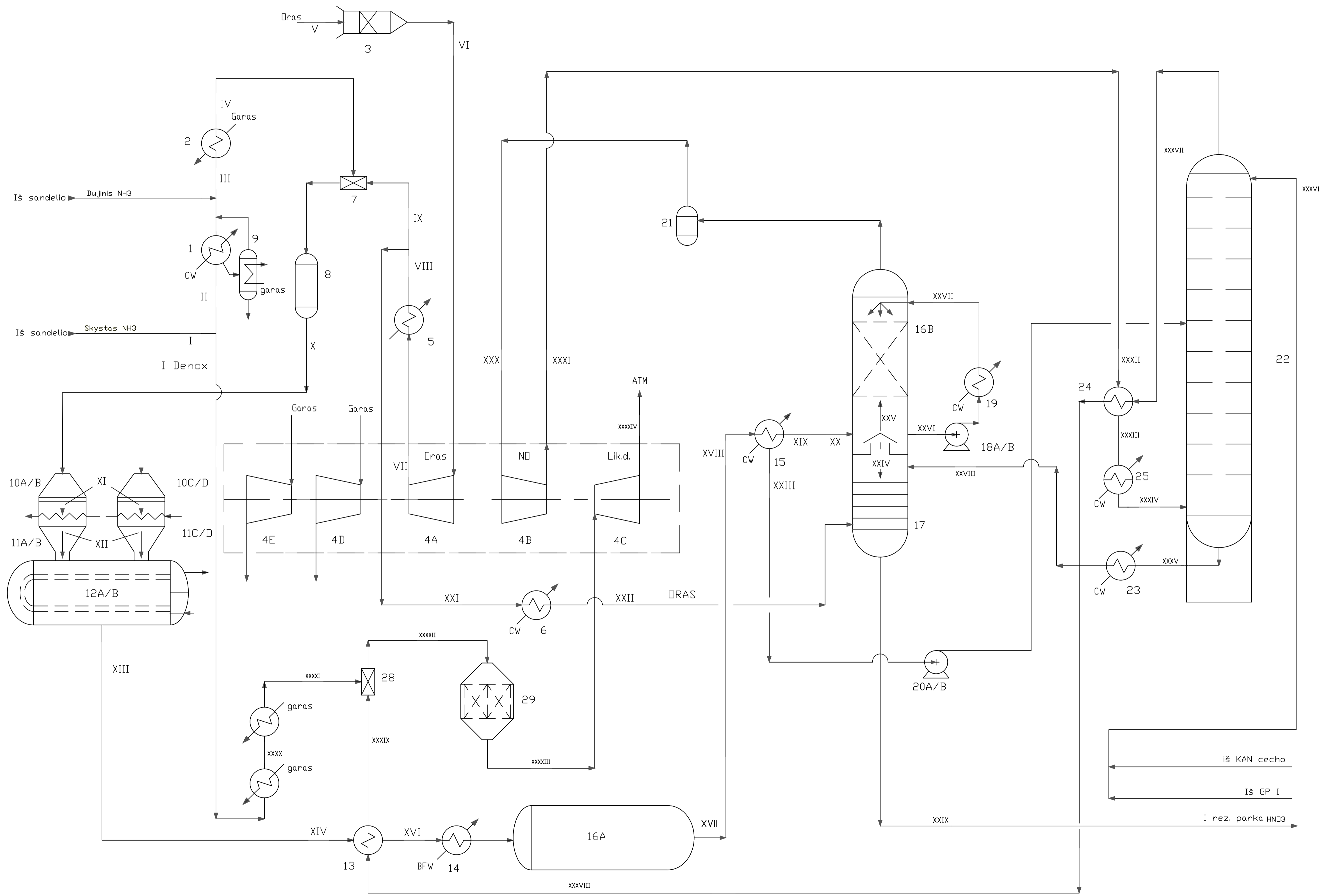


- [16] Junmei Zhao, Yong Zuo, Deqian Li, Shuzhen Liu Extraction and separation of cerium (IV) from nitric acid solutions containing thorium (IV) and rare earths (III) by DEHEHP mokslinis straipsnis. Kinija, 2004. [žiūrėta 2021-05-09]
- [17] Įmonė „DuPont Industrial Biosciences“ Mecs nitric acid process technology [žiūrėta 2021-05-05] priega per internetą: <http://cleantechnologies.dupont.com/technologies/mecs/technologiestechnologies-mecsdupont-clean-technologies-mecs-processes/nitric-acid/>
- [18] Harvin, R. L. Leray, D. G. Roudier, L. R. (1979). Single Pressure or Dual Pressure Nitric Acid: an Objective Comparison. 173-183 [žiūrėta 2021-04-25]. Priega per: <http://www.iffcokandla.in/data/proceedings/59741aiche-1978-1.2502145/t001-1.2502206/f001-1.2502207/a034-1.2502211.html>
- [19] MICHAEL THIEMANN, Uhde GmbH, Dortmund, Federal Republic of Germany Nitric Acid, Nitrous Acid, and Nitrogen Oxides [žiūrėta 2021-04-30].
- [20] Catalytic oxidation of NO over TiO<sub>2</sub> supported platinum clusters I. Preparation, characterization and catalytic properties [žiūrėta 2021-04-25].  
Priega per internetą: [www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926337309003919](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926337309003919)
- [21] Hong, Z., Wang, Z., & Li, X. (2017). Catalytic oxidation of nitric oxide (NO) over different catalysts: an overview. Catalysis Science & Technology, 7(16), 3440–3452. doi:10.1039/c7cy00760d [žiūrėta 2021-05-05]. priega per internetą: <https://scihub.se/https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/cy/c7cy00760d/unauth#!divAbstract>
- [22] Auvray, X., & Olsson, L. (2015). Stability and activity of Pd-, Pt- and Pd–Pt catalysts supported on alumina for NO oxidation. Applied Catalysis B: Environmental, 168-169, 342–352. doi:10.1016/j.apcatb.2014.12.035 [žiūrėta 2021-05-05]. Priega per internetą: <https://scihub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926337314008091>
- [23] Johnson Matthey technology review The Manufacture of Nitric Acid The Role of Platinum Alloy Gauzes in the Ammonia Oxidation Process Priega per internetą: <https://www.technology.matthey.com/article/11/1/2-9/>
- [24] Salman, A. ul R., Enger, B. C., Auvray, X., Lødeng, R., Menon, M., Waller, D., & Rønning, M. (2018). Catalytic oxidation of NO to NO<sub>2</sub> for nitric acid production over a Pt/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst. Applied Catalysis A: General, 564, 142–146 [žiūrėta 2021-04-25] Priega per internetą <https://scihub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926860X18303429>
- [25] Clarke, S. I., Mazzafro, W. J. (2005). Nitric Acid. In Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, (Ed.). [žiūrėta 2021-04-21]. Priega per internetą: doi:10.1002/0471238961.1409201803120118.a01.pub2
- [26] Lindsay, A., Byrns, B., King, W. (2014) et al. Fertilization of Radishes, Tomatoes, and Marigolds Using a Large-Volume Atmospheric Glow Discharge. Plasma Chem Plasma Process 34, 1271–1290 [žiūrėta 2021-04-21]. Priega per: <https://doi.org/10.1007/s11090-014-9573-x>
- [27] Darbuotojų sauga ir sveikata [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2021-05-06]. Priega per: <https://socmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/darbo-rinka-uzimtumas/darbuotoju-sauga-ir-sveikata>
- [28] Sanitarinių apsaugos zonų ribų nustatymo ir režimo taisyklės. Valstybės žinios, 2004, Nr.1344878. [žiūrėta 2021-05-06].

- [29] Profesinės rizikos vertinimo bendrieji nuostatai. Valstybės žinios, 2012, Nr. 126-6350. [žiūrėta 2021-05-06].
- [30] Slėginių indų naudojimo taisyklės. Valstybės žinios, 2002, Nr. 115-5165. [žiūrėta 2021-05-06].
- [31] HN 98:2014. Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai. TAR, 2014, Nr. 5119[žiūrėta 2021-05-06].
- [32] HN 33:2011. „Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje“. Valstybės žinios, 2011, Nr. 75-3638. [žiūrėta 2021-05-06].
- [33] Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas. Valstybės žinios, 2003, Nr. 70-3170. [žiūrėta 2021-05-06].
- [34] Saugos eksploatuojant elektros įrenginius taisyklės. Valstybės žinios, 2010, Nr. 39-1878 [žiūrėta 2021-05-06].
- [35] HN 23:2011. „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai. Valstybės žinios, 2011, Nr. 112-5274 [žiūrėta 2021-05-06].
- [36] 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). [žiūrėta 2021-05-06].
- [37] Bendrosios gaisrinės saugos taisyklės. Valstybės žinios, 2005, Nr. 26-852 [žiūrėta 2021-05-06].

## **PRIEDAI**

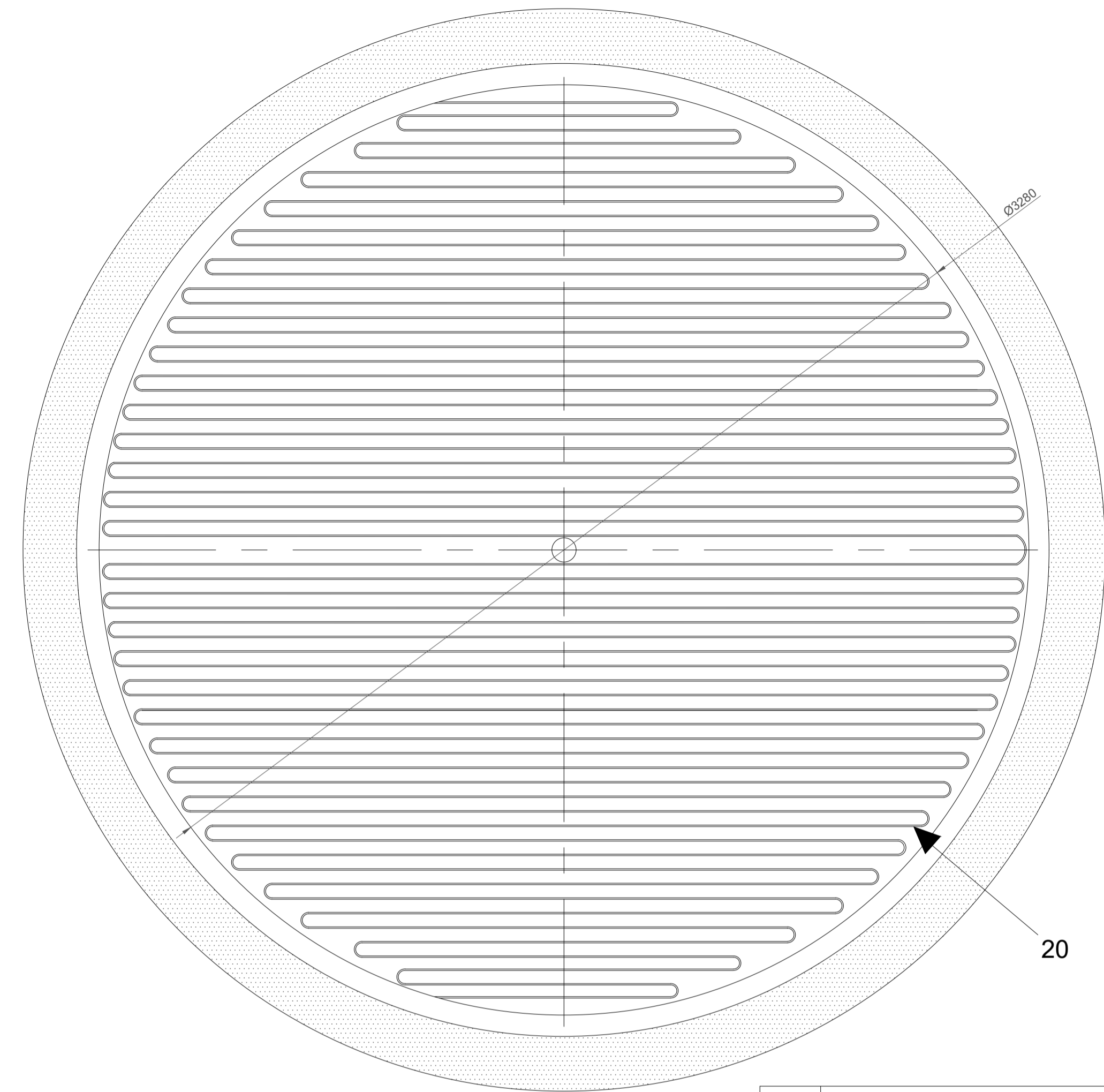
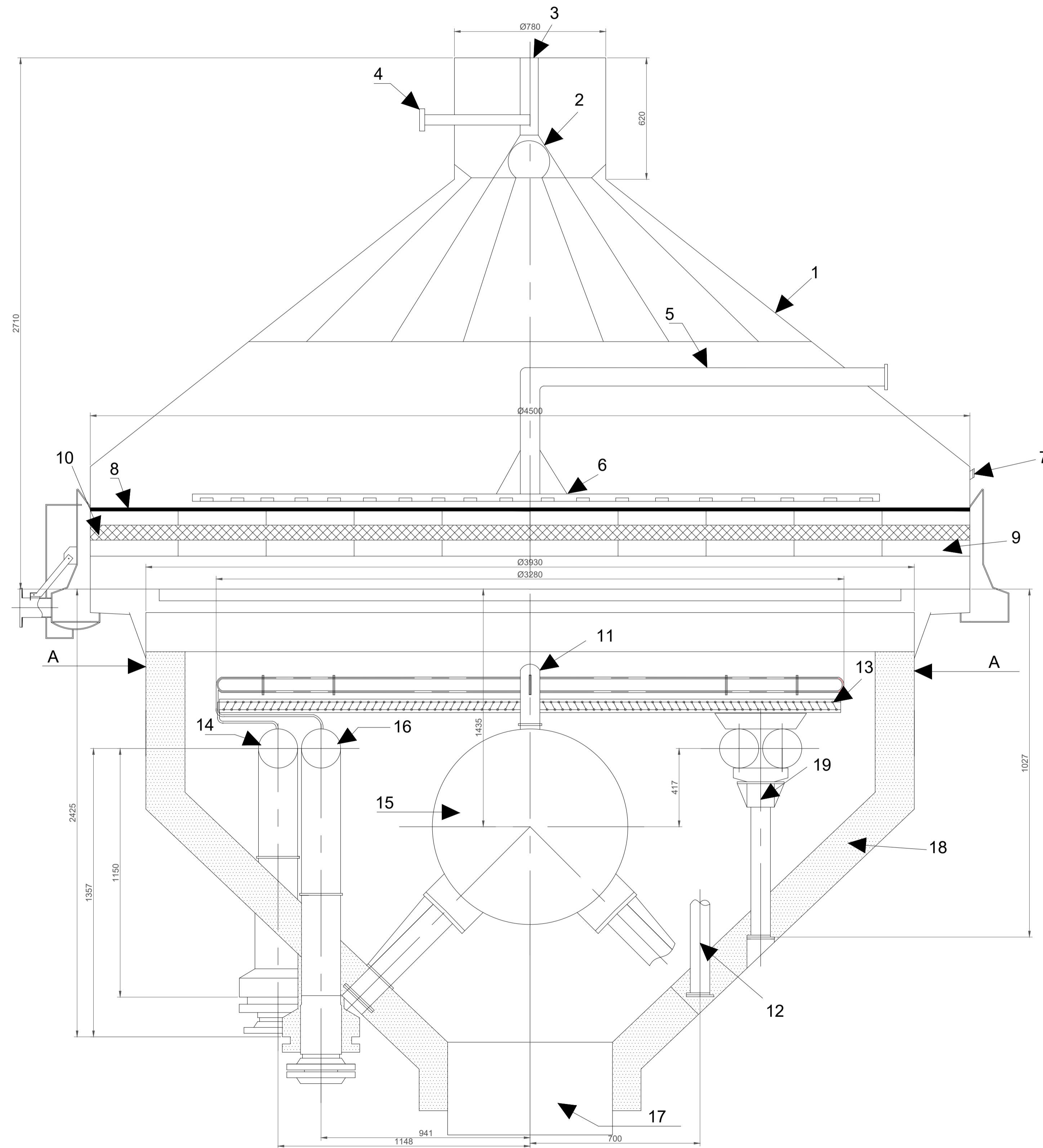
1. Technologinė schema
2. Kontaktinis aparatas
3. Vaizdas iš viršaus
4. Pjūvio planas
5. Sklypo planas



1. Amoniaکو išgarintuvas
2. Amoniaکو pašildytojas
3. Oro filtras
- 4A. Oro kompresorius
- 4B. NOx kompresorius
- 4C. Liekamųjų dujų turbina
- 4D. Garo turbina
- 4E. Garo turbina
5. Oro šaldytuvas
6. Antrinio oro aušintuvas
7. Amoniaکو oro sumaišytuvas
8. Oro amoniacو mišinio filtras
9. Amoniaکو prapūtimų išgarintuvas
10. Kontaktinis aparatas
11. Garo perkaita
12. Katilas utilizatorius
13. Liekamųjų dujų pašildytojas
14. Ekonomaizeris
15. Nitrozinių dujų šaldytuvas-kondesatorius
- 16A Vamzdinis oksidavimo reaktorius
- 16B\17 Oksidavimo kolona/Rūgšties prapūtimo kolona
18. Oksidacinės kolonos cirkuliacinis siurblys
19. Oksidacijos kolonos azoto rūgšties šaldytuvas
20. Silpnos rūgšties siurblys
21. Separatorius prieš nitrozinių dujų kompresorių
22. Absorbcinė kolona
23. Produkcinė azoto rūgšties šaldytuvas
24. Nitrozinių dujų šaldytuvas
25. Nitrozinių dujų šaldytuvas
26. Amoniaکو išgarintuvas selektyviam valymu DeNOx
27. Amoniaکو pašildytuvas DeNOx sistemai
28. Amoniaکو įpurškimo įrenginys-sumaišytuvas
29. Selektivaus valymo DeNOx reaktorius

Grupė	KTU Cheminės Technologijos fakultetas			Baigiamasis magistro projektas		
TMC-9				Azoto rūgšties gamybos modernizavimas		
	Vardas Pavardė	Parašas	Data	Azoto rūgšties gamybos technologinė schema		
Sudėtinis	Lukas Trakys					
Vadovas	Andrius Jaskevičius					
Konkurentas	Andrius Jaskevičius					
Patvirtinantis	Simona Ošchaviciūtė					
Pr. etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas			21-BBP-FNCHK		Lapas Lapų
BMP				1		1

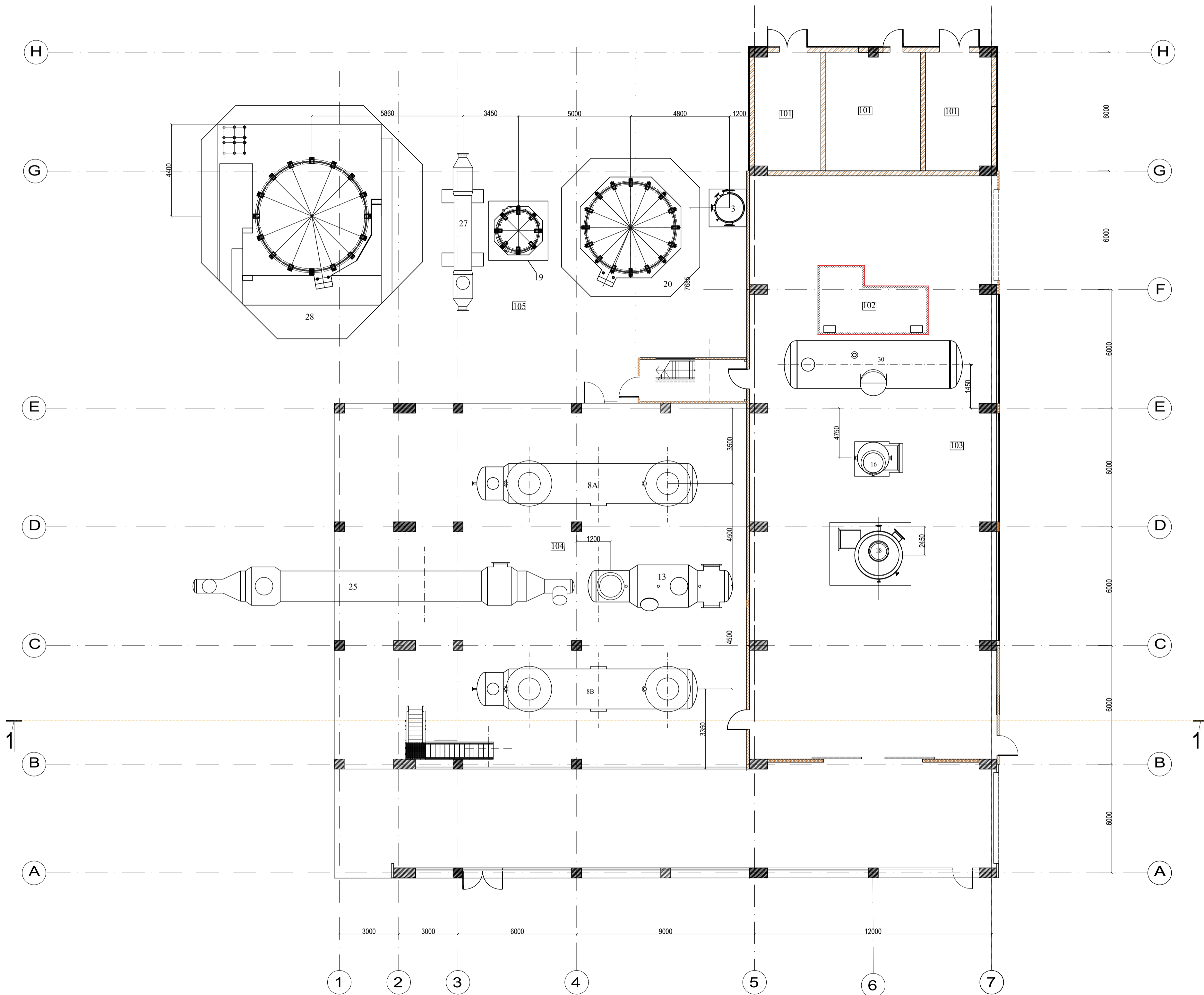
# A-A



1	Korpusas
2	Amoniaکو-oro mišinio paskirstymo gaubtas
3	Amoniaکو-oro mišinio įtekėjimo atvamzdis
4	Termometras
5	Paleidimui skirto vandenilio vamzdis
6	Vandenilio paskirstymo įrenginys
7	Apžiūros langelis
8	Platinos tinkleliai
9	Grotelės
10	Platinos tinkleliai
11	Garų perkaitos laikiklis
12	Garų perkaitos sutvirtinimo stovai
13	Garų perkaita
14	Perkaitinto garo išėjimo vamzdis
15	Nitrozinių dujų paskirstymo balionas
16	Įeinančio garo vamzdis
17	Nitrozinių dujų išėjimo atvamzdis
18	Termoizoliacinis sluoksnis
19	Garų perkaitos apatinių vamzdžių stovas
20	Gyvatukai

Grupė	KTU Cheminės Technologijos fakultetas	Baigiamasis bakalauro projektas	
TMC 9		Azoto rūgšties gamybos modernizavimas	
	Vardas Pavardė	Parašas	data
	Studentas	Lukas Trilkyš	
	Vadovas	Andrius Jaskevičius	
	Konsultantas	Andrius Jaskevičius	
	Revisoriai	Simona Ostasheviciute	
Pr. etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra	Kontaktinis aparatas	
BMP	LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas	21-BMP-FNCHK	Lapas Lapų 1 1

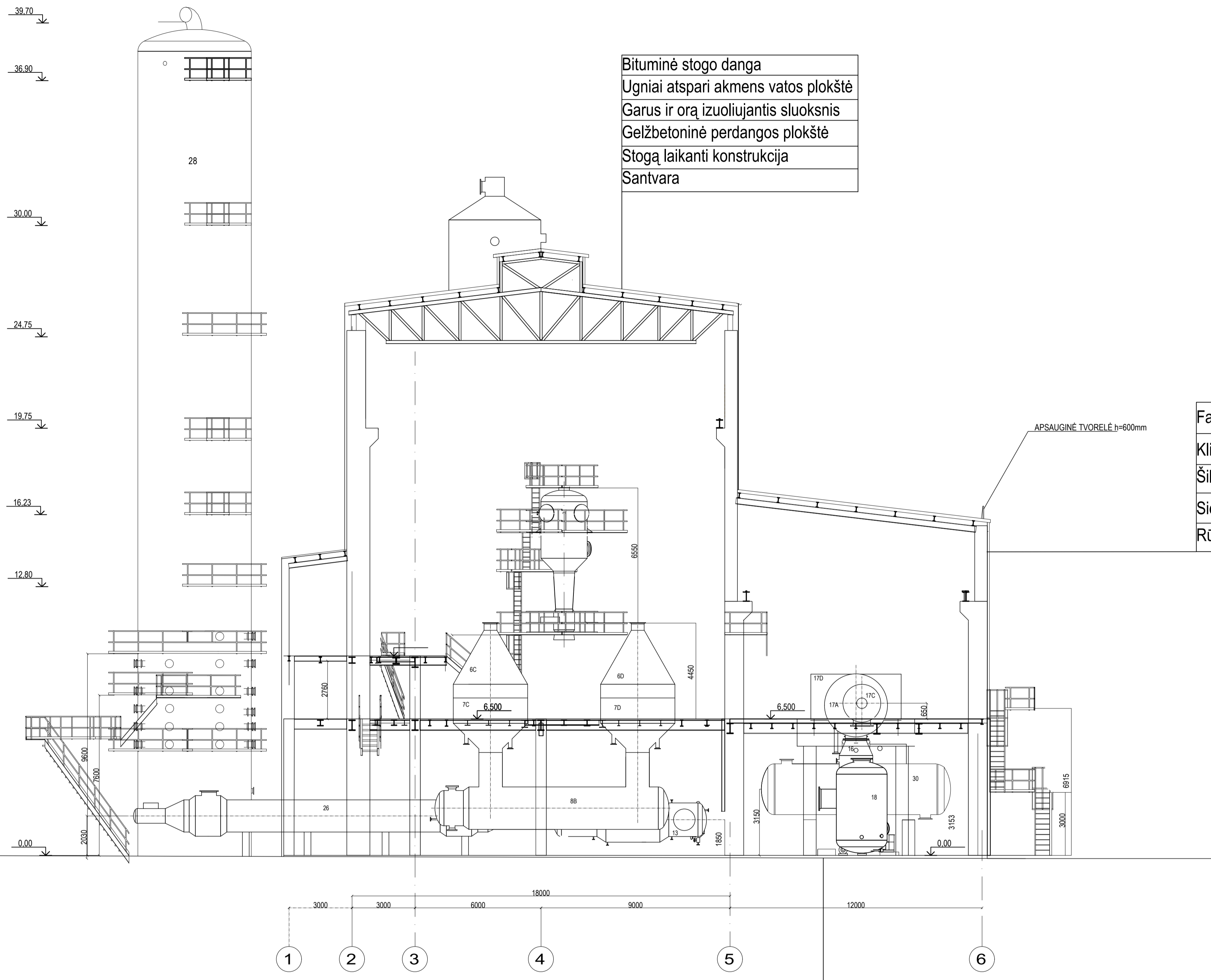




Patalpų eksplikacija		
Eil.Nr	Pavadinimas	Plotas m2
101	Transformatorinė	190
102	Siurblinukė	50
103	Kompresijos skyrius	492
104	Konversijos skyrius	368
105	Lauko Aikštelė	394

Įrengimų eksplikacija			
Eil.Nr	Pavadinimas	Žymuo	Kiekis
1	Amoniako išgarintuvas	3	1
2	Katilas- utilizatorius	8A/B	1
3	NOx aušintuvas	13	1
4	Oro aušintuvas	16	1
5	Separatorius	18	1
6	Aušintuvas-kondesatorius	19	1
7	Prapūtimo kolona	21	1
8	Likutinių dujų išgarintuvas	25	1
9	Rugšties aušintuvas	27	1
10	Absorbcijos kolona	28	1
11	Garų turbinos kondesatorius	30	1

Grupė	KTU Cheminės Technologijos fakultetas			Baigiamasis magistro projektas	
TMC-9				Azoto rūgšties gamybos modernizavimas	
	Vardas	Pavardė	Parašas	Data	
Studentas	Lukas	Trikšys			
Vedovas	Andrius	Jaskūnas			
Konsultantas	Odeta	Vilūnienė			
Revisoriai	Simona Čiulėnaitė				
Pr. etapas	Fizinės ir neorganinės chemijos katedra			21-BMP-FNCHK	
BMP	LT - 50254 Radvilėnų pl 19, Kaunas			Lapas	Lapų
				1	1



Bituminė stogo danga  
 Ugniai atspari akmens vatos plokštė  
 Garus ir orą izoliujantis sluoksnis  
 Gelžbetoninė perdangos plokštė  
 Stogą laikanti konstrukcija  
 Santvara

APSAUGINĖ TVORELĖ h=600mm  
 Fasadinė plokštė sustiprinta poliuretano dangomis  
 Klijų mišinys d=20 mm  
 Šilumos izoliacija d= 25mm  
 Sieninė profiliuota skarda d= 15mm  
 Rūgštims atsparus padengimas

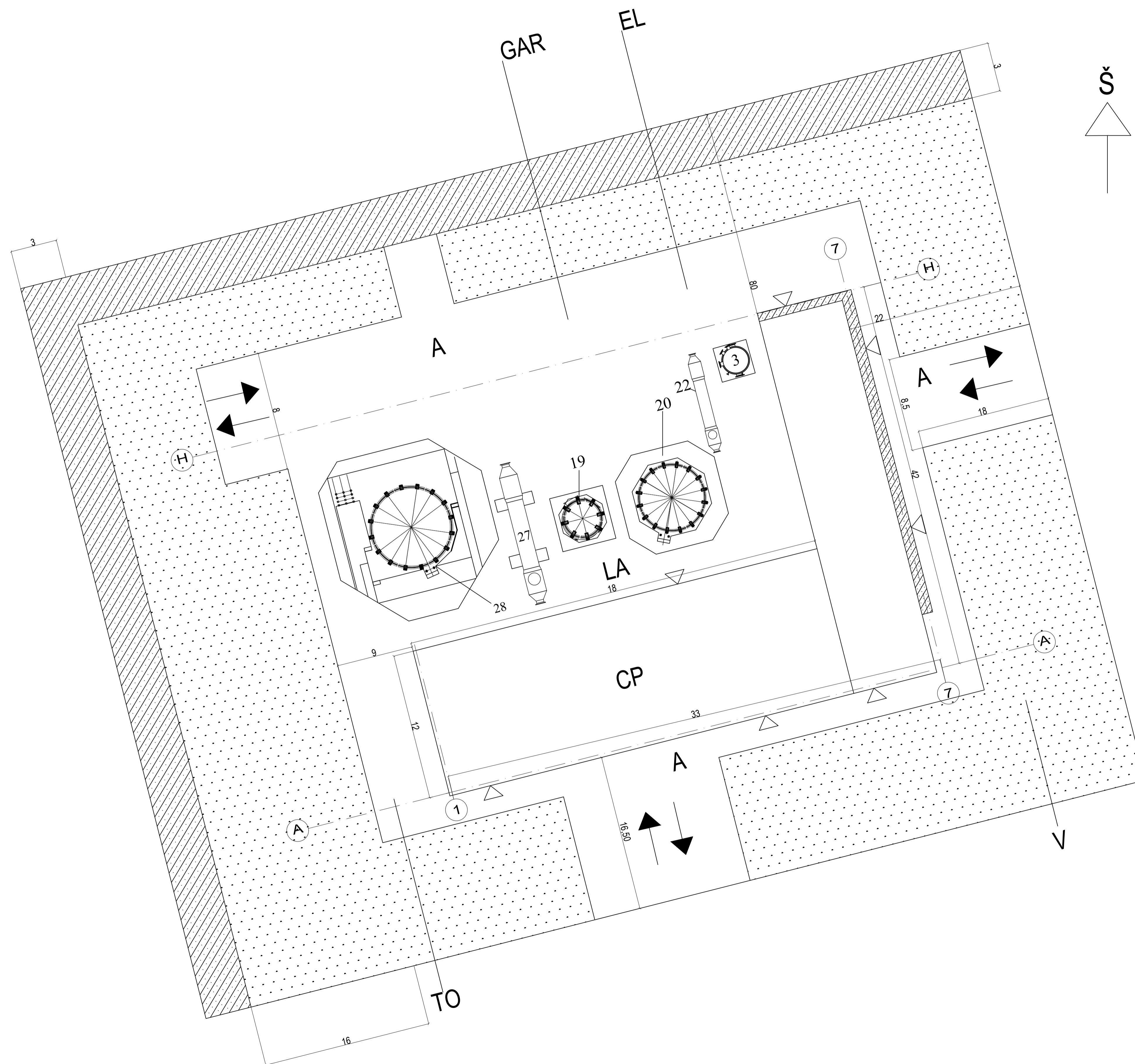
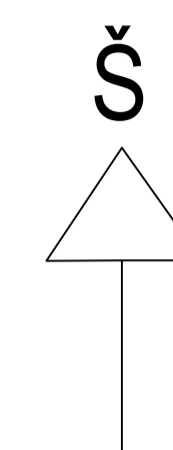
Rūgštims atsparaus betonas skysto stiklo pagrindo  
 Skystojo stiklo tarp sluoksnis d=25mm  
 Išlyginamasis sluoksnis d=40 mm  
 Bituminė hidroizoliacija d=10mm  
 Skystojo stiklo pasluoksnis d=15mm

Įrengimų eksplikacija			
Eil.Nr	Pavadinimas	Žymuo	Kiekis
1	Sumaišytuvas	4	1
2	Amoniaکو -oro mišinio filtras	5	1
3	Kontaktinis aparatas	6	1
4	Garų perkaitintuvas	7	1
5	Katilas-utilizatorius	8	1
6	Liekamųjų dujų turbina	17C	1
7	Garų turbina	17D	1
8	Oro kompresorius	17A	1
9	Oksidavimo kolona	20	1

Grupė	KTU Cheminės Technologijos fakultetas	Baigiamasis magistro projektas	
TMC-9		Azoto rūgšties gamybos modernizavimas	
	Studentas: Lukas Trikšys	Parašas:	Data:
	Vadovas: Andrius Jaskūnas	Azoto rūgšties cecho pjūvis 1-1	
	Konsultantai: Odeta Vilūnienė		
	Referencijos: Simona Osipavičiūtė		
Pr. etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra	Lapas	Lapų
BMP	LT - 50254 Radvilėnų pl 19, Kaunas	21-BMP-FNCHK	1 1



# Situacijos planas



Lauko įrengimų eksplikacija		
Eil.Nr	Pavadinimas	Žymuo
1	Amoniako išgarintuvas	3
2	Aušintuvas- kondesatorius	19
3	Oksidavimo kolona	20
4	Išorinis aušintuvas	22
5	Azoto rūgšties aušintuvas	27
6	Absorbcijos kolona	28

Sutartinis žymėjimas	
Gar	Garo linija
EI	Elektros linija
TO	Technologinis oras
V	Vanduo
CP	Cecho pastatas
	Plytelės
	Veja
A	Asfaltas
LA	Lauko aikštelė
	Įėjimas/Išėjimas

Grupė	KTU Cheminės Technologijos fakultetas	Baigiamasis magistro projektas	
TMC-9		Azoto rūgšties gamybos modernizavimas	
	Vardas Pavardė	Parašas	Data
Studentas	Lukas Trakšys		
Vedovas	Andrius Jaskūnas		
Konsultantė	Odeta Vilimienė		
Recepcionė	Simona Ostachavičiūtė		
Pr. etapas	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra	Sklypo planas	
BMP	LT - 50254 Radvilėnų pl 19, Kaunas	21-BBP-FNCHK	Lapas 1 / Lapų 1