



**Kauno technologijos universitetas**  
**Cheminės technologijos fakultetas**

# **AZOTO RŪGŠTIES GAMYBOS AGREGATO TECHNOLOGINIS ĮVERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Arnas Višinskas**  
Projekto autorius

**Lekt. Andrius Jaskūnas**  
Vadovas

---

**Kaunas, 2020**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

## **Azoto rūgšties gamybos agregato technologinis įvertinimas**

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

---

### **Konsultantai**

Ekonominiai skaičiavimai  
Dr. Irena Pekarskienė

Statybiniai sprendimai  
Lekt. Odeta Viliūnienė

Aplinkosauginis vertinimas  
Prof. dr. Gintaras Denafas

Darbuotojų sauga ir sveikata  
Doc. dr. Dalia Nizevičienė

**Arnas Višinskas**

Projekto autorius

**Lekt. Andrius Jaskūnas**

Vadovas

**Prof. Saulius Kitrys**

Recenzentas



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

Arnas Višinskas

## **Azoto rūgšties gamybos agregato technologinis įvertinimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

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

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

---

(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

---

(parašas)



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

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

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

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

2020 m. balandžio mėn. 20 d.

## Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema Azoto rūgšties gamybos agregato technologinis įvertinimas

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – išanalizuoti pramonėje naudojamus azoto rūgšties gamybos būdus, žinomus technologinius sprendimus, įvertinti nagrinėjamos azoto rūgšties gamybos technologijos tobulinimo galimybes.

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.

Reikalavimai ir sąlygos

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

Vadovas

lekt. dr. Andrius Jaskūnas

2020-03-04

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau: Arnas Višinskas

(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Arnas Višinskas. Azoto rūgšties gamybos agregato technologinis įvertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas lekt. Andrius Jaskūnas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų kryptių grupė): Chemijos inžinerija (inžineriniai mokslai)

Reikšminiai žodžiai: azoto rūgštis, azoto oksidai, azoto oksidas, azoto dioksidas, platina, katalizatoriai.

Kaunas, 2020. 75p.

## **Santrauka**

Azoto rūgštis – vienas svarbiausių junginių trąšų gamyboje. Daugiausia rūgšties sunaudojama amonio nitrato ir kalcio amonio nitrato gamybai. Pagrindinė žaliava – amoniakas, kuris gaminamas iš neatsinaujinančio gamtos išteklio – gamtinių dujų. Todėl azoto rūgšties gamybos metu reikia siekti kuo mažesnio amoniako sunaudojimo. Magistro baigiamajame darbe buvo atliktas tyrimas, siekiant išsiaiškinti, ar pakeitus homogeninę reakciją į heterogeninę katalizinę NO oksidavimo reakciją, bus padidintas proceso efektyvumas. Tyrimas parodė, kad naudojant katalizatorių azoto oksidavimo reakcijai ir labiau aušinant absorbcijos koloną 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 lokacijoje netoli magistralinio kelio. Sklypo plotas užima 62,9 a, kuriame pastatytas 1494 m<sup>2</sup> ploto gamybinis cechas. Į sklypą atvestos inžinerinės komunikacijų sistemos – vanduo, elektra, garai, nuotekos, technologinis oras.

Apskaičiuota kiek tokie technologiniai pakeitimai kainuotų įmonei, kiek būtų sumažinti gamybos kaštai, kokia būtų produkto kaina ir per kiek laiko atsipirktų investicijos. Pagaminti vieną toną azoto rūgšties kainuotų 7,19 Eur pigiau ir būtų sutaupoma 1,7 mln. Eur per metus. Investicijos atsipirktų per kiek daugiau nei pusantrų metų.

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

Atlikus poveikį aplinkai vertinimą, nustatytos orą teršiančios medžiagos bei kokie jų kiekiai išskiriami. Taip pat numatytos galimos atliekos ir jų tvarkymo būdai.

Arnas Višinskas. Technological Assessment of Nitric Acid Production Unit. Master's Final Degree Project / supervisor lect. Andrius Jaskūnas; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: nitric acid, nitric oxide, platinum, catalyst.

Kaunas, 2020. 75 p.

### **Summary**

Nitric acid is one of the key components in fertilizer industry. It is mostly used for ammonium nitrate and calcium ammonium nitrate production. The raw material of nitric acid production is ammonia, which is produced from non-renewable natural gas. That is the reason why we should aim for lesser ammonia consumption. In this master's thesis the research was made to find out if NO oxidation reaction on platinum/alumina catalyst has an impact on product's yield. The research shown us that this technological change and additional absorption column cooling produces 3,2 % more nitric acid.

The nitric acid production plant is located in Jonalaukis village, Jonava district. The factory is located near A6 highway so it is good for logistics. The area of territory is 62,9 a, the plant area is 1494 m<sup>2</sup>.

The calculations was made in order to estimate project's expenses, cost of production, price of product and how long would it take for investments to pay off. The cost of 1 tonne of ammonia is 7,19 Eur lower and 1,7 million Eur is saved throughout the year after reconstruction.

The analysis of occupational safety and health was made. Main working hazards, dangerous chemicals, explosive substances were identified.

The analys of environmental impact of nitric acid production plant was made. It shows the main pollutants in gaseous phase and how much of them is emitted into air.

## TURINYS

<b>LENTELIŲ SĄRAŠAS</b> .....	<b>10</b>
<b>PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS</b> .....	<b>12</b>
<b>ĮVADAS</b> .....	<b>13</b>
<b>1. LITERATŪROS APŽVALGA</b> .....	<b>14</b>
1.1. Fizikinės – cheminės savybės.....	14
1.2. Azoto rūgšties gamybos procesas.....	14
1.3. Įvairūs azoto rūgšties gamybos procesai .....	18
1.3.1. Vidutinio slėgio azoto rūgšties gamybos technologija.....	18
1.3.2. Didelio slėgio azoto rūgšties gamybos technologija .....	20
1.3.3. Dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos technologija .....	21
1.3.4. Technologijų palyginimas .....	22
<b>2. BENDRAS DARBO APIBŪDINIMAS IR PAGRINDINIAI RODIKLIAI</b> .....	<b>23</b>
2.1. Pradinė padėtis .....	24
2.2. Žaliavų zonos charakteristika ir materialinio aprūpinimo pagrindimas .....	24
2.3. Gamybinio pajėgumo ir gamybinės programos pagrindimas.....	24
2.4. Statybos aikštelės charakteristika ir pagrindimas.....	25
<b>3. TIRIAMOJI DALIS</b> .....	<b>26</b>
3.1. Medžiagų balansas dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos agregatui pagal „GP“ technologiją	26
3.2. Medžiagų balansas atlikus gamybinio proceso tobulinimą.....	31
<b>4. INŽINERINĖ DALIS</b> .....	<b>35</b>
4.1. Azoto rūgšties dviejų slėgių gamybos technologinės schemos aprašymas.....	35
4.1.1. Turboagregatas .....	35
4.1.2. Amoniako – oro mišinio paruošimas.....	35
4.1.3. Amoniako oksidavimas .....	35
4.1.4. Nitrozinių dujų šilumos utilizavimas .....	36

4.1.5. Silpnos rūgšties kondensacija ir NO oksidacija .....	36
4.1.6. Nitrozinių dujų kompresija ir absorbcija.....	36
4.1.7. Liekamųjų dujų valymas .....	37
4.2. Technologiniai sprendimai .....	38
4.3. Darbuotojų sauga ir sveikata .....	44
4.3.1. Projektuojamo objekto charakteristika.....	44
4.3.2. Profesinės rizikos vertinimas.....	45
4.3.3. Saugi gamyba .....	48
4.3.4. Elektrosauga .....	49
4.3.5. Darbo higiena .....	50
4.3.6. Gaisrinė sauga .....	51
4.4. Aplinkosauginis vertinimas .....	54
4.4.1. Bendrieji duomenys.....	54
4.4.2. Išmetimai į orą.....	55
4.4.3. Atliekos .....	56
4.5. Statybiniai sprendimai .....	57
4.5.1. Bendroji dalis .....	57
4.5.2. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės linijos sprendimai.....	58
4.6. Finsansiniai ir ekonominiai skaičiavimai .....	59
4.6.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė: ekonominių ir organizacinių problemų nustatymas.....	59
4.6.2. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai .....	59
4.6.3. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas .....	60
4.6.4. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinos pajamos .....	61
4.6.5. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas .....	61
4.6.6. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas .....	62
4.6.7. Veiklos kaštai .....	63
4.6.8. Finansinės ir investicinės sąnaudos .....	64



4.6.9. Gaminio kainos skaičiavimas .....	64
4.6.10. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai .....	65
4.6.11. Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas rekonstrukcijos atveju .....	66
4.6.12. Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai.....	68
4.6.13. Diskontuoto investicijų atsipirkimo periodo skaičiavimas .....	68
4.6.14. Vidinės pelno normos skaičiavimas .....	69
4.6.15. Pelningumo indekso skaičiavimas.....	69
4.6.16. Lūžio taško skaičiavimas.....	69
4.6.17. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai.....	70
<b>IŠVADOS .....</b>	<b>71</b>
<b>LITERATŪROS SĄRAŠAS.....</b>	<b>72</b>
<b>PRIEDAI .....</b>	<b>75</b>

## LENTELIŲ SĄRAŠAS

<b>1.1 lentelė.</b> Azoto rūgšties tirpalų fizikinės savybės .....	14
<b>1.2 lentelė.</b> Amoniaکو-oro mišinio sprogo ribos esant atmosferiniam slėgiui [9].....	16
<b>1.3 lentelė.</b> Skirtingų azoto rūgšties gamybos proceso tipų žaliavų, energijos išteklių sunaudojimo palyginimas (1 tonai 100 % azoto rūgšties pagaminimui, kai likutinėse dujose yra mažiau nei 50 ppm azoto oksidų) [17].....	22
<b>3.1 lentelė.</b> Kontaktinio aparato medžiagų balansas .....	28
<b>3.2 lentelė.</b> Oksidavimo kolonos medžiagų balansas.....	29
<b>3.3 lentelė.</b> Absorbcijos kolonos medžiagų balansas .....	31
<b>3.4 lentelė.</b> Kontaktinio aparato medžiagų balansas atlikus patobulinimą. ....	32
<b>3.5 lentelė.</b> Oksidavimo kolonos su Pt/Al katalizatoriumi medžiagų balansas. ....	32
<b>3.6 lentelė.</b> Absorbcijos kolonos su padidintu aušinimu medžiagų balansas.....	34
<b>4.1 lentelė.</b> Kontaktinio aparato medžiagų balansas. Darbiniai parametrai: P = 3,45 bar, T = 848 °C. ....	39
<b>4.2 lentelė.</b> Oksidavimo kolonos medžiagų balansas. Darbiniai parametrai: P = 2,98 bar, T = 40 °C. ....	40
<b>4.3 lentelė.</b> Absorbcijos kolonos medžiagų balansas. P = 8,92 bar, T = 50 °C.....	40
<b>4.4 lentelė.</b> Oksidavimo kolonos su Pt/Al katalizatoriumi medžiagų balansas. T = 250 °C, P = 3,43 bar .....	42
<b>4.5 lentelė.</b> Padidinto aušinimo absorbcijos kolonos medžiagų balansas. P = 8,92 bar, T = 30 °C..	43
<b>4.6 lentelė.</b> Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [24, 25, 26, 27].....	45
<b>4.7 lentelė.</b> Pastatų ir išorinių įrengimų kategorijos pagal gaisro ir sprogo pavojų.....	47
<b>4.8 lentelė.</b> Žaliavų, medžiagų, produkto gaisringumo, sprogo ir toksiškumo savybės .....	47
<b>4.9 lentelė.</b> Saugus atstumas nuo įtampą turinčių įrenginių.....	50
<b>4.10 lentelė.</b> Gamyboje naudojamos žaliavos ir energija.....	55
<b>4.11 lentelė.</b> Tarša į aplinkos orą .....	55
<b>4.12 lentelė.</b> Stacionarių taršos šaltinių fiziniai duomenys .....	55
<b>4.13 lentelė.</b> Išmetamųjų dujų valymo įrenginiai.....	55
<b>4.14 lentelė.</b> Atliekos, atliekų tvarkymas. ....	56

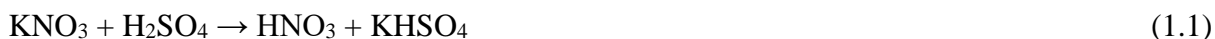
<b>4.15 lentelė.</b> Bendrieji statinio techniniai rodikliai .....	57
<b>4.16 lentelė.</b> Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai.....	60
<b>4.17 lentelė.</b> Technologinių įrengimų vertė [32].....	60
<b>4.18 lentelė.</b> Produkcijos gamybos apimtis ir gautinosios pajamos.....	61
<b>4.19 lentelė.</b> Išlaidos amoniakui.....	61
<b>4.20 lentelė.</b> Pagrindinių darbininkų darbo užmokestis .....	62
<b>4.21 lentelė.</b> Tiesioginės išlaidos elektros energijai.....	62
<b>4.22 lentelė.</b> Pagrindinių priemonių nusidėvėjimas (amortizacija).....	63
<b>4.23 lentelė.</b> Gamybos kaštai .....	63
<b>4.24 lentelė.</b> Veiklos sąnaudų paskirstymas.....	63
<b>4.25 lentelė.</b> Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas .....	64
<b>4.26 lentelė.</b> 1 tonos azoto rūgšties kainos skaičiavimas .....	64
<b>4.27 lentelė.</b> Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai .....	65
<b>4.28 lentelė.</b> Išlaidų pasikeitimas įgyvendinus rekonstrukciją.....	66
<b>4.29 lentelė.</b> Projekto grynujų pinigų srautų skaičiavimas .....	67
<b>4.30 lentelė.</b> Diskontuoto investicijų atsipirkimo periodo skaičiavimas.....	68
<b>4.31 lentelė.</b> Lūžio taško skaičiavimas.....	69
<b>4.32 lentelė.</b> Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai.....	70

## PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

<b>1.1 pav.</b> NO išėigos priklausomybė nuo amoniako-oro mišinio santykio [8].....	15
<b>1.2 pav.</b> Temperatūros ir slėgio įtaka NO išėigai [12]. .....	17
<b>1.3 pav.</b> Vidutinio slėgio azoto rūgšties gamybos proceso srautų schema. 1 – kontaktinis aparatas, 2 – dujų aušintuvas, 3 – likutinių dujų šildytuvas, 4 – ekonomizeris, 5 – kondensatorius, 6 – absorbcijos kolona, 7 – „balinimo“ kolona, 8 – likutinių dujų šildytuvas, 9 – DeNOx reaktorius, 10 – amoniako išgarintuvas, 11 – turbinos garų kondensatorius [16]. .....	19
<b>1.4 pav.</b> Didelio slėgio azoto rūgšties gamybos proceso srautų schema. 1 – kontaktinis aparatas, 2 – dujų aušintuvas, 3 – likutinių dujų šildytuvas, 4 – ekonomizeris, 5 – kondensatorius, 6 – absorbcijos kolona, 7 – „balinimo“ kolona, 8 – likutinių dujų šildytuvas, 9 – DeNOx reaktorius, 10 – amoniako išgarintuvas, 11 – turbinos garų kondensatorius, 12 – oro kompresoriaus tarpinis aušintuvas [16].	20
<b>1.5 pav.</b> Dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos proceso srautų schema. 1 – kontaktinis aparatas, 2 – dujų aušintuvas, 3 – likutinių dujų šildytuvas, 4 – ekonomizeris, 5 – kondensatorius su maitinančio vandens pašildytuvu, 6, 9 – likutinių dujų šildytuvas, 7 – kondensatorius, 8 – absorbcijos kolona, 10 – DeNOx reaktorius, 11, 12 – amoniako išgarintuvas, 13 – „balinimo“ kolona, 14 – turbinos garų kondensatorius [16]. .....	21
<b>4.1 pav.</b> Nekoncentruotos azoto rūgšties gamybos technologinė linija Aspen HYSYS programinėje aplinkoje .....	39
<b>4.2 pav.</b> Nekoncentruotos azoto rūgšties gamybos technologinė linija atlikus pakeitimus, siekiant padidinti gamybos našumą. ....	41
<b>4.3 pav.</b> Azoto rūgšties koncentracijos priklausomybės nuo absorbcijos kolonos aušinimo grafikas. ....	42
<b>4.4 pav.</b> HNO <sub>3</sub> kiekio priklausomybė nuo amoniako žaliavos kiekio patobulintoje technologinėje azoto rūgšties gamybos linijoje. ....	43
<b>4.5 pav.</b> Pirmo aukšto evakuacijos planas.....	53

## ĮVADAS

Azoto rūgštis yra vienas svarbiausių junginių chemijos pramonėje. Ji naudojama trašų, sprogmenų, dažų, plastikų, raketinio kuro, organinių nitro junginių ir kt. gamyboje. Azoto rūgštis pradėta gaminti 1665 metais J. R. Glauber'o, kuris pagamino pagal reakciją [1]:



XIX a. vietoje kalio nitrato buvo pradėtas naudotis natrio nitratas (Čilės salietra) ir buvo naudojama tol, kol 1903 metais norvegų mokslininkai Birkeland'as ir Eyde'as sugalvojo, kad azoto oksidas, kuris yra būtinas azoto rūgšties gamybos proceso komponentas, gali būti gaunamas panaudojus orą, kaip vienintelę žaliavą. Oras buvo tiekiamas į elektros lanko krosnis ir taip gaunamas azoto oksidas, kuris toliau buvo panaudojamas azoto rūgšties gamybai. Šios technologijos pranašumas yra tas, kad naudojama pigi žaliava – oras. Tačiau dėl didelių energijos sąnaudų (~ 17 kWh kilogramui azoto rūgšties) šis metodas neprigijo [2,3].

XX a. pradžioje vokiečių mokslininkas V. Ostwald'as atrado, kad NO gali būti gaunamas oksiduojant amoniaką ant platinos katalizatoriaus [1]. 1908 m. Ostwald'as suprojektavo pirmą 3 t/parą našumo azoto rūgšties technologiją, paremtą amoniako oksidavimu oru. 1913 m. pagal Haber'io – Bosch'o technologiją pradėtas gaminti amoniakas, kuris yra žaliava azoto rūgščiai gaminti, todėl Ostwald'o procesas tapo ekonomiškai saugus ir pradėtas diegti visame pasaulyje. Šis metodas azoto oksidams gauti yra naudojamas iki šių dienų, tik buvo visą laiką tobulinamas [2,4].

Šiuo metu pramoninės azoto rūgšties gamybos technologijos skiriasi tik proceso slėgiais. Gali būti vieno slėgio technologija (mažo, vidutinio arba aukšto slėgio) arba dviejų slėgių (mažo/vidutinio slėgio; vidutinio/aukšto slėgio). Kadangi amoniako oksidavimo procesas geriausiai atliekamas mažo arba vidutinio slėgio, o NO<sub>x</sub> absorbcija – vidutiniame arba aukštame slėgyje, tai optimaliausia gamybą vykdyti vidutiniame arba aukštame slėgyje [5].

**Darbo tikslas** – išanalizuoti pramonėje naudojamus azoto rūgšties gamybos būdus, žinomus technologinius sprendinius, įvertinti nagrinėjamos azoto rūgšties gamybos technologijos tobulinimo galimybes.

### **Darbo uždaviniai:**

- atlikti azoto rūgšties gamybos būdų literatūros apžvalgą;
- atlikti technologinio proceso ir žaliavų analizę ir vertinimą taikant pasirinktą modeliavimo metodiką ir pateikti technologijos tobulinimo galimybių vertinimą;
- pateikti technologinę schema ir pagrindinio aparato brėžinį;
- pateikti statybinius sprendimus, finansinius ir ekonominius skaičiavimus, aplinkosauginį ir darbų saugos vertinimus.

## 1. LITERATŪROS APŽVALGA

### 1.1. Fizikinės – cheminės savybės

Azoto rūgštis yra baltos spalvos, skystos agregatinės būsenos, laki medžiaga. Kristalizacijos temperatūra yra  $-41,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o virimo temperatūra  $84,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Šviesoje ir aukštesnėje nei  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūroje azoto rūgštis skyla ir sudaro  $\text{NO}_2$  ir  $\text{H}_2\text{O}$  pagal reakciją:



Šios neorganinės rūgšties spalva gali kisti nuo geltonos iki raudonos, priklausomai nuo skystyje ištirpusio  $\text{NO}_2$  koncentracijos. Azoto rūgštis labai gerai maišosi su vandeniu ir pasiekus  $68,4\%$  koncentraciją sudaro azeotropą, kurio virimo temperatūra  $121,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Fizikinės savybės nulemia ištirpusio azoto dioksido kiekis. 1.1 lentelėje galima matyti kai kurias azoto rūgšties fizikines savybes [19].

1.1 lentelė. Azoto rūgšties tirpalų fizikinės savybės

$\text{HNO}_3$ koncentracija, %	Tankis ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), $\text{g}/\text{cm}^3$	Lydomosi temperatūra, $^{\circ}\text{C}$	Virimo temperatūra, $^{\circ}\text{C}$
0	0,99823	0	100,0
10	1,0543	-7	101,2
20	1,1150	-17	103,4
30	1,1800	-36	107,0
40	1,2463	-30	112,0
50	1,3100	-20	116,4
60	1,3667	-22	120,4
70	1,4134	-41	121,6
80	1,4521	-39	116,6
90	1,4826	-60	102,0
100	1,5129	-42	86,0

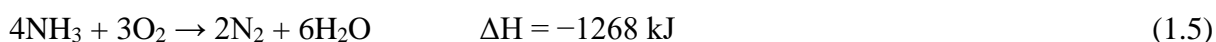
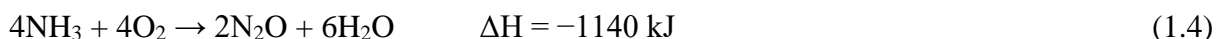
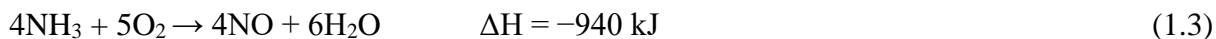
Koncentruota azoto rūgštis yra stiprus oksidatorius, kuris reaguoja su daugeliu metalų. Netirpina tik platinos, rodžio, iridžio, aukso ir kai kurių lydinių. Taip pat su tokiais metalais kaip Al, Fe, Cr sudaro apsaugines oksidines pleveles ant šių metalų paviršiaus, todėl tolesnis metalo tirpimas tampa nebegalimas [20].

### 1.2. Azoto rūgšties gamybos procesas

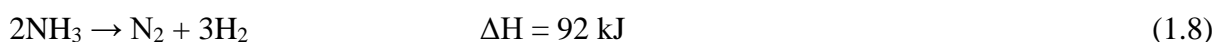
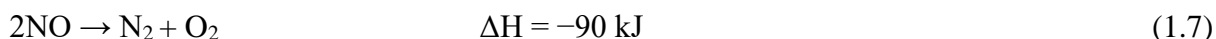
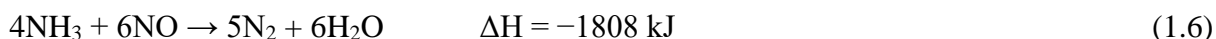
Azoto rūgšties gamyba pagal Ostwald'o procesą yra paremta trimis nesudėtingais procesais: amoniako oksidavimas ant platinos katalizatoriaus, gaunamas NO; NO oksidavimas į  $\text{NO}_2$ ;  $\text{NO}_2$  absorbcija nudruskintu vandeniu ir rūgšties gavimas.

Amoniako oksidavimas vykdomas pirmiausia išgarinant skystą amoniaką, pakaitinant jį, sumaišant su suslėgtu, filtruotu ir pašildytu oru. Po to šis mišinys tiekiamas į kontaktinį aparatą, kuriame ant platinos katalizatoriaus mišinys reaguoja ir gaunamas azoto oksidas NO.

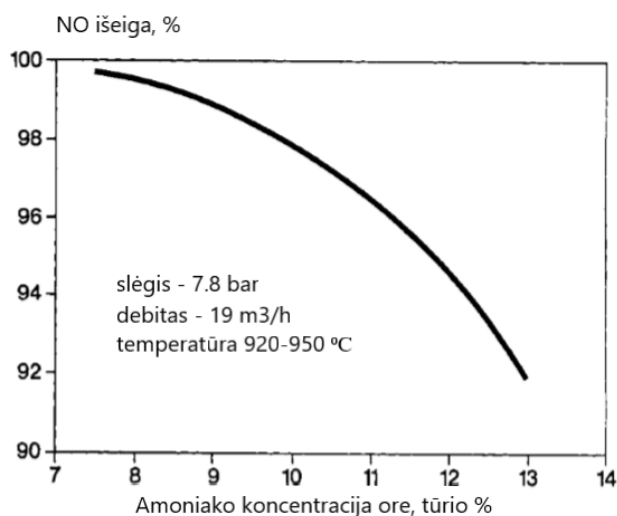
Tarp dujinio amoniako ir deguonies gali vykti kelios reakcijos:



Bei šiluminės reakcijos:



Reakcija (1.3) yra pagrindinė, todėl reikia parinkti tokias sąlygas, kad kuo mažiau vyktų kitos, šiluminės, reakcijos, kurios mažina proceso efektyvumą. Reakcija (1.8) vyksta tada, kai reaktoriuje yra šilumos perteklius. Reakcija (1.5) vyksta kai reaktoriuje, esant aukštai temperatūrai, amoniako-oro mišinys netolygiai pasiskirsto ant katalizatoriaus tinklelių, o reakcija (1.6) gali vykti dėl per trumpo dujų kontakto su katalizatoriumi. Reakcija (1.4) vyksta prie maždaug 500 °C temperatūros, todėl proceso sąlygomis susidaro tik nedideli N<sub>2</sub>O kiekiai [6, 7].



**1.1 pav.** NO išeigos priklausomybė nuo amoniako-oro mišinio santykio [8].

Tam, kad vyktų pagrindinė amoniako oksidavimo reakcija (1.3) turi būti parenkami optimalūs parametrai. Vienas iš jų yra amoniako ir oro mišinio paruošimas. Amoniako stochiometrinė koncentracija ore skaičiuojant iš reakcijos (1.3) yra 14,38 %. Tačiau realiomis sąlygomis parenkama mažesnė amoniako koncentracija. Daugiausia dėl to, kad didėjant amoniako koncentracijai mažėja jo konversijos laipsnis (1.1 pav.). Taip pat amoniakas ore yra sproguš tam tikrose koncentracijų ribose, kurios priklauso nuo proceso slėgio bei dujų srauto greičio. Sprogumo ribos atmosferiniame slėgyje pateiktos 1.2 lentelėje [8, 9].

**1.2 lentelė.** Amoniak-o oro mišinio sproguomo ribos esant atmosferiniam slėgiui [9].

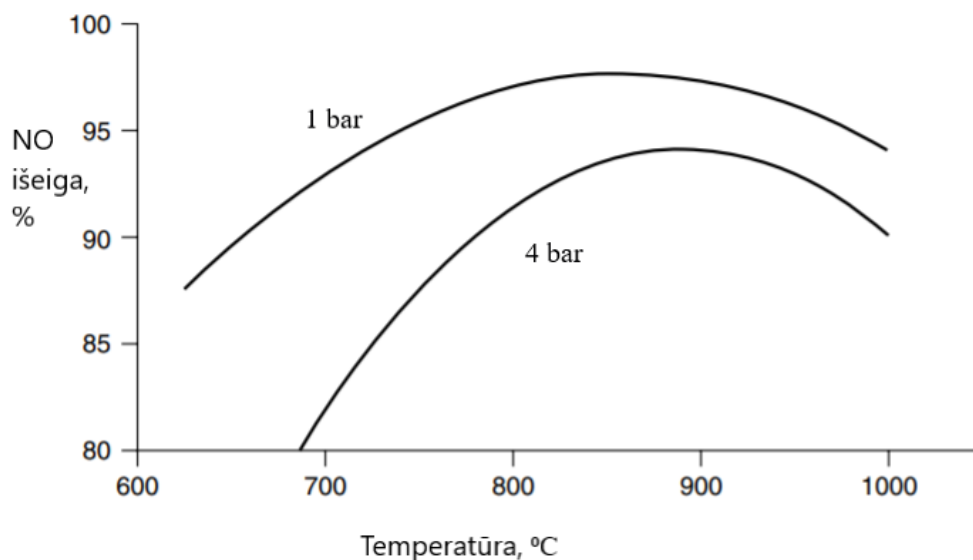
Srauto greitis, m/s	Apatinė sproguomo riba, %	Viršutinė sproguomo riba, %
0	15,5	27,5
3	28	38
5-8	30	40
12	32	37
14	Nėra	nėra

Iš 1.2 lentelės galima matyti, kad didėjant srauto greičiui kartu didėja ir apatinė bei viršutinė sproguomo ribos, todėl rekomenduojamas didesnis srauto greitis. Didėjant slėgiui sproguomo ribos mažėja. Vykdam amoniak oksidaciją 5 bar slėgyje esant 0,75 – 3 m/s srauto greičiui, apatinė sproguomo riba yra 11 % amoniako ore [10].

Labai svarbūs parametrai NO išeigai yra proceso slėgis bei temperatūra. Le Šateljė principas teigia, kad amoniako oksidavimo reakcija turi būti atliekama mažesniame slėgyje ir esant žemai temperatūrai. Kadangi oksiduojant amoniaką oru gali vykti kelios reakcijos, temperatūra parenkama tokia, kad daugiausiai vyktų norima (1.3) reakcija. Oksidavimo reakciją vykdam žemesnėje nei 500 °C temperatūroje susidaro N<sub>2</sub> ir N<sub>2</sub>O. Iš trijų galimų amoniako oksidavimo reakcijų, reakcija (1.3) turi mažiausią entalpiją, todėl norint padidinti NO išeigą bei sumažinti pašalinių produktų susidarymą reakciją reikia vykdyti aukštesnėje temperatūroje. Bet keliant temperatūrą didėja ir NO skilimo į N<sub>2</sub> ir O<sub>2</sub> galimybė. Visa tai reiškia, kad norint pasiekti didžiausią NO išeigą reikia parinkti optimalią proceso temperatūrą. O tokia temperatūra yra 850 – 950 °C siekiant didesnės nei 96 % NO išeigos. Aukštesnėje nei 950 °C temperatūroje susidaro dideli katalizatoriaus nuostoliai, o tai labai pabrangintų azoto rūgšties gamybą. Optimali temperatūra reaktoriuje palaikoma kontroliuojant amoniako-oro mišinio santykį. Temperatūra reaktoriuje padidėja 68 °C padidinus amoniako koncentraciją ore vienu procentu. O tai reiškia, kad esant 10 – 11 % NH<sub>3</sub> ore, optimali reakcijos temperatūra nėra pasiekama. Todėl reikia mišinį pašildyti prieš tiekiant į amoniako oksidavimo reaktorių. Mišinio temperatūra apskaičiuojama panaudojus lygtį (1.9). Taip pat svarbus parametras didelei NO išeigai yra dujų kontaktavimo su katalizatoriumi trukmė. Didėjant kontakto laikui, didėja ir galimybė vykti (1.7) reakcijai. O jei dujos leidžiamos per greitai, nesudegęs amoniakas gali sureaguoti su susidariusiu NO ir įvykti (1.6) reakcija [10, 11].

$$t_{reaktoriuje} = t_{dujų\ mišinio} + x_{NH_3} \cdot 6800 \quad (1.9)$$

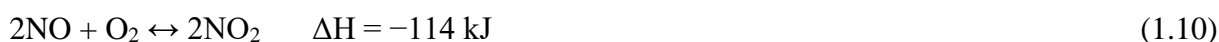




**1.2 pav.** Temperatūros ir slėgio įtaka NO išeigai [12].

Kaip galima matyti iš 1.2 pav. NO išeiga didėja iki ~ 900 °C temperatūros ir daugiau NO gaunama mažesniame slėgyje.

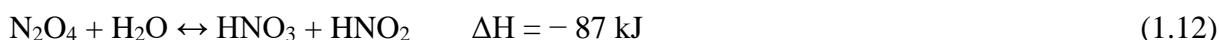
Atlikus amoniako oksidavimą ir gavus azoto monoksidą išsiskiria labai daug šilumos, todėl ji yra utilizuojama gaminant garus bei pašildant kitus azoto rūgšties gamybos proceso srautus. Vėstant azoto oksidui reakcijos (1.10) pusiausvyra slenkasi į dešinę pusę ir susidaro vis daugiau azoto dioksido. Sumažėjus temperatūrai iki ~150 °C beveik visas NO virsta į NO<sub>2</sub>. Ši reakcija yra lėta, tačiau mažėjant temperatūrai NO<sub>2</sub> susidarymo greitis sparčiai didėja. Taip pat, tam, kad vyktų NO oksidavimas į dujų srautą tiekiamas suslėgtas, filtruotas ir atvėsintas aplinkos oras, kuris papildoma dujas papildomu deguonimi ir taip vyksta reakcija. Dujos patenka į aušintuvą-kondensatorių ir jame kondensuojasi amoniako oksidavimo metu susidaręs vanduo, kuris dalinai reaguoja su NO<sub>2</sub> ir susidaro silpna azoto rūgštis, kuri tiekama į absorbcijos koloną [2].



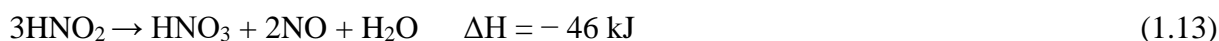
Susidaręs azoto dioksidas žemos temperatūros bei didelio slėgio sąlygomis virsta į N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ir reakcijos (1.11) pusiausvyra nusistovi labai greitai. Gautas N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> neleidžia įvykti atgalinei reakcijai ir azoto dioksidui skilti į NO ir O<sub>2</sub> [2, 13].



Toliau NO<sub>x</sub> (azoto oksidai) tiekiami į absorbcijos koloną, kurioje nudruskintas vanduo absorbuoja nitrozines dujas ir sudaro azoto rūgštį pagal reakciją:



O susidarius nitritinė rūgštis skyla į azoto rūgštį, vandenį bei azoto monoksidą:



Absorbcijos reakcijos yra lėtos, todėl kolona turi būti projektuojama didelė. Tai suteikia pakankamai laiko reakcijoms įvykti [13, 14].

Vykiant absorbcijos reakcijas išsiskiria šiluma (egzoterminės reakcijos). Todėl pagal Le Šateljė principą absorbciją vykdyti geriau žemesnėje temperatūroje. Tokiu atveju kolona turi būti suprojektuota taip, kad būtų pastoviai vėsinama. Vienas iš būdų galėtų būti kolonos išorėje sumontuoti vamzdeliai, kuriuose teka aušinantis vanduo. Slėgio didinimas taip pat stumia reakcijos pusiausvyrą produktų susidarymo kryptimi. Be to, slėgio didinimas labai pagreitina šį lėtą absorbcijos procesą. Pvz.: padidinus slėgį 8 kartus reakcijos greitis padidėja 512 kartų [14].

Kadangi vykstant azoto oksidų absorbcijai susidaro nitritinė rūgštis, kuri skyla ir sudaro azoto monoksidą, į absorbcijos koloną taip pat turi būti tiekiamas oras, kuris padeda NO oksiduoti į NO<sub>2</sub>, kuris absorbuojamas vandeniui. Susidariusi azoto rūgštis turi ištirpusių azoto oksidų ir todėl jos yra nupučiamos antriniu oru, t.y. rūgštis yra „išbalinama“ [6].

### **1.3. Įvairūs azoto rūgšties gamybos procesai**

Šiuolaikiniai azoto rūgšties gamybos agregatai yra suprojektuoti taip, kad trys pagrindinės gamybos stadijos vykdomos įvairiais būdais. Amoniakso oksidavimas geriausiai vyksta vidutinio (1,7 – 6,5 bar) slėgio sąlygomis, o absorbcija – aukštame (6,5 – 13 bar) slėgyje. Todėl šiais laikais pagrindiniai azoto rūgšties gamybos procesai yra: vieno vidutinio slėgio, vieno aukšto slėgio bei dviejų (vidutinio ir aukšto) slėgių technologijos. Azoto rūgšties gamyba mažame (atmosferiniame) slėgyje nebevykdoma arba labai mažai vykdoma dėl to, kad šiais laikais reikalingi didelių pajėgumų agregatai. Taip pat atliekant gamybą mažame slėgyje didelis kiekis NO<sub>x</sub> išmetamas į aplinką kartu su likutinėmis dujomis [10, 15].

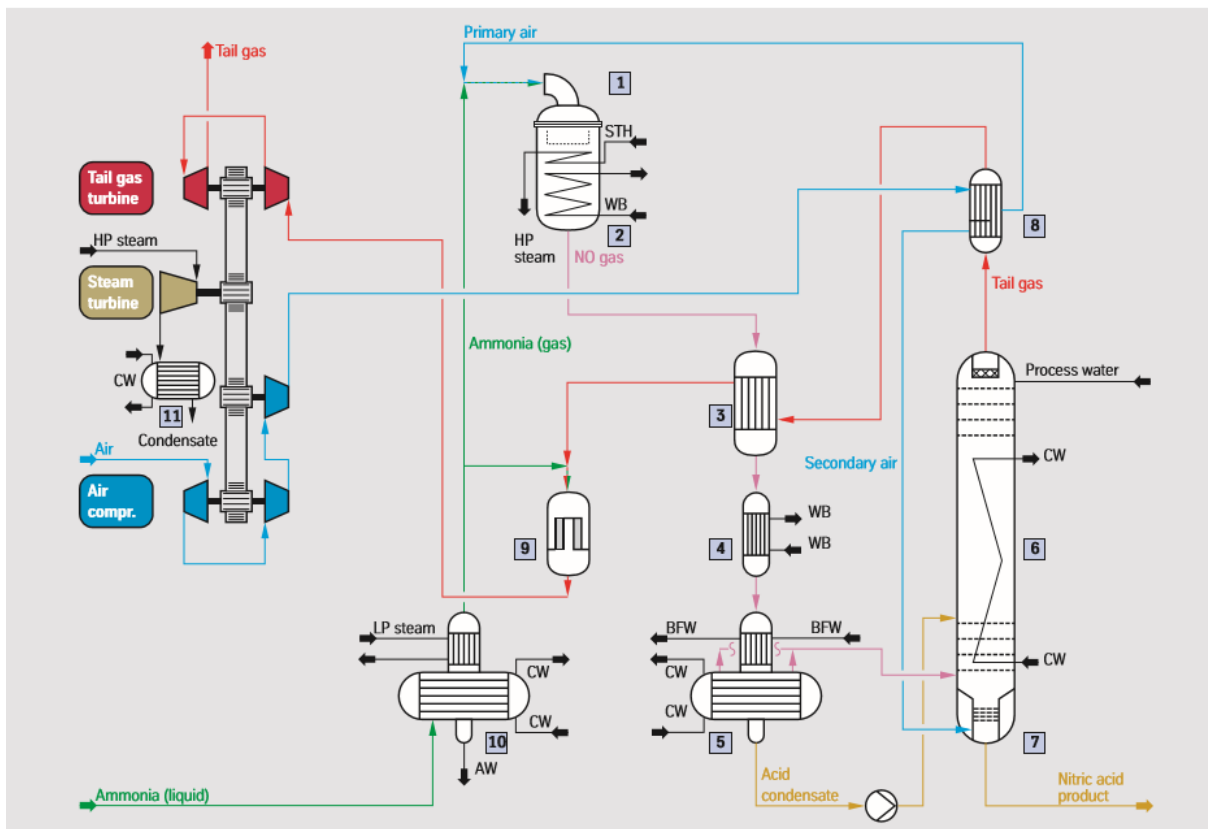
#### **1.3.1. Vidutinio slėgio azoto rūgšties gamybos technologija**

Šiame procese filtruotas atmosferos oras suslegiamas oro kompresoriuje. Likutinių dujų pašildytuve (8) oras atskiriamas į du srautus: pirmas srautas sumaišomas su dujiniu amoniaku ir tiekiamas į kontaktinius aparatus oksidavimui vykdyti; antras srautas tiekiamas į „balinimo“ koloną (7) ištirpusiems azoto oksidams „nupūsti“ bei nukreipti dujas į absorbcijos koloną (6).

Skystas amoniakas išgarinamas amoniako išgarintuve (10). Atsiskyrusi drėgmė kartu su mažu kiekiu amoniako gali būti tiekiamas į antrinį amoniako išgarintuvą ir jame regeneruojamas likęs skystas NH<sub>3</sub>. Amoniako garai pašildomi mažo slėgio garų srautu, sumaišomi su pirminiu oru bei gautas mišinys tiekiamas į kontaktinius aparatus. Taip pat nedidelis kiekis dujinio amoniako panaudojama likutinėms dujoms valyti.

Amoniako – oro mišinys išvalomas nuo įvairių katalizatoriaus „nuodų“ bei tiekiamas į kontaktinius aparatus, kuriuose vyksta oksidavimo reakcijos ir gaunami NO ir H<sub>2</sub>O. Gautos dujos labai karštos, todėl jos vėsinamos gaminant aukšto slėgio perkaitintą garą bei pašildant technologinius srautus. Vėstant nitrozinėms dujoms azoto monoksidas virsta į azoto dioksidą. Kadangi virsmo metu išskiria energija, srautas sušyla ir todėl turi būti nuosekliai vėsinamas. Šiluma utilizuojama likutinių dujų šildytuve (3), ekonomiaizeryje (4) bei kondensatoriuje (5). Pastarajame sukondensuojamas amoniako oksidavimo reakcijos metu gautas vanduo, kuris reaguoja su azoto dioksidu bei pagamina labai mažos koncentracijos azoto rūgštį. Ši praskiesta rūgštis tiekiamas į absorbcijos koloną. Atvėsusios nitrozinės dujos, kuriose daug NO<sub>2</sub> tiekiamos į absorbcijos kolonos apačią ir praturtinamos antriniu oru. Apatinėje kolonos dalyje nitrozinės dujos toliau oksiduojamos antriniu

oru tam, kad pasiekti reikiamą oksidacijos laipsnį prieš patenkant dujoms į absorbcijos sritį. Absorbuojant nitrozines dujas vandeniu, susidaro azoto rūgštis. NO oksidavimo į NO<sub>2</sub> bei NO<sub>2</sub> absorbcijos metu išsiskiria šiluma, todėl absorbcijos kolona vėsinama vandeniu, kuris teka išorėje esančiais vamzdeliais. Kolonos viršuje sumontuotas lašų gaudytuvas, kuris neleidžia skystai fazei ištekėti kartu su likutinėmis dujomis. Likutinės dujos pašildomos šilumokaičiuose (8,3), sumaišomos su dujiniu amoniaku bei reaktoriuje (9) vyksta reakcija, kurios produktai molekulinis azotas bei vanduo. Gautos dujos naudojamos sukurti turbinos veleną. Gauta energija panaudojama oro kompresoriui [12].

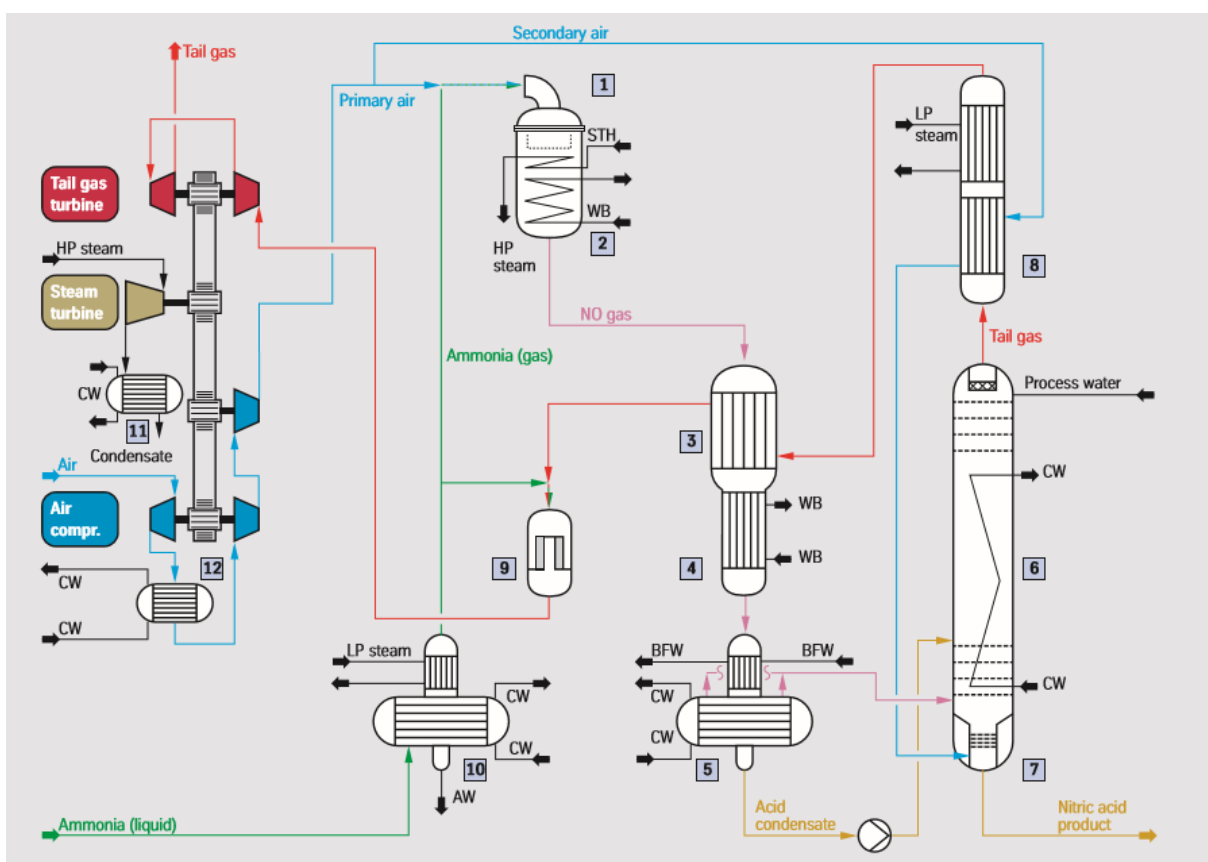


**1.3 pav.** Vidutinio slėgio azoto rūgšties gamybos proceso srautų schema. 1 – kontaktinis aparatas, 2 – dujų aušintuvas, 3 – likutinių dujų šildytuvas, 4 – ekonomizeris, 5 – kondensatorius, 6 – absorbcijos kolona, 7 – „balinimo“ kolona, 8 – likutinių dujų šildytuvas, 9 – DeNO<sub>x</sub> reaktorių, 10 – amoniako išgarintuvas, 11 – turbinos garų kondensatorius [16].

Vykdamas gamybą vidutiniame slėgyje galima pagaminti iki 700 t/parą azoto rūgšties (skaičiuojant į 100 %). Panaudojus antrą absorbcijos koloną gamybos našumą galima praplėsti iki 1000 t/parą. Vidutinio slėgio gamyba dažniausiai naudojama tada, kai norima sutaupyti energijos. Oro kompresorius dažnai varomas garų, kurie gauti proceso metu, turbina bei likutinių dujų turbina. Jei pagaminti garai panaudojami kitur, kompresorius gali būti varomas aukštos įtampos sinchroniniu ar asinchroniniu elektros varikliu. Šiuo būdu galima pagaminti iki 65 % koncentracijos azoto rūgštį. Taip pat šio proceso pranašumas yra tas, kad gaunamas aukštas oksidavimo laipsnis, maži platinos katalizatoriaus nuostoliai bei galimybė eksportuoti didelį kiekį garų. Vidutinio slėgio gamyboje katalizatorių tinkeliai keičiami kas 6 mėnesius [16].

### 1.3.2. Didelio slėgio azoto rūgšties gamybos technologija

Vykdamas didelio slėgio azoto rūgšties gamybos procesą, technologinių srautų išdėstymas yra labai panašus į vidutinio slėgio gamybą. Kaip matome 1.4 paveiksle, vienintelis skirtumas tarp gamybos vidutiniame ir dideliame slėgyje yra oro srauto vėsinimas tarpiniame aušintuve (12), į kurį tiekiamas aušinantis vanduo. Jis skirtas orui vėsinti tarp kompresoriaus suslėgimo sekcijų. Dėl didesnio slėgio ši gamyba yra efektyvesnė nei gamyba vidutiniame slėgyje, nes gali būti parinkta mažesnė įranga bei vamzdiniai. Taigi gamybos blokas tampa kompaktiškesnis ir todėl reikalingos mažesnės pradinio kapitalo investicijos. Trumpai tariant, mažesnės investicijos gaminant tą patį produkto kiekį reiškia didesnes pajamas. Taip pat didesnis proceso slėgis pagerina absorbciją bei leidžia sumažinti azoto oksidų kiekį dujose iš absorbcijos kolonos. Tačiau didelio slėgio azoto rūgšties gamyba turi ir keletą trūkumų. Pagrindinis trūkumas yra dideli platinos katalizatoriaus nuostoliai bei mažesnė NO išeiga vykdamas amoniako oksidavimą [5, 18].



**1.4 pav.** Didelio slėgio azoto rūgšties gamybos proceso srautų schema. 1 – kontaktinis aparatas, 2 – dujų aušintuvas, 3 – likutinių dujų šildytuvas, 4 – ekonomizeris, 5 – kondensatorius, 6 – absorbcijos kolona, 7 – „balinimo“ kolona, 8 – likutinių dujų šildytuvas, 9 – DeNOx reaktorius, 10 – amoniako išgarintuvas, 11 – turbinos garų kondensatorius, 12 – oro kompresoriaus tarpinis aušintuvas [16].

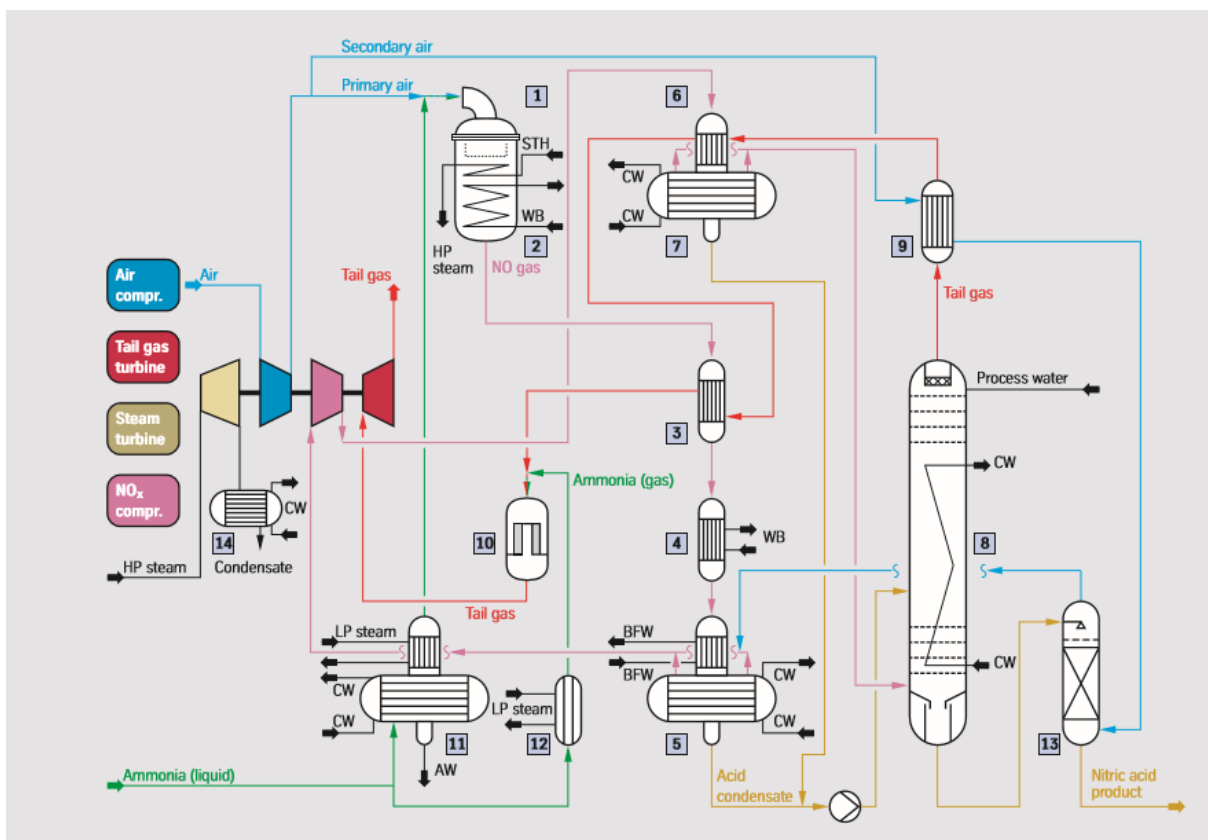
Didelio slėgio gamybos technologija leidžia pagaminti iki 1000 t/parą azoto rūgšties (skaičiuojant į 100 %) naudojant vieną absorbcijos koloną. Taip pat gali būti gauta ir šiek tiek didesnė rūgšties koncentracija – iki 67 % [16].

### 1.3.3. Dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos technologija

Dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos technologija buvo suprojektuota pirmiausia dėl Europoje reglamentuotų aplinkosaugos kontrolės reikalavimų [18].

Kadangi amoniako oksidavimo procesas vyksta geriau mažesnio slėgio, o absorbcija – didesnio slėgio sąlygomis, tai dviejų slėgių azoto rūgšties gamyba būtent taip ir pritaikyta. Amoniako oksidavimas vykdomas 4 – 6 bar abs. slėgyje. Gautas karštos NO dujos vėsinamos eilėje šilumokaičių, gautą šilumą panaudojant garo gamybai bei kitų technologinių srautų pašildymui. Nitrozinėse dujose esantis vanduo sukondensuojamas ir reaguoja su nedideliu NO<sub>2</sub> kiekiu. Tokiu būdu gaunamas rūgšties kondensatas tiekiamas į absorbcijos koloną (8) bei iš nitrozinių dujų pašalinama drėgmė, kuri gali sugadinti kompresoriaus darbo ratą. Atskirtos nuo drėgmės NO<sub>x</sub> dujos suspaudžiamos iki 10 – 14 bar abs. slėgio ir vėsinamos likutinių dujų šildytuve (6). Kondensatoriuje (7) gaunama silpna azoto rūgštis tiekiamą į absorbcijos koloną. Iš kondensatoriaus ištekėjusios dujos turinčios didelį NO<sub>2</sub> kiekį tiekiamos absorbcijai vykdyti. Dviejų slėgių proceso schema pavaizduota 1.5 paveiksle. [12, 16].

Dviejų slėgių gamybos technologija leidžia pagaminti iki 1600 t/parą nekoncentruotos azoto rūgšties (skaičiuojant į 100 %). Taip pat ji yra daug ekonomiškė žaliavų, energijos bei katalizatoriaus nuostolių atžvilgiu nei vieno slėgio technologijos. Katalizatorius kontaktiniame aparate keičiamas kas 6 – 8 mėnesius, o produkto koncentracija gali būti pasiekama daugiau nei 68 % [16].



1.5 pav. Dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos proceso srautų schema. 1 – kontaktinis aparatas, 2 – dujų aušintuvas, 3 – likutinių dujų šildytuvas, 4 – ekonomizeris, 5 – kondensatorius su maitinančio vandens

pašildytuvu, 6, 9 – likutinių dujų šildytuvai, 7 – kondensatorius, 8 – absorbcijos kolona, 10 – DeNOx reaktorius, 11, 12 – amoniako išgarintuvas, 13 – „balinimo“ kolona, 14 – turbinos garų kondensatorius [16].

### 1.3.4. Technologijų palyginimas

Šiais laikais gali būti projektuojamas bet kuris iš šių trijų azoto rūgšties gamybos procesų, atsižvelgiant į strateginius bei kitus veiksnius. Pradinės investicijos vieno slėgio gamykloms yra mažesnės nei dviejų slėgių gamykloms pastatyti. Tačiau rinkai pastoviai keičiantis bei esant nepastovioms žaliavų ir energijos kainoms, gamyba viename slėgyje gali turėti didesnes kintamas išlaidas, kadangi sunaudojama daugiau amoniako bei patiriami didesni katalizatoriaus nuostoliai. Vykdyti tokią gamybą verta tada, kai norima gaminti sąlyginai nedidelį kiekį 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 didesni pajėgumai bei mažesnės eksploatavimo išlaidos su laiku atperka didesnes išlaidas gamyklai pastatyti. 1.3 lentelėje palyginti šie skirtingi procesai [12, 17].

**1.3 lentelė.** Skirtingų azoto rūgšties gamybos proceso tipų žaliavų, energijos išteklių sunaudojimo palyginimas (1 tonai 100 % azoto rūgšties pagaminimui, kai likutinėse dujose yra mažiau nei 50 ppm azoto oksidų) [17].

Proceso tipas	Vidutinio slėgio	Didelio slėgio	Dviejų slėgių
Darbinis slėgis (abs.)	5,8 bar	10,0 bar	4,6/12,0 bar
Amoniakas	284 kg	286 kg	282 kg
Elektros energija	9,0 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
Aušinantis vanduo ( $\Delta t = 10$ K), įskaitant vandenį garų turbinos kondensatoriui	100 t	130 t	105 t
Proceso vanduo	0,3 t	0,3 t	0,3 t
Mažo slėgio sotūs garai, 8 bar	0,05 t	0,20 t	0,05 t
Didelio slėgio pertekliniai garai, 40 bar, 450 °C	0,76 t	0,55 t	0,65 t

## 2. BENDRAS DARBO APIBŪDINIMAS IR PAGRINDINIAI RODIKLIAI

Azoto rūgšties gamybos technologijos rekonstrukcija atliekama Jonalaukio kaime, AB „Achema“ teritorijoje esančiame azoto rūgšties cecho GP-2 skyriuje. Į cechą jau atvestos visos komunikacijų sistemos, žaliavų tiekimo vamzdynai, produkto tiekimo vamzdynai, talpyklos. Projektas būtų vykdomas tame pačiame ceche, todėl nereiktų statyti naujo pastato ar galvoti kaip išdėstyti įrengimus.

Rekonstruojama dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos technologija tokiu tikslu, kad būtų sumažinti gamybos kaštai tam pačiam azoto rūgšties kiekiui gauti. Azoto rūgštis gaminama nekoncentruota, kuri yra labai plačiai pritaikoma. Tai viena svarbiausių mineralinių rūgščių, kuri daugiausia naudojama azotinėms trąšoms gaminti, tokioms kaip amonio nitratas, kalcio amonio nitratas. Pagal Ostwald'o procesą, azoto rūgštis gaminama pirmiausia gaunant azoto oksidus iš pagrindinės žaliavos – bevandenio amoniako. Kitos žaliavos yra atmosferos oras ir nudruskintas vanduo, kuris gaunamas iš šalia gamyklos esančios Neries upės ir apdirbamas pačioje gamyklos teritorijoje. Taip pat technologija yra energetiškai efektyvi, nes vykstant reikalingoms reakcijoms išsiskiria daug šilumos, kuri yra utilizuojama. Energija panaudojama garų gamybai, šaltiems technologiniams srautams pašildyti. Technologijoje esantis turboagregatas, kuris sudarytas iš dviejų kompresorių ir dviejų turbinų sudaro sąlygas procesą vykdyti su minimaliais energijos nuostoliais.

Technologijos modernizavimas vykdomas remiantis mokslininkų atliktu eksperimentiniu tyrimu. Tačiau gauti kinetiniai duomenys buvo panaudoti skaičiuojant daugiataonazės gamybos veikimą. Taip pat vertinant technologiją buvo atsižvelgta į aplinkosauginius aspektus, darbuotojų saugumą ir finansinius išteklius. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai parodė projekto efektyvumą. Pagrindiniai projekto rodikliai prieš ir po rekonstrukcijos pateikti 2.1 lentelėje.

2.1 lentelė. Projekto pagrindiniai rodikliai

Rodiklis	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos	Pokytis
Produkcijos pardavimo apimtis, tonomis	239000	239000	0
Pardavimų pajamos	57440	57648	207,81
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	44596	42830	1766
Gaminio pilnoji savikaina, Eur/t	214,59	206,16	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, %	12,00	17,01	5,01
Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas	-	1,62	1,62
Projekto grynoji esamoji vertė, tūkst. Eur	-	19747	19747
Kapitalo kaštai, %	-	5,00	5,00
Vidinė pelno norma, %	-	124,58	124,58
Pelningumo indeksas	-	24,54	24,54

## 2.1. Pradinė padėtis

Azoto rūgšties gamybos rekonstrukcija vykdoma siekiant sumažinti pagrindinės žaliavos – amoniako kiekį. Amoniakas gaunamas naudojant labai didelį kiekį gamtinių dujų, o tai yra neatsinaujanti žaliava, kurios atsargos gali būti išnaudotos. Todėl mažesnis sunaudojamo amoniako kiekis teigiamai paveiktų aplinką.

Norint atlikti rekonstrukciją, reikia padaryti minimalius pakeitimus jau esančioje technologijoje. Taip pat reikalinga ir papildoma įranga, ar esamos įrangos pertvarkymas. Rekonstrukcija atlikta dviejuose technologijos etapuose. Pirmas pakeitimas – NO oksidavimo į NO<sub>2</sub> efektyvumo didinimas, panaudojus Pt/Al katalizatorių. Kitas pakeitimas – absorbcijos kolonos papildomas aušinimas, siekiant padidinti absorbcijos efektyvumą. Inžineriniai pakeitimai taip pat leistų sumažinti vamzdynų bei įrengimų kiekį, o tai būtų labai pravartu statant naują agregatą.

## 2.2. Žaliavų zonos charakteristika ir materialinio aprūpinimo pagrindimas

Azoto rūgšties gamybos technologijoje naudojamos žaliavos – bevandenis amoniakas, oras ir nudruskintas vanduo. Amoniakas gaunamas iš kito AB „Achema“ gamyklos teritorijoje esančio amoniako cecho; oras imamas iš atmosferos; nudruskintas vanduo gaunamas apdirbus vandenį iš šalia esančios Nėries upės. Visos žaliavos gaunamos toje pačioje gamykloje, todėl žaliavų transportavimas atliekamas vamzdynais nuo vieno cecho iki kito.

## 2.3. Gamybinio pajėgumo ir gamybinės programos pagrindimas

Atlikus technologinius pakeitimus, gamybos našumas nėra didinamas. Atsižvelgiant į aplinkosauginius ir energetinius aspektus, rekonstrukcijos tikslas yra sumažinti žaliavų kiekį, taip sumažinant gamybos kaštus. Todėl neplanuojamas prieaugis dėl didesnio produkto pardavimo, o sudaromos sąlygos žaliavų ekonomijai. Darbuotojų skaičius lieka nepakitęs, atlyginimas jiems nedidindamas. Agregatas toliau dirbs 365 dienas per metus, 24 val per parą, su galimybe neplaniniams stojimams.



#### **2.4. Statybos aikštelės charakteristika ir pagrindimas**

Azoto rūgšties cechas įsikūręs AB „Achema“ teritorijoje. Vieta yra palanki dėl kelių priežasčių. Vėjas dažniausiai pučia į šiaurės vakarus, todėl šalia esančio Jonavos miesto oras nėra užteršiamas teršalais iš kaminų. Kita priežastis statyti cechą šioje vietoje yra šalia esanti Nėries upė, kurios vanduo panaudojamas kaip žaliava absorbcijai vykti bei kaip aušinimo agentas šilumokaičiams. Galiausiai, gamykla yra įsikūrusi šalia A6 automagistralės bei geležinkelio magistralės, o tai labai palengvina produkcijos logistiką. Taip pat labai didelis pranašumas statyti azoto rūgšties cechą būtent šioje vietoje yra tai, kad gamyklos teritorijoje yra įsikūrę ir kiti cechai su kuriais kooperuojamasi, siekiant palengvinti žaliavų, energijos tiekimą.

### 3. TIRIAMOJI DALIS

Šioje dalyje skaičiuojamas medžiagų balansas trims azoto rūgšties gamybos įrengimams: amoniako oksidavimo reaktoriui (kontaktinis aparatas), NO oksidavimo kolonai bei absorbcijos kolonai. Tam, kad apskaičiuoti proceso medžiagų balansus buvo panaudoti AB „Achema“ azoto rūgšties cecho gamybiniai duomenys. Pirmiausia skaičiavimai atlikti pagal egzistuojančią technologinę liniją. Taip pat palyginimui buvo atlikti skaičiavimai, kad įsitikinti, ar atlikus technologijos patobulinimą bus gauta nauda.

#### 3.1. Medžiagų balansas dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos agregatui pagal „GP“ technologiją

##### Pradiniai duomenys

Našumas: 27,3 t/h 100 % - ės azoto rūgšties

Drėgmės koncentracija ore: 3,51 %

Amoniako konversijos į NO laipsnis  $\alpha_{NH_3_{oks}} = 98 \%$

NO oksidavimo laipsnis  $\alpha_{NO_{oks}} = 96 \%$

NO<sub>2</sub> absorbcijos laipsnis  $\alpha_{NO_2_{abs}} = 98\%$

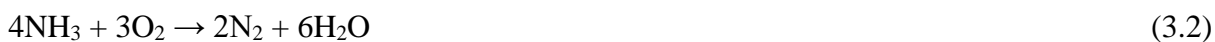
1 mol HNO<sub>3</sub> gauti reikia 1 mol NH<sub>3</sub>

Amoniako koncentracija amoniako-oro mišinyje: 10,36 %

##### Sprendimas

Skaičiuojamas kontaktinio aparato medžiagų balansas:

Kontaktiniame aparate vyksta reakcijos:



Skaičiuojame azoto rūgšties gamybos našumą į kmol/h:

$$n_{HNO_3} = \frac{G_{HNO_3}}{M_{HNO_3}} = \frac{273000}{63} = 433,3 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame reikalingą amoniako kiekį 433,3 kmol azoto rūgšties gauti:

$$n_{NH_3} = \frac{n_{HNO_3}}{\alpha_{NH_3_{oks}} \cdot \alpha_{NO_{oks}} \cdot \alpha_{NO_2_{abs}}} = \frac{433,3}{0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,98} = 469,96 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame susidariusį NO kiekį pagal 3.1 reakciją, kai sureaguoja 98 % amoniako:

$$n_{NO} = n_{NH_3} \cdot \alpha_{NH_3_{oks}} = 469,96 \cdot 0,98 = 460,56 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame 3.1 reakcijai vykti sunaudotą deguonies kiekį bei susidariusį vandens kiekį:

$$n_{O_2} = n_{NO} \cdot \frac{5}{4} = 460,56 \cdot \frac{5}{4} = 575,7 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame 3.1 reakcijos metu susidariusį vandens kiekį:

$$n_{H_2O} = n_{NO} \cdot \frac{6}{4} = 460,56 \cdot \frac{6}{4} = 690,84 \text{ kmol/h}$$

Taip pat skaičiuojame 3.2 reakcijos metu sunaudotą  $O_2$  kiekį bei susidariusius  $N_2$  ir  $H_2O$  kiekius:

$$n_{O_2} = 7,05 \text{ kmol/h}$$

$$n_{H_2O} = 14,1 \text{ kmol/h}$$

$$n_{N_2} = 4,7 \text{ kmol/h}$$

Visas stochiometrinis sunaudotas deguonies kiekis:

$$n_{O_2_{visas}} = 7,05 + 575,7 = 582,75 \text{ kmol/h}$$

Visas susidaręs vandens kiekis:

$$n_{H_2O_{visas}} = 690,84 + 14,1 = 704,94 \text{ kmol/h}$$

Dėl sprogo rizikos amoniako koncentracija ore turi būti ~10,5 %. Atlikus projektavimą su Aspen HYSYS amoniako koncentracija ore gauta 10,36 %. Toliau skaičiuojamas reikalingas oro kiekis:

$$n_{oro} = \frac{n_{NH_3} \cdot c_{oro}}{c_{NH_3}} = \frac{469,96 \cdot 89,64}{10,36} = 4066,33 \text{ kmol/h}$$

Priimame, kad oro srautą sudaro deguonis, azotas bei drėgmė. Drėgmės koncentracija ore yra 3,51 %, todėl skaičiuojame vandens kiekį ore:

$$n_{H_2O_{ore}} = n_{oro} \cdot 0,0351 = 4066,33 \cdot 0,0351 = 142,73 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame sauso oro kiekį bei jo komponentų kiekius:

$$n_{sausos\ oro} = n_{oro} - n_{H_2O_{ore}} = 4066,33 - 142,73 = 3923,6 \text{ kmol/h}$$

$$n_{N_2_{ore}} = 3923,6 \cdot 0,79 = 3099,64 \text{ kmol/h}$$

$$n_{O_2_{ore}} = 3923,6 - 3099,64 = 823,95 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame likusį deguonies kiekį:

$$n_{O_2_{likęs}} = n_{O_2_{ore}} - n_{O_2_{visas}} = 823,95 - 582,75 = 241,2 \text{ kmol/h}$$

Turime visus duomenis sudaryti kontaktinio aparato medžiagų balansą. Jis pavaizduotas 3.1 lentelėje. Prieš tai paverčiame komponentų molinius debitus į masės debitus pagal  $G = n \cdot M$ . Komponentai skaičiuojami standartinėmis sąlygomis.

**3.1 lentelė.** Kontaktinio aparato medžiagų balansas

Įtekantis srautas			Ištekantis srautas		
Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h	Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h
NH <sub>3</sub>	469,96	7989,32	NO	460,56	13816,8
N <sub>2</sub>	3099,64	86789,92	N <sub>2</sub>	3104,34	86921,52
O <sub>2</sub>	823,95	26366,4	O <sub>2</sub>	241,2	7718,4
H <sub>2</sub> O	142,73	2569,14	H <sub>2</sub> O	847,67	12831,65
Viso:	-	121306	Viso:	-	121286

Po kontaktinio aparato gautas nitrozinių dujų srautas vėsinamas eilėje šilumokaičių. Mažinant temperatūrą 3.3 reakcija persistumia į NO<sub>2</sub> pusę ir pasiekus maždaug 40 °C temperatūrą, esant deguonies pertekliui, beveik visas NO virsta į NO<sub>2</sub> ( $\alpha_{NO_{oks}} = 96\%$ ).



Remiantis AB „Achema“ azoto rūgšties cecho GP-2 skyriaus technologiniu reglamentu suslėgto oro srautas atskiriamas į dvi dalis. Pirminis srautas sudaro 80 % ir tiekiamas į kontaktinį aparatą, o antrinis – 20 %, jis tiekiamas į oksidavimo koloną, kurioje vyksta 3.3 reakcija. Todėl toliau skaičiuojamas oksidavimo kolonos medžiagų balansas.

Skaičiuojame pasigaminusį NO<sub>2</sub> kiekį:

$$n_{NO_2} = n_{NO} \cdot 0,96 = 460,56 \cdot 0,96 = 442,14 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame sunaudotą deguonies kiekį:

$$n_{O_2 \text{ sunaud.}} = n_{NO} \cdot 0,96 \cdot \frac{1}{2} = 221,07 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame antrinio oro srauto kiekį:

$$n_{antr.oras} = n_{oro} \cdot \frac{20}{80} = 4066,33 \cdot \frac{20}{80} = 1016,58 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame atskirų ore esančių komponentų kiekius:

$$n_{H_2O_{ore}} = n_{antr.oras} \cdot 0,0351 = 1016,58 \cdot 0,0351 = 35,68 \text{ kmol/h}$$

$$n_{sausos \text{ antr.oro}} = n_{antr.oras} - n_{H_2O_{ore}} = 1016,58 - 35,68 = 980,9 \text{ kmol/h}$$

$$n_{N_{2ore}} = 980,9 \cdot 0,79 = 774,91 \text{ kmol/h}$$

$$n_{O_{2ore}} = 980,9 - 774,91 = 205,99 \text{ kmol/h}$$

Kadangi reakcija 3.3 nevyksta 100 %, tai skaičiuojame koks kiekis NO liko nesukonvertuotas į NO<sub>2</sub>:

$$n_{NO_{likęs}} = 460,56 - 442,14 = 18,42 \text{ kmol/h}$$

Moliniai debitai perskaičiuojami į masės debitus ir sudaromas oksidavimo kolonos medžiagų balansas, kuris pavaizduotas 3.2 lentelėje.

**3.2 lentelė.** Oksidavimo kolonos medžiagų balansas.

Įtekantis srautas			Ištekantis srautas		
Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h	Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h
NO	460,56	13816,8	NO	18,42	552,6
N <sub>2</sub>	3879,25	108619	N <sub>2</sub>	3879,25	108619
O <sub>2</sub>	447,19	14310,08	O <sub>2</sub>	226,12	7235,84
H <sub>2</sub> O	883,35	15900,3	H <sub>2</sub> O	883,35	15900,3
			NO <sub>2</sub>	442,14	20338,44
Viso:	-	152645	Viso:	-	152644

Toliau nitrozinės dujos, kuriose yra daug azoto dioksido, suslegiamos ir tiekiamos į absorbcijos koloną, kurioje NO<sub>2</sub> absorbuojamas vandeniu bei gaunama azoto rūgštis. Absorbcijos kolonoje vyksta dvi reakcijos:



Reakcija 3.4 yra absorbcijos reakcija, kurios  $\alpha_{NO_2_{abs}} = 98\%$ .

3.5 yra gretutinė reakcija, kuri vyksta tuo pat metu kaip ir 3.4 reakcija, tik dujinėje fazėje. NO gaunamas 3.4 reakcijoje reaguoja su deguonių bei sudaro NO<sub>2</sub>, kuris toliau absorbuojamas vandeniu.

Kadangi pradiniai duomenys rodo, kad norime pagaminti 27,3 t/h 55 masės % koncentracijos azoto rūgštį, tai pirmiausia skaičiuojamas vandens kiekis, reikalingas gauti tokiam praskiedimui.

$$m_{H_2O_{prask.}} = m_{HNO_3} \cdot \frac{45}{55} = 27300 \cdot \frac{45}{55} = 22334,7 \text{ kg/h}$$

Skaičiavimai atliekami moliais, todėl masės debitą perskaičiuojame į molinį debitą:

$$n_{H_2O_{prask.}} = \frac{m_{H_2O_{prask.}}}{M_{H_2O}} = \frac{22334,7}{18} = 1240,81 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojamas NO<sub>2</sub> kiekis, reikalingas gauti 433,3 kmol/h azoto rūgštis, kai  $\alpha_{NO_2_{abs}} = 98\%$ :

$$n_{NO_2_{reik.}} = \frac{n_{HNO_3} \cdot 3/2}{0,98} = \frac{433,3 \cdot 3/2}{0,98} = 663,21 \text{ kmol/h}$$

Į absorbcijos koloną įteka 442,14 kmol/h NO<sub>2</sub>, todėl reikia dar 663,21 – 442,14 = 221,07 kmol/h NO<sub>2</sub>.

3.4 reakcijos metu gaunama 216,65 kmol/h NO. Į koloną įteka 18,42 kmol/h NO. Todėl iš viso kolonoje yra 216,65 + 18,42 = 235,07 kmol/h NO, kuris sureaguoja pagal 3.5 reakciją ir gaunamas NO<sub>2</sub>. Pasigamina 235,07 · 0,96 = 225,67 kmol/h NO<sub>2</sub>.

Skaičiuojamas visas NO<sub>2</sub> kiekis:

$$n_{NO_2\text{visas}} = n_{NO_2} + n_{NO_2\text{pasigam.}} = 442,14 + 225,67 = 667,81 \text{ kmol/h}$$

Matome, kad kolonoje yra didesnis NO<sub>2</sub> kiekis negu reikalingas pagaminti 433,3 kmol/h azoto rūgšties. Todėl galime teigti, kad skaičiavimai yra teisingi.

Skaičiuojamas sunaudotas NO<sub>2</sub> kiekis:

$$n_{NO_2\text{sunaud.}} = 433,3 \cdot \frac{3}{2} = 649,5 \text{ kmol/h}$$

Toliau skaičiuojame kiek azoto dioksido lieka likutinėse dujose.

$$n_{NO_2\text{likęs}} = n_{NO_2\text{visas}} - n_{NO_2\text{sunaud.}} = 667,81 - 649,5 = 18,31 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame NO kiekį likutinėse dujose:

$$n_{NO\text{lik}} = 235,07 - 225,67 = 9,4 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame kiek deguonies sunaudota 3.5 reakcijai vykti:

$$n_{O_2\text{Irr.}} = n_{NO_2\text{pasigam.}} \cdot \frac{1}{2} = 112,83 \text{ kmol/h}$$

Į koloną įteka 226,12 kmol/h deguonies. Sunaudojama 112,83 kmol/h. Skaičiuojamas likęs O<sub>2</sub> kiekis likutinėse dujose:

$$n_{O_2\text{lik}} = 226,12 - 112,83 = 113,29 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame 3.4 reakcijai sunaudotą vandens kiekį:

$$n_{H_2O\text{sunaud.}} = 433,3 \cdot \frac{1}{2} = 216,65 \text{ kmol/h}$$

Į absorbcijos koloną įnešama 883,65 kmol/h H<sub>2</sub>O, sunaudojama 216,65 kmol/h. Todėl skaičiuojamas reikalingas bei papildomas H<sub>2</sub>O kiekis:

$$n_{H_2O\text{reik.}} = n_{H_2O\text{prask.}} + n_{H_2O\text{sunaud.}} = 1240,81 + 216,65 = 1457,46 \text{ kmol/h}$$

$$n_{H_2O\text{pap.}} = n_{H_2O\text{reik.}} - 883,35 = 1457,46 - 883,35 = 574,11 \text{ kmol/h}$$

Suskaičiuoti visi reikalingi kiekiai absorbcijos kolonos medžiagų balansui sudaryti, kuris pateiktas 3.3 lentelėje.

**3.3 lentelė.** Absorbcijos kolonos medžiagų balansas

Įtekantis srautas			Ištekantis srautas		
Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h	Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h
			<b>Skysta fazė</b>		
NO	18,42	552,6	HNO <sub>3</sub>	433,3	27298
N <sub>2</sub>	3879,25	108619	H <sub>2</sub> O	1240,81	22334,58
O <sub>2</sub>	226,12	7235,84	<b>Dujinė fazė</b>		
H <sub>2</sub> O	1457,46	26234,28	NO	9,4	282
NO <sub>2</sub>	442,14	20338,44	NO <sub>2</sub>	18,31	842,26
			O <sub>2</sub>	113,29	3625,28
			N <sub>2</sub>	3879,25	108619
Viso:	-	162978	Viso:	-	162978

### 3.2. Medžiagų balansas atlikus gamybinio proceso tobulinimą

Azoto rūgšties gamybos agregato tobulinimas atliktas Aspen HYSYS programinėje aplinkoje. Tobulinama buvo NO oksidavimo bei absorbcijos stadijos. Oksidavimo procesas gerinamas pakeitus oksidavimo koloną ir įmontavus į ją Pt/Al katalizatorių. Dėka šio katalizatoriaus, lėta pusiausvyrinė reakcija vyksta daug greičiau, bei konversijos laipsnis yra ne mažesnis nei 95 %. Taip pat ši reakcija ant katalizatoriaus gali būti atliekama daug aukštesnėje temperatūroje nei vykdant pusiausvyrinę reakciją. NO oksidavimo reakcija yra egzoterminė, todėl atsiradus galimybei ją vykdyti aukštesnėje temperatūroje, papildomai kolonos aušinti nebūtina, o gautą šilumą galima panaudoti garo gamybai, kuris naudojamas garo turbinai sukuti. Garo perteklius galėtų būti išduodamas į kitus cechus ar panaudotas kaip palydovas žiemą vamzdynamics šildyti. Ši idėja yra paremta moksliniu tiriamuoju straipsniu, kurį parašė mokslininkų komanda, o šią sudaro: Carlos A. Grande, Kari Anne Andreassen, Jasmina H. Cavka, David Waller, Odd-Arne Lorentsen, Halvor Øien, Hans-Jörg Zander, Stephen Poulston, Sonia García, Deena Modeshia [21].

Atlikus šį oksidavimo stadijos pakeitimą Aspen HYSYS aplinkoje buvo nustatytas 100 % NO konversijos laipsnis į NO<sub>2</sub>. Taip pat absorbcijos stadijoje buvo padidintas kolonos aušinimas, todėl vietoj 98 % absorbcijos laipsnio buvo gauti 99 %. Atlikus projektavimą, buvo paskaičiuota, kad pagaminama 57 % azoto rūgštis.

Medžiagų balansas skaičiuojamas panaudojus tą pačią metodiką kaip ir skaičiuojant medžiagų balansą pagal dviejų slėgių technologiją, todėl gauti rezultatai pateikiami lentelėse. Skaičiavimai atlikti tam, kad pažiūrėti ar naudojant tą patį žaliavų kiekį būtų galima gauti didesnę azoto rūgšties kiekį.

Kontaktinio aparato medžiagų balansas išlieka tas pats, nes nebuvo nieko keista amoniako konversijos stadijoje.

**3.4 lentelė.** Kontaktinio aparato medžiagų balansas atlikus patobulinimą.

Įtekantis srautas			Ištekantis srautas		
Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h	Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h
NH <sub>3</sub>	469,96	7989,32	NO	460,56	13816,8
N <sub>2</sub>	3099,64	86789,92	N <sub>2</sub>	3104,34	86921,52
O <sub>2</sub>	823,95	26366,4	O <sub>2</sub>	241,2	7718,4
H <sub>2</sub> O	142,73	2569,14	H <sub>2</sub> O	847,67	12831,65
Viso:	-	121306	Viso:	-	121286

Azoto monoksido oksidavimo procesas ant Pt/Al katalizatoriaus pasiekiamas 100 % konversijos laipsnį, todėl visas NO suoksiduojamas į NO<sub>2</sub>. Medžiagų balansas pateiktas 3.5 lentelėje.

**3.5 lentelė.** Oksidavimo kolonos su Pt/Al katalizatoriumi medžiagų balansas.

Įtekantis srautas			Ištekantis srautas		
Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h	Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h
NO	460,56	13816,8	NO <sub>2</sub>	460,56	21185,76
N <sub>2</sub>	3879,25	108619	N <sub>2</sub>	3879,25	108619
O <sub>2</sub>	447,19	14310,08	O <sub>2</sub>	216,91	6941,12
H <sub>2</sub> O	883,35	15900,3	H <sub>2</sub> O	883,35	15900,3
Viso:	-	152644	Viso:	-	152645

Susidariusios azoto rūgšties kiekiui absorbcijos stadijos metu apskaičiuoti kiek daugiau HNO<sub>3</sub> pasigamina, skaičiavimai buvo atlikti šiek tiek kitaip. Aspen HYSYS aplinkoje suprojektuotoje absorbcijos stadijoje vietoj kolonos naudojami 4 konversijos reaktoriai, galime priimti, kad skaičiuojame 4 reakcijų 3.4 ir 3.5 ciklus.

Pirmiausia skaičiuojame kiek HNO<sub>3</sub> ir NO galime gauti iš ateinančio nitrozinių dujų srauto:

$$n_{HNO_3,1} = 460,56 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,99 = 303,97 \text{ kmol/h}$$

$$n_{NO,1} = \frac{460,56}{3} \cdot 0,99 = 151,98 \text{ kmol/h}$$

151,98 kmol/h NO pagal 3.5 reakciją virsta į  $151,98 \cdot 0,96 = 145,9$  kmol/h NO<sub>2</sub>, kuris reaguoja su vandeniu ir sudaro azoto rūgštį pagal 3.4 reakciją:

$$n_{HNO_3,2} = 145,9 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,99 = 96,29 \text{ kmol/h}$$

$$n_{NO_2} = \frac{145,9}{3} \cdot 0,99 = 48,15 \text{ kmol/h}$$



Iš pirmo ciklo liko 6,08 kmol/h NO ir pasigamino dar 48,15 kmol/h. Sudėjus gauname 54,23 kmol/h NO, kuris sudaro  $54,23 \cdot 0,96 = 52,06$  kmol/h NO<sub>2</sub>. Jis reaguoja su vandeniu ir sudaro azoto rūgštį:

$$n_{HNO_3} = 52,06 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,99 = 34,36 \text{ kmol/h}$$

$$n_{NO_3} = \frac{52,06}{3} \cdot 0,99 = 17,18 \text{ kmol/h}$$

Gautas NO kartu su iš antro ciklo likusiu NO sudaro  $17,18 + 2,17 = 19,35$  kmol/h. Šis kiekis sudaro 18,57 kmol NO<sub>2</sub>, kuris reaguoja su vandeniu ir sudaro azoto rūgštį:

$$n_{HNO_3} = 18,57 \cdot \frac{2}{3} \cdot 0,99 = 12,25 \text{ kmol/h}$$

$$n_{NO_4} = \frac{18,57}{3} \cdot 0,99 = 6,12 \text{ kmol/h}$$

Skaičiavimai atlikti 4 reakcijų ciklams, todėl reikia kiekvieno ciklo metu gautą azoto rūgšties kiekį sudėti, kad gautume bendrą pasigaminusį rūgšties kiekį.

$$n_{HNO_3,visas} = 303,97 + 96,29 + 34,36 + 12,25 = 446,87 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame likusį NO kiekį:

$$n_{NO_{lik}} = 6,12 + 0,78 = 6,9 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame gautą NO<sub>2</sub> kiekį:

$$n_{NO_2,gaut} = 460,56 + 145,9 + 52,06 + 18,57 = 677,09 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame likusį NO<sub>2</sub> kiekį:

$$n_{NO_2,lik} = 677,09 - (677,09 \cdot 0,99) = 6,77 \text{ kmol/h}$$

Skaičiuojame sunaudotą vandens kiekį:

$$n_{H_2O,sunaud.} = \frac{446,87}{2} = 223,44 \text{ kmol/h}$$

Tolesni vandens skaičiavimai atlikti taip pat kaip ir 3.1 dalyje. Sudaromas absorbcijos kolonos medžiagų balansas, kuris pavaizduotas 3.6 lentelėje.

**3.6 lentelė.** Absorbcijos kolonos su padidintu aušinimu medžiagų balansas.

Įtekantis srautas			Ištekantis srautas		
Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h	Komponentai	N, kmol/h	G, kg/h
			<b>Skysta fazė</b>		
NO <sub>2</sub>	460,56	21185,76	HNO <sub>3</sub>	446,87	28152,81
N <sub>2</sub>	3879,25	108619	H <sub>2</sub> O	1179,89	21238,08
O <sub>2</sub>	216,91	6941,12	<b>Dujinė fazė</b>		
H <sub>2</sub> O	1403,33	25259,94	NO	6,9	207
			NO <sub>2</sub>	6,77	311,42
			O <sub>2</sub>	108,26	3464,32
			N <sub>2</sub>	3879,25	108619
Viso:	-	162978	Viso:	-	162978

Atlikus skaičiavimus matome, kad patobulintoje azoto rūgšties gamybos versijoje gaunamas didesnis azoto rūgšties kiekis panaudojus tą patį žaliavų kiekį. Taip pat matome, kad gaunami mažesni azoto oksidų kiekiai dujinėje fazėje ir tai reiškia, kad reikia panaudoti mažiau amoniako selektyvioje dujų valymo technologijoje, redukuojant azoto oksidus į azotą. Azoto rūgšties gaunama 854 kg/h daugiau skaičiuojant į 100 % - ę rūgštį.

## 4. INŽINERINĖ DALIS

### 4.1. Azoto rūgšties dviejų slėgių gamybos technologinės schemos aprašymas

Azoto rūgšties gamybos agregato technologinė schema nubraižyta pagal AB „Achema“ azoto rūgšties cecho „GP-2“ skyriaus technologinį reglamentą. Schema pateikta prieduose A1 formatu.

#### 4.1.1. Turboagregatas

Turboagregatą sudaro du kompresoriai ir dvi turbinos. Oro kompresorius *17A* naudojamas suslėgti atmosferos orą iki 2,1 – 2,8 bar slėgio. Kompresoriaus velenas sukamas garo turbina *17D*. Garai sukti turbina gaunamas amoniako oksidavimo metu gautos šilumos pagalba perkaitinant garą garų perkaitose *7A (B, C, D)*. Nitrozinių dujų kompresorius *17B* naudojamas suslėgti nitrozines dujas, praturtintas azoto dioksidu, iki 7 – 8,7 bar slėgio. Kompresoriaus velenas sukamas liekamųjų dujų turbina *17C*, kuri naudoja karštų dujų plėtimosi energiją prieš išmetant jas į atmosferą.

#### 4.1.2. Amoniako – oro mišinio paruošimas

Oras, naudojamas azoto rūgšties gamybos procesui, imamas iš atmosferos. Prieš patenkant į kompresorių *17A*, oras išvalomas trijų dalių filtre *1*. Šiuo filtru oras išvalomas iki 99,99 % nuo mažesnių nei 0,3 mm dalelių. Jei aplinkos oro temperatūra yra žemesnė nei 5 °C, tai tokiu atveju oras pašildomas kaloriferyje tam, kad drėgmė nesikondensuotų ant filtro elementų. Išvalytas oras kompresoriumi *17A* suspaudžiamas iki 2,1 – 2,8 bar slėgio ir įkaista iki ~ 160 °C temperatūros. Toliau suslėgtas oras patenka į aušintuvą *16*, jame šiek tiek ataušta iki ~ 130 °C ir atskiriamas į 2 srautus. Pirminis oro srautas tiekiamas į amoniako – oro sumaišytuvą *4*, o antrinis srautas naudojamas azoto rūgšties „balinimo“ kolonoje *21* prieš tai ataušinus apytakiniu vandeniu aušintuve *15*.

Dujinis amoniakas gaunamas panaudojant apytakinį vandenį amoniako išgarintuve *3* ir prapūtimų bake *3-1*. Pastarajame atskiriama vandens/tepalo emulsija išgarinant likusį skystą amoniaką. Švarus dujinis amoniakas toliau šildomas garais šilumokaityje *2*. Perkaitintas dujinis amoniakas patenka į amoniako – oro maišytuvą *4*. Amoniako koncentracija ore turi būti ~ 10,5 tūrio % tam, kad išvengti sprogimo pavojaus bei palaikyti kontaktiniuose aparatuose *6A (B, C, D)* esančių platinos katalizatorių temperatūrą ~ 850 °C.

#### 4.1.3. Amoniako oksidavimas

Amoniako – oro mišinys prieš tiekiant į kontaktinius aparatus, išvalomas nuo didesnių nei 0,3 μm dalelių filtre *5*. 2,5 bar slėgio ir 140 °C temperatūros NH<sub>3</sub> – oro mišinys patenka į 4 kontaktinius aparatus *6A (B, C, D)*, kuriame vyksta prieš tai aprašytos amoniako oksidavimo reakcijos. Kontaktinio aparato viršutiniuose atvamzdžiuose sukrauti Rašigo žiedai, kurie paskirsto mišinį tolygiai per visą katalizatoriaus paviršių. Katalizatorius pagamintas iš platinos ir rodžio lydinio tinklelių santykiu 90/10. Platina veikia kaip pagrindinės reakcijos katalizatorius, o rodis sugaudo karštoje aplinkoje garuojančią platiną ir sumažina jos nuostolius. Kontaktiniuose aparatuose gaunami tokie produktai: azoto oksidai, N<sub>2</sub> ir H<sub>2</sub>O. Šių junginių mišinys vadinamas nitrozinėmis dujomis (ND). Taip pat kontaktiniuose aparatuose gaunamas ir šalutinis reakcijos produktas azoto suboksidai N<sub>2</sub>O, o jis yra nepageidaujamas produktas, nes tai yra šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Kontaktiniuose aparatuose žemiau platinos katalizatoriaus sumontuotas antrinis katalizatorius iš retųjų žemių metalų oksidų. Šis katalizatorius suskaido N<sub>2</sub>O ir šis skyla į molekulinį azotą ir deguonį:



Išvalymo laipsnis siekia ne mažiau nei 90 %, o nitrozinėse dujose lieka apie 150 ppm azoto suboksido, kurio kiekis nekinta tolimesnėse proceso etapuose.

Kiekviename kontaktiniame aparate yra sumontuoti azoto – vandenilio mišinio (AVM) tiekimo atvamzdžiai ir paskirstymo įrenginiai, kurių pagalba AVM paskirstomas po visą katalizatoriaus paviršių. Šis AVM naudojamas paleidimo metu, kai reikia „uždegti“ katalizatoriaus tinklelius iki reikiamos temperatūros tam, kad katalizatorius būtų paruoštas oksidavimo procesui.

#### 4.1.4. Nitrozinių dujų šilumos utilizavimas

Amoniakos oksidavimo reakcijos yra egzoterminės ir jų metu išsiskiria labai didelis kiekis šilumos. Tam, kad palaikyti pastovią temperatūrą kontaktiniuose aparatuose, susidariusią šilumą reikia pašalinti. Ši energija yra naudojama šaltiems srautams pašildyti bei vandens garų gamybai. Kiekviename kontaktiniame aparate sumontuotos garų perkaitos 7A (B, C, D), kuriose gaminamas perkaitintas garai 400 – 450 °C temperatūros ir naudojamas turbinai 17D sukuti. Po garų perkaitos 7A (B, C, D) nitrozinių dujų temperatūra siekia 700 – 750 °C. Toliau dujos vėsta po kontaktiniais aparatais esančiuose katiluose – utilizatoriuose 8A(B). Po jų nitrozinių dujų temperatūra yra 250 – 300 °C. Po to ND patenka į liekamųjų dujų pašildytuvą 13, ataušta iki 210 – 270 °C ir patenka į ekonomazerį 14, kuriame nitrozinės dujos pašildo katilą maitinantį vandenį. Iš ekonomazerio 14 ištekantių dujų temperatūra yra ~ 140 °C.

#### 4.1.5. Silpnos rūgšties kondensacija ir NO oksidacija

Iš ekonomazerio ND patenka į aušintuvą – kondensatorių 19. Jame dujos teka vamzdinėje kondensatoriaus dalyje iš viršaus žemyn, o tarpvamzdinėje dalyje cirkuliuoja aušinantis vanduo. ND atvėsta iki 35 – 50 °C, o tokioje temperatūroje kondensuojasi nitrozinėse dujose esantis vanduo, kuris reaguoja su azoto oksidais ir sudaro silpną azoto rūgštį. Ši rūgštis patenka į kondensatoriaus apatinėje dalyje esantį separacinį indą. Svarbus faktorius yra šios rūgšties temperatūra, nes jeigu ji yra aukštesnė nei 55 °C, tai gali reikšti, kad kontaktiniuose aparatuose nepilnai sureagavo amoniakas. Todėl aušintuve kondensatoriuje 19 gali susidaryti amonio nitratas, o tai yra pavojingas reiškinys procesui. Taip pat kondensatoriaus lygis turi būti 50 %, kuris palaikomas siurbliais 24A(B), kurie tiekia rūgštį į absorbcijos koloną 28.

ND į oksidacijos koloną 20 patenka 40 – 70 °C temperatūros. Joje dujos aušinamos tam, kad būtų pagerinta NO oksidacija. Į kolonos apačią tiekiamas antrinis oras, kuris patenka iš balinimo kolonos 21. Jis susimaišo su nitrozinėmis dujomis. Kildamos į kolonos viršų ant sietinio tipo lėkščių, dujos tiesiogiai kontaktuoja su azoto rūgštimi ir perduoda oksidacijos šilumą. Aušinant ND kondensuojasi azoto rūgštis, kuri naudojama kolonai laistyti, o perteklius nuteka į balinimo koloną 21. Rūgštis aušinama oksidacijos kolonos 20 išorėje įrengtais šilumokaičiais 22, į kuriuos pumpuojama siurbliais 23A(B). Po oksidacijos kolonos nitrozinių dujų temperatūra 40 – 60 °C.

#### 4.1.6. Nitrozinių dujų kompresija ir absorbcija

Iš oksidacijos kolonos 20 nitrozinėse dujose didžiąją dalį sudaro iš NO pasigaminęs NO<sub>2</sub>. Dujos separatoriuje 18 atskiriamos nuo skysčio lašelių ir tiekiamos į kompresorių 17B. ND suslegiamos iki 7 – 8,7 bar slėgio. Dujų temperatūra pakyla iki 170 – 180 °C, todėl jos turi būti atvėsintos. Tai

įvykdoma tiekiant dujas į ND aušintuvą 25, kur įvyksta šilumos mainais tarp iš kolonos 28 išeinančių likutinių dujų bei aukšto slėgio nitrozinių dujų. ND papildomai ataušinamos aušintuve 26 ir tiekiamos į absorbcijos koloną 28.

Absorbcijos kolonoje 28 nitrozinės dujos kyla iš apačios į viršų. Jos absorbuojamos laistomu dalinai valytu vandeniu ir baziniu kondensatu, kurie tiekiami ant 33 ir 31 lėkštės. Taip pat ant 4, 5, 6, 7 lėkščių tiekiami silpna azoto rūgštis iš kondensatoriaus 19. Absorbcijos kolonoje nitrozinėse dujose esantis NO<sub>2</sub> reaguoja su vandeniu ir išsiskiria azoto rūgštis su nauju kiekiu NO. Tam, kad NO oksiduotų į NO<sub>2</sub> tarp lėkščių turi būti padarytas toks tarpas, kad būtų užtekinai laiko įvykti oksidacijai ir ant sekančios lėkštės vyktų absorbcija. Kolonoje vykstančios reakcijos yra egzoterminės, todėl išsiskyrusi šiluma turi būti pašalinta. Tai padaroma skystyje virš lėkščių įrengtais gyvatuko formos vamzdžiais tekančiu aušinančiu vandeniu. Kolonos viršuje sumontuotas rūko pašalinimo įrenginys, pro kurį praėjusios likutinės dujos nuteka į šilumokaičio 25 vamzdinę dalį ir pašyla nuo 30 – 40 °C iki 140 – 170 °C.

55 – 58 % koncentracijos azoto rūgštis kaupiasi absorbcijos 28 apačioje, buferinėje talpoje 29. Temperatūra yra ~ 60 °C. Skysčio lygis buferinėje talpoje 29 palaikomas lygio vožtuvu ir turi būti 50 %. Rūgštis patenka į balinimo koloną 21, kurioje „išbalinama“ nuo ištirpusių azoto oksidų, kurie nudažo azoto rūgštį. Šis procesas vyksta išgarinant rūgštį į koloną tiekiamu karštu antrinio oro srautu, kuris pašalina ištirpusius azoto oksidus. Mišinys patenka į oksidacijos koloną 20 ir susimaišo su iš kondensatoriaus 19 įtekančiomis nitrozinėmis dujomis. Tuo tarpu, švari azoto rūgštis kaupiasi apatinėje balinimo kolonos 21 dalyje ir daugiau nei 50 % lygio rūgštis nuteka į azoto rūgšties saugyklas.

#### 4.1.7. Liekamųjų dujų valymas

Liekamosiose dujose iš absorbcijos kolonos 28 viršaus yra ~ 1200 ppm azoto oksidų. Šios dujos pašildomos šilumokaičiuose 25 ir 13, po kurių dujų temperatūra 220 – 270 °C. Temperatūra negali būti žemiau už 190 °C, nes blogai dirbtų DeNOx valymo sistema. Liekamosios dujos valomos NO ir NO<sub>2</sub> reaguojant su dujiniu amoniaku ir sudarant molekulinį azotą ir vandens garus pagal reakcijas:



Pirmiausia tiekiamas skystas amoniakas išgarinamas garintuve 9 ir pašildomas 10. Šiluma suteikiama cirkuliuojančiais vandens garais. Dujinis amoniakas 170 °C temperatūros įpurškiamas į pašildytų liekamųjų dujų vamzdį. Mišinys patenka į DeNOx reaktorių 12, kuriame vyksta 4.2 ir 4.3 reakcijos. Po reaktoriaus 12 dujų temperatūra pakyla iki 220 – 285 °C, o azoto oksidų lieka apie 50 ppm. 6,2 – 7,7 bar slėgio liekamosios dujos panaudojamos liekamųjų dujų turbinoje 17C, kuri generuoja energiją turboagregatui. Po turbinos 17C dujų temperatūra 30 – 90 °C, o slėgis ne daugiau 10 kPa. NH<sub>3</sub> kiekis po DeNOx reaktoriaus negali būti daugiau nei 2 ppm, nes tada susidarytų amonio nitritas ir nitratas, kurie skildami galėtų sugadinti liekamųjų dujų turbiną. Po turbinos 17C išvalytos dujos išmetamos pro kaminą į atmosferą.

## 4.2. Technologiniai sprendimai

Chemijos inžinerijos projektavime labai svarbus žingsnis yra medžiagų balanso sudarymas. Šiais laikais patogiu naudotis duomenų bazėmis, projektuojant chemijos inžinerijos procesus, kompiuterinių programų pagalba. Viena iš tokių programų yra Aspen HYSYS V9.0, kuri ir buvo panaudota projektuojant nekoncentruotos azoto rūgšties gamybą.

Realūs technologiniai duomenys projektuojant nekoncentruotos azoto rūgšties gamybą paimti iš AB „Achema“ azoto rūgšties cecho. Buvo naudojami tokie patys žaliavų kiekiai ir skaičiuojama, kiek produkto susidarys ir kokią įtaką turi technologiniai pakeitimai, siekiant padidinti produkto kiekį ar sutaupyti energijos.

Pirmiausia buvo suprojektuota azoto rūgšties gamybos linija pagal dviejų slėgių „Grande Paroisse“ technologiją, kuri yra įdiegta AB „Achemos“ Azoto rūgšties ceche. Ši technologija yra aprašyta 4.1 poskyryje.

Pradiniai duomenys, pagal kuriuos buvo projektuojama azoto rūgšties gamyba Aspen HYSYS programinėje aplinkoje (4.1 pav.):

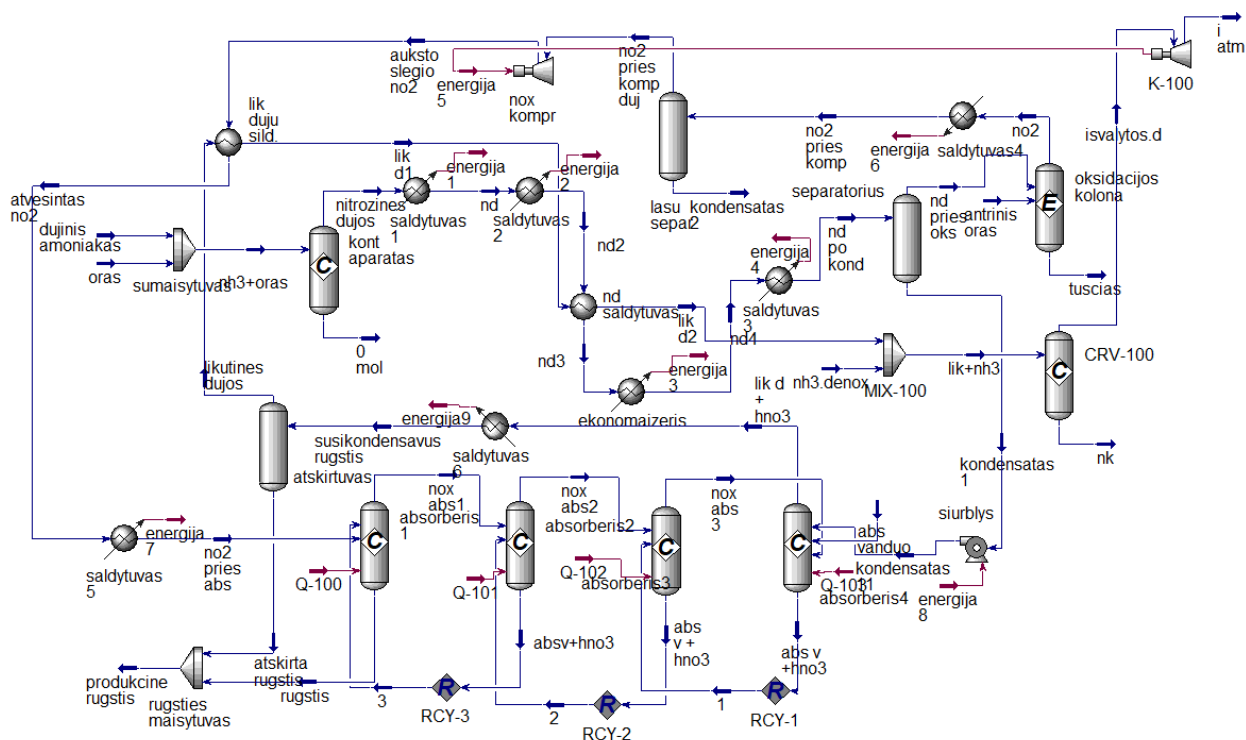
$$m_{NH_3} = 8531 \text{ kg/h}$$

$$t_{NH_3} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_{oro} = 123425 \text{ kg/h}$$

$$m_{oro} = 161 \text{ }^\circ\text{C}$$

Amoniako oksidavimo į NO laipsnis 98 %



**4.1 pav.** Nekoncentruotos azoto rūgšties gamybos technologinė linija Aspen HYSYS programinėje aplinkoje

Pavaizduotoje proceso srautų schemoje kontaktinis aparatas suprojektuotas kaip konversijos reaktorius, kondensatorius – aušintuvo ir separatoriaus derinys, oksidavimo kolona – kaip pusiausvyrinių reakcijų kolona, absorbcijos kolona – 4 konversijos reaktoriai atspindi 4 absorbcijos kolonoje vykstančių reakcijų ciklus, DeNOx reaktorius – konversijos reaktorius.

Į sumaišytuvą (sumaisytuvas) tiekiamas dujinis amoniakas ( $p = 5 \text{ bar}$ ,  $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ir oras ( $p = 3,48 \text{ bar}$ ,  $t = 161 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Gautas amoniako – oro mišinys ( $\text{nh}_3 + \text{oras}$ ) tiekiamas į kontaktinį aparatą (kont. aparatas), kuriame vyksta amoniako oksidavimas į NO. Jame palaikoma  $848 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūra ir  $3,48 \text{ bar}$  slėgis. Medžiagų balansas pateiktas 4.1 lentelėje.

**4.1 lentelė.** Kontaktinio aparato medžiagų balansas. Darbiniai parametrai:  $P = 3,45 \text{ bar}$ ,  $T = 848 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Komponentai	Įtekantis srautas, kg/h	Ištekantis srautas, kg/h
H <sub>2</sub> O	2776	16314
NH <sub>3</sub>	8531	0
N <sub>2</sub>	92546	92686
O <sub>2</sub>	28102	8223
NO	0	14731
Viso:	129955	129955

Toliau dujų srautas vėsinamas eilėje šilumokaičių (saldytuvai 1, saldytuvai 2, nd saldytuvai, ekonomizeris, saldytuvai 3) iki  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūros. Sraute (nd po kond) yra  $83 \%$  dujų, o tai reiškia, kad likusi srauto dalis yra skystos fazės, kurią sudaro susikondensavęs vanduo. Skysta fazė atskiriama separatoriuje ir siurblio pagalba tiekama į absorbcijos kolonos viršutinę dalį (absorberis4). Dujinė fazė ( $t = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p = 3,1 \text{ bar}$ ) patenka į oksidavimo koloną (oksidacijos kolona), į kurią taip pat

tiekiamas antrinis oro srautas (antrinis oras). Joje vyksta NO oksidavimas į NO<sub>2</sub>. Po oksidavimo kolonos dujų temperatūra lygi 240 °C, o slėgis 2,98 bar. Dujos vėsina iki 40 °C aušintuve (saldytuvas<sup>4</sup>), o susikondensavusi dalis atskiriama separatoriuje (lasu separ). Oksidavimo kolonos medžiagų balansas pateiktas 4.2 lentelėje.

**4.2 lentelė.** Oksidavimo kolonos medžiagų balansas. Darbiniai parametrai: P = 2,98 bar, T = 40 °C.

Komponentai	Įtekantis srautas, kg/h	Ištekantis srautas, kg/h
H <sub>2</sub> O	2200	2200
N <sub>2</sub>	105436	105436
O <sub>2</sub>	12093	4538
NO	14731	564
NO <sub>2</sub>	0	21726
Viso:	13460	134464

Toliau dujos (no<sub>2</sub> prieš komp) tiekiamas į kompresorių (nox komp), kuriame suslėgiamos iki 8,96 bar slėgio (t = 186 °C). Karštos dujos vėsina šilumokaičiuose (lik dujų sild, saldytuvas 5) iki 45 °C temperatūros ir tiekiamos į absorbcijos kolonos apatinę dalį (absorberis 1). Absorbcijos kolona sudaryta iš 4 konversijos reaktorių (absorberis 1, absorberis2, absorberis3, absorberis4), kurioje vyksta azoto dioksido absorbavimas vandeniu, kuris tiekiamas į viršutinę kolonos dalį (absorberis4). Kolonoje palaikoma 50 °C temperatūra. Gauta azoto rūgštis (rūgštis) išteka iš apatinės kolonos dalies, o liekamųjų dujų srautas (lik.d+hno<sub>3</sub>) iš viršutinės kolonos dalies. Dujos vėsina aušintuve (saldytuvas 6) iki 40 °C temperatūros ir susikondensavusi azoto rūgštis atskiriama separatoriuje (atskirtuvas). Atskirta rūgštis sumaišoma su iš kolonos apačios ištekėjusia rūgštimi ir gaunamas 49 °C temperatūros ir 8,92 bar slėgio produktas (produkcine rūgštis). Absorbcijos kolonos medžiagų balansas pateiktas 4.3 lentelėje.

**4.3 lentelė.** Absorbcijos kolonos medžiagų balansas. P = 8,92 bar, T = 50 °C

Komponentai	Įtekantis dujinis srautas, kg/h	Įtekantis skystas srautas, kg/h	Ištekantis dujinis srautas, kg/h	Ištekantis skystas srautas, kg/h
H <sub>2</sub> O	2039	25552	627	22585
N <sub>2</sub>	105436	0	105409	28
O <sub>2</sub>	4538	0	456	2
NO	564	0	181	1
NO <sub>2</sub>	21718	0	0	0
HNO <sub>3</sub>	0	0	2798	27789
Viso:	159847		159847	

Gauta azoto rūgšties koncentracija  $c_{HNO_3} = 55,13 \%$ . Palyginus medžiagų balanso skaičiavimą ir Aspen HYSYS gautus duomenis, rezultatai sutampa.

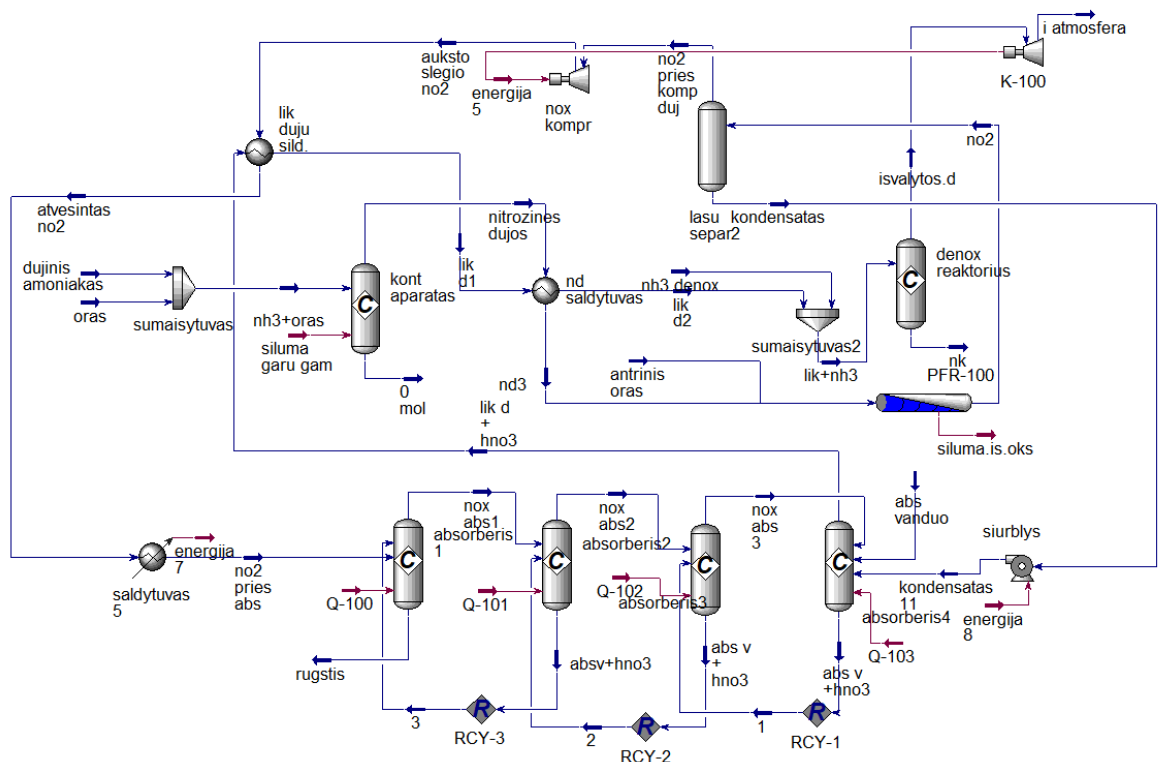
Norint padidinti gamybos proceso našumą buvo atlikti keli technologiniai pakeitimai. Pirmas pakeitimas būtų didelis. Oksidavimo kolonoje, kurioje vyksta pusiausvyrinė NO oksidavimo į NO<sub>2</sub> reakcija sumontuoti katalizatoriaus įkrovą ir vykdyti heterogeninę katalizinę reakciją vietoj homogeninės. Tokiu būdu procesas galėtų būti atliktas 250 – 350 °C temperatūroje, vietoj pusiausvyrinėje reakcijoje reikalingos žemos nitrozinių dujų temperatūros. Katalizatorius būtų



pagamintas iš 2 masės % platinos ant  $\gamma$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nešiklio. Šis pakeitimas leistų sumažinti įrangos, skirtos ND aušinimui kiekį. Taip pat vykstant egzoterminei reakcijai išsiskiria daug šilumos, kuri galėtų būti panaudota garų gamybai, bei taip gaminant energiją. Kinetiniai katalizinės reakcijos duomenys buvo paimti iš tiriamojo mokslinio straipsnio, kuriame buvo aprašyti laboratorijoje atlikti eksperimentai [21].

Kitas pakeitimas atliktas siekiant padidinti absorbcijos efektyvumą. Absorbcijos kolonoje padidintas aušinimas ir vietoj 50 °C temperatūros visame kolonos aukštyje, gautas 30 °C temperatūros dujų srautas iš viršutinės kolonos dalies. Toks pakeitimas padidina absorbcijos efektyvumą nuo 98 % iki 99 %.

Panaudojus Aspen HYSYS programinę įrangą buvo sudaryta srautų schema, kuri pavaizduota 4.2 paveiksle.



**4.2 pav.** Nekoncentruotos azoto rūgšties gamybos technologinė linija atlikus pakeitimus, siekiant padidinti gamybos našumą.

Pavaizduotoje schemoje reaktorių PFR-100 atitinka NO oksidavimo į  $\text{NO}_2$  koloną su Pt/Al katalizatoriumi. Šios schemos skirtumas nuo 4.1 paveiksle pavaizduotos schemos yra tai, kad iš kontaktnio aparato ištekejusioms karštomis dujomis atvėsinti nereikia tiek daug šilumokaičių dėl to, kad vykdoma NO oksidavimo reakcija tampa katalizine, vietoj pusiausvyrinės, kuriai buvo reikalinga žema įtekančių dujų temperatūra. Į NO oksidavimo reaktorių (PFR-100) dujos įteka 250 °C temperatūros ir 3,43 bar slėgio (gaunami mažesni slėgio nuostoliai dėl mažesnio šilumokaičių kiekio). Po šio reaktoriaus dujos atvėsina ir separatoriuje (lasu separ2) atskiriama skysta fazė. Skystoje fazėje šiuo atveju yra ne tik vandens, bet ir 895 kg/h  $\text{NO}_2$ .

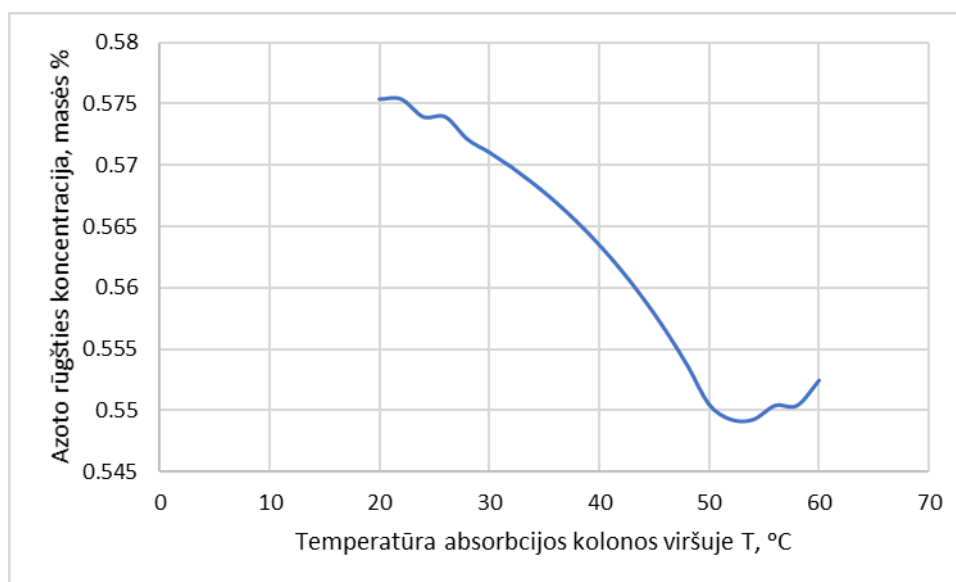
Atlikus modeliavimus, gauti medžiagų balansai, kurie pateikti 4.1, 4.4 ir 4.5 lentelėse.

**4.4 lentelė.** Oksidavimo kolonos su Pt/Al katalizatoriumi medžiagų balansas. T = 250 °C, P = 3,43 bar

Komponentai	Įtekantis srautas, kg/h	Ištekantis srautas, kg/h
H <sub>2</sub> O	16691	16691
N <sub>2</sub>	105434	105434
O <sub>2</sub>	12091	4238
NO	14731	0
NO <sub>2</sub>	0	22587
Viso:	148947	148950

Kaip matome visas NO susioksidavo į NO<sub>2</sub>, todėl buvo gautas didesnis NO<sub>2</sub> kiekis. Aspen HYSYS iš katalizinės reakcijos kinetinių duomenų paskaičiavo 100 % NO oksidavimo laipsnį.

Atliktas tyrimas, kaip didesnis absorbcijos kolonos viršutinės dalies aušinimas veikia gautos azoto rūgšties koncentraciją skystoje fazėje. Grafikas pavaizduotas 4.3 paveiksle.



**4.3 pav.** Azoto rūgšties koncentracijos priklausomybės nuo absorbcijos kolonos aušinimo grafikas.

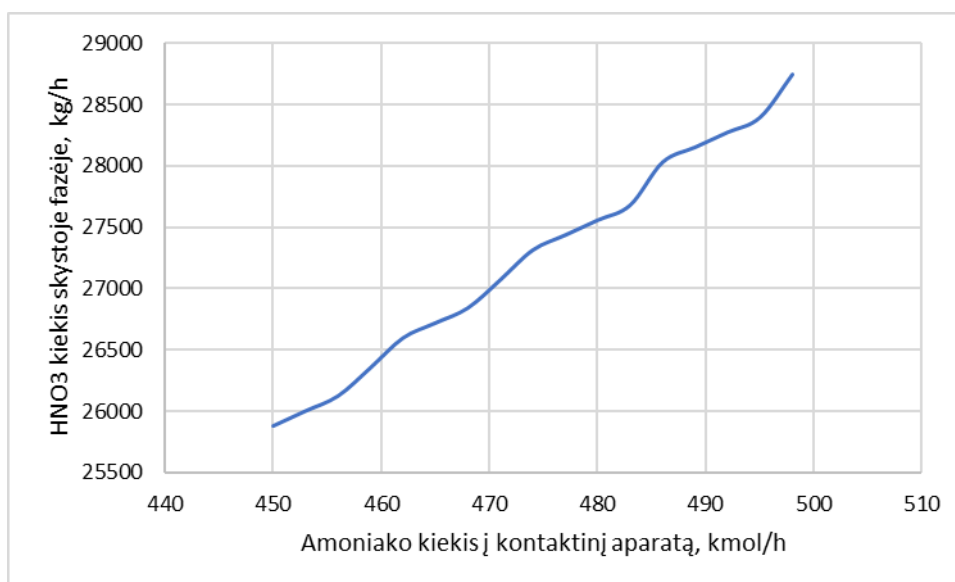
Todėl buvo atliktas pakeitimas absorbcijos kolonos viršutinėje dalyje padidinti aušinimą ir vietoj 50 °C temperatūros palaikyti 30 °C.

**4.5 lentelė.** Padidinto aušinimo absorbcijos kolonos medžiagų balansas. P = 8,92 bar, T = 30 °C.

Komponentai	Įtekantis dujinis srautas, kg/h	Įtekantis skystas srautas, kg/h	Ištekantis dujinis srautas, kg/h	Ištekantis skystas srautas, kg/h
H <sub>2</sub> O	1747	24348	255	21518
N <sub>2</sub>	105436	0	105407	30
O <sub>2</sub>	4238	0	604	2
NO	0	0	369	1
NO <sub>2</sub>	21692	895	0	0
HNO <sub>3</sub>	0	0	1112	28989
Viso:	158287		158287	

Kaip matome iš 4.5 lentelės pakeitimai technologiniame procese leidžia pagaminti 28989 kg/h grynos azoto rūgšties, o tai yra 1200 kg/h daugiau nei vykdant gamybą pagal esamą „GP“ technologiją.

Aspen HYSYS yra labai patogi cheminių procesų modeliavimo programa dėl įvairių priežasčių. Viena iš jų būtų „case study“ funkcija, kuri leidžia greitai surasti priklausomybes tarp bet kokių procese kintamųjų parametrų.. Kadangi projekto tikslas yra surasti kiek mažiau reikės amoniako tam pačiam azoto rūgšties kiekiui gauti, buvo panaudota ši funkcija. Tai žymiai sutaupo laiko, nes nereikia keisti parametrų pačiame modelyje. Gavus rezultatus, duomenys gali būti perkelti į MS „Excel“ programą vienu pelytės paspaudimu. Perkėlus gautus duomenis į MS „Excel“ programą, buvo sudarytas grafikas (4.4 pav.), kuris parodo kaip azoto rūgšties produkcijos kiekis kinta nuo žaliavos – amoniako kiekio.



**4.4 pav.** HNO<sub>3</sub> kiekio priklausomybė nuo amoniako žaliavos kiekio patobulintoje technologinėje azoto rūgšties gamybos linijoje.

Iš grafiko matome, kad norint gauti tą patį azoto rūgšties kiekį (27789 kg/h) patobulintoje azoto rūgšties gamybos linijoje reikia 483 kmol/h dujinio amoniako, o tai yra 20 kmol/h mažiau, nei gaminant azoto rūgštį su pusiausvyrinę oksidacijos kolona ir mažiau aušinant absorbcijos koloną. Perskaičiuojant į kg/h NH<sub>3</sub> reikės 340,7 kg/h mažiau gaminant tą patį azoto rūgšties kiekį.

### 4.3. Darbuotojų sauga ir sveikata

Šioje dalyje pateikiamos projektuojamos gamybos objekto charakteristikos, darbo sauga, profesinės rizikos vertinimas, darbo higiena bei gaisrinė sauga. Darbuotojų sauga ir sveikata – tai visos prevencinės priemonės, siekiant darbuotojų darbingumui ir sveikatai/gyvybei išsaugoti. Kiekvienam darbuotojui turi būti sudarytos saugios ir sveikos sąlygos darbe. Tai yra darbdavio pareiga. Darbuotojų saugą ir sveikatą reglamentuoja Darbo kodeksas, Darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas ir kiti įstatymai [22].

#### 4.3.1. Projektuojamo objekto charakteristika

Projektuojamas objektas – azoto rūgšties gamybos technologinės linijos pakeitimas sumontuojant Pt/Al katalizatorių į oksidacijos koloną 20. Gamyboje naudojami įrenginiai stovi cecho viduje, o pagrindinės kolonos – oksidacijos, balinimo ir absorbcijos, stovi lauke. Objekto paskirtis – gaminti nekoncentruotą azoto rūgštį iš amoniako pagal Ostwald'o amoniako oksidavimo procesą.

Ekspluotuojant azoto rūgšties gamybos agregatą susiduriama su šiais pagrindiniais pavojais:

- 1) Slėginiai aparatai ir komunikacijos, padidėjus slėgiui gali prarasti sandarumą ir iš jų ištekėti pavojingi skysčiai ar dujos, kurie gali užsidegti ar įvykti sprogimas.
- 2) Darbas su sprogiomis, degiomis, toksiškomis medžiagomis. Tos medžiagos yra: skystas ir dujinis amoniakas, azoto oksidai, azoto rūgštis, azoto – vandenilio mišinys.
- 3) Gali susidaryti sprogūs amoniako ir oro mišiniai.
- 4) Gali išsiskirti toksiškos dujos ir galimi apsinuodijimai.
- 5) Galimi terminiai ir cheminiai nudegimai dėl įvairios azoto rūgšties koncentracijos, garo ir kondensato, dėl karštų įrengimų paviršių ir dėl išsipylimų remontuojant ar imant mėginius.
- 6) Judančios mašinų ir mechanizmų dalys.
- 7) Darbas su elektros įrengimais.
- 8) Triukšmas

Azoto rūgšties gamybos proceso metu naudojamos pavojingos medžiagos:

- 1) Amoniakas ( $\text{NH}_3$ )
- 2) Azoto oksidai ( $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ).
- 3) Azoto rūgštis ( $\text{HNO}_3$ ).
- 4) DEHA (Dietilhidroksilamino vandeninis tirpalas).
- 5) Azotas ( $\text{N}_2$ ).

Pasinaudojus Lietuvos Respublikos Sveikatos apsaugos ministro įsakymu dėl sanitarinių apsaugos zonų ribų nustatymo ir režimo taisyklių patvirtinimo nustatyta, kad gaminant nekoncentruotą azoto rūgštį galima cheminės ir fizikinės taršos rūšis bei sanitarinės apsaugos zonos dydis yra 500 metrų [23].

### 4.3.2. Profesinės rizikos vertinimas

Profesinės rizikos vertinimo tikslas yra ištirti esamą ar galimą profesinę riziką bei numatyti prevencijos ir rizikos mažinimo priemones. Profesinės rizikos vertinimas vykdomas tokiais etapais: parengiamieji darbai, rizikos veiksnių tyrimas, rizikos dydžio nustatymas, sprendimas dėl rizikos priimtumo, rizikos pašalinimas ar sumažinimas, rizikos stebėjimas [24].

Atliekant profesinės rizikos vertinimą pirmiausia identifikuojami rizikos veiksniai ir pavojingos situacijos. Nustatyta, kad azoto rūgšties gamyboje galimi fiziniai, fizikiniai, cheminiai, ergonominiai veiksniai. Pagal identifikuotus rizikos veiksnius atliekama kiekybinė analizė. Rizikos veiksniai bei jų kiekybinė analizė pateikta 4.6 lentelėje.

**4.6 lentelė.** Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [24, 25, 26, 27].

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, 2 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 atsparūs apsauginiai akiniai, pirštinės, kostiumas, guminiai batai, filtruojanti dujokaukė
Azotas (N <sub>2</sub> )	Vamzdynai, technologiniai įrengimai	78 %	82 % koncentracija ore	Nuolat	Žarninės dujokaukės, suslėgto oro kvėpavimo aparatai
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
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
DEHA	Garų ir kondensato linijos ir įrengimai	-	-	Nuolat	Absauginiai 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

Pasinaudojus technologiniame procese naudojamų medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliais, nustatomi sprogimo ir gaisro pavojai, kurie gali įvykti patalpose ar lauke esančiuose įrenginiuose. Vertinant gamyboje naudojamą chemines medžiagas, vykstančius procesus ir sprogimo susidarymo galimybes, nustatoma patalpų kategorija pagal gaisro ir sprogimo pavojų.

**4.7 lentelė.** Pastatų ir išorinių įrengimų 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	-	-

Taip pat nustatomos naudojamų žaliavų, medžiagų bei gauto produkto gaisringumo, toksiškumo ir sprogo savybės, kurios pavaizduotos 4.8 lentelėje.

**4.8 lentelė.** Žaliavų, medžiagų, produkto gaisringumo, sprogo ir toksiškumo savybės

Žaliavų, medžiagų, produktų pavadinimas	Temperatūra °C			Mišinių su oru koncentracija sprogo metu (%)		Toksinė charakteristika (kenksmingumo klasė)	Ribinė leistina koncentracija gamybiniuose patalpuose darbo zonoje mg/m <sup>3</sup>	Apsaugos priemonės
	Pliūpsnio	Užsiliepsnojimo	Savaiminio užsiliepsnojimo					
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, apsauginiai akiniai, batai
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 drabužiai, pirštinės, batai
DEHA	80	-	-	-	-	4	-	Respiratoriai, akiniai arba veido skydelis, chemiškai atsparios guminės pirštinės, įprasti darbo drabužiai, guminiai batai. Plauti rankas su muilu prieš valgant, rūkant. Po darbo nusivilkti suteptus drabužius, avalynę ir kt.

### 4.3.3. Saugi gamyba

Darbdavys privalo kiekvienam darbuotojui užtikrinti saugias ir sveikas darbo sąlygas, nepriklausomai kokia veikla užsiėmė įmonė, kokia darbuotojo darbo sutartis, jo pilietybė, rasė, tautybė, politiniai ir religiniai įsitikinimai. Azoto rūgšties gamybos cechą priskiriamas tokiai darbo vietai, kuri yra susijusi su cheminių medžiagų ar jų preparatų naudojimu, todėl turi būti numatytos priemonės, kurios apsaugo darbuotojus nuo tų medžiagų žalingo poveikio. Gamyboje slypintys pavojai susiję ne tik su pavojingomis medžiagomis, bet ir su didelių gabaritų mašinomis, slėginiais aparatais ir vamzdynais bei elektros įrenginiais. Todėl darbuotojas privalo būti apmokytas saugiai valdyti procesą, instruktuojamas dėl saugaus darbo bei gaisrinės saugos [28].

Siekiant išvengti gamyboje slypinčio pavojaus susijusio su fiziniais rizikos veiksniais, privaloma laikytis šių reikalavimų: savarankiškai dirbti tik išsilaukus žinių patikrinimo egzaminą; išlaikyti technologinio režimo normas, technologinių įrengimų eksploatavimo reikalavimus; nuolat tikrinti aparatų bei vamzdynų sandarumą; indus, kuriems taikomos „Slėginių indų naudojimo taisyklės“ privaloma eksploatuoti laikantis šių taisyklių; pavojingose vietose turi būti sumontuoti ir sureguliuoti apsauginiai vožtuvai, priklausomai nuo atitinkamo slėgio; draudžiama eksploatuoti sugedusius ar išsihermetinusius aparatus; remontuojant slėginius aparatus ar vamzdynus privaloma įsitikinti, ar juose nėra slėgio; įrengimų ar vamzdynų drenavimui, prapūtimui ar mėginių paėmimui skirta armatūra turi būti sumontuota taip, kad neliktų rizikos pavojingai terpei tekėti darbuotojo link ar į viršų; darbuotojas vykdantis išflašavimo darbus privalo dėvėti visą kūną ir kvėpavimo takus



apsaugančias asmenines apsaugos priemones, priklausomai nuo esančios terpės remontuojamame vamzdyne ar aparate; visos judančios, besisukančios įrengimų dalys turi būti aptvertos; draudžiama remontuoti, valyti, tepti ir reguliuoti veikiančias mašinas; darbo vietos privalo būti tinkamai apšviestos, kontroliniai prietaisai privalo būti gerai matomoje vietoje bei tinkamai apšviesti; visi kėlimo mechanizmai turi turėti techninius pasus, taip pat ant jų turi būti pakabintos lentelės, kuriose užrašytas registracijos numeris, kėlimo galia, bandymo data; vamzdynai, kuriais teka azoto rūgštis turi turėti apsauginius gaubtus ant flanšinių sujungimų; visi įrengimai ir vamzdynai turi turėti apsaugas nuo el. krūvio ir antrinių žaibo apraiškų pagal „Chemijos, naftos-chemijos ir naftos perdirbimo pramonės apsaugos nuo statinio elektros krūvio taisyklės“; patalpose, kuriose yra galimybė susidaryti sprogiai ar degiai aplinkai, turi būti vykdoma patalpų esančių dujų sisteminė kontrolė. Amoniakas, azoto monoksido, azoto dioksido koncentracijoms neleisti viršyti IPRD; kilus gaisrui ar ištekėjus dideliame kiekiu amoniako, azoto rūgšties tuoj pat stabdomas cecho ar agregato veikimas; gamybinės ir buitinės patalpos turi turėti gaisrinį inventorių; prieš tiekiant skystą, dujinį amoniaką ir azoto-vandenilio mišinį, privaloma prapūsti juos azotu, kad deguonies koncentracija tuose vamzdynuose neviršytų 3 %; ypatingas dėmesys turi būti skirtas eksploatuojant maišytuvą 4, kontaktinius aparatus 6A (B, C, D) dėl galimos išankstinės amoniako reakcijos ant aparatų sienelių joms įkaitus. Sienelės gali suirti ir ceche susidaryti pavojingos amoniako koncentracijos, išsiskirti kenksmingos azoto oksidų koncentracijos; azoto-vandenilio tiekimo linijoje neleisti susidaryti nitritinėms druskoms. Jų skilimas gali sukelti sprogimus, kurie išsandarina kontaktinį aparatą.

Tam, kad būtų užtikrintas saugus procesas, turi būti taikomos šios priemonės: vamzdynai, kuriais tiekiamas amoniakas į maišytuvus 4 ir 11 turi sumontuotus kirstuvus; vamzdynai, aparatai, kontroliniai matavimo ir automatikos prietaisai įžeminti; azoto-vandenilio linijose, kuriose gali kauptis pavojingi nitritų druskų kiekiai, numatytas vamzdyno išsandarinimas; prapūtimui skirtas azotas tiekiamas per lanksčias žarnas, įstatant ventilius ir atbulinius vožtuvus tam, kad į prapūtimo vamzdynus nepatektų sprogios dujos; amoniako išgarintuvas 3, prapūtimų išgarintuvas 3-1 ir amoniako pašildytuvas 2 yra apsaugoti apsauginiais vožtuvais tam, kad netikėtai pakilus slėgiui nesuirtų aparatų sienelės; izoliuotos karštos vamzdynų ir aparatų vietos; judančios ir besisukančios aparatų dalys turi apsaugas; visi rūgštis vamzdynų flanšai turi apsauginius gaubtus; sumontuotas specialus avarinis dušas tam, kad darbuotojas galėtų nusiplauti ant jo patekusį amoniaką ar azoto rūgštį.

#### **4.3.4. Elektroauga**

Vienas iš pavojingiausių faktorių dirbant pramonėje yra elektros srovės poveikis žmogui. Pavojai gali būti skirstomi į pirminį ir antrinį. Pirminis – tai tiesioginis elektros srovės poveikis žmogaus kūnui. Antrinis – elektros lanko išlydžio sukeliama labai aukšta temperatūra. Svarbu paminėti, kad daugelis nelaimingų atsitikimų, susijusių su elektros srovės poveikiu žmogui, baigiasi mirtimi. Todėl labai svarbu įmonėje užtikrinti elektroaugą. Elektros srovės poveikis juntamas iš kart. Žmogus jaučia jau 0,5 -1,5 mA elektros srovę, 10 – 15 mA sukelia raumenų spazmą, 20 – 25 mA gali paraližuoti rankas, sukelti skausmus sąnariuose, o 90 – 100 mA sukelia staigią mirtį. Taip pat svarbu žinoti tai, kad esant aukštai įtampai, nebūtina prisiliesti prie elektros srovę turinčių įrenginių. Pavojus atsiranda priartėjus arčiau nei saugus atstumas [35].

#### 4.9 lentelė. Saugus atstumas nuo 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

Eksploatuojant elektros įrenginius būtina apsaugoti žmogų nuo pavojingų elektros srovės, elektros lanko, statinės elektros poveikių. Tai galima atlikti panaudojus apsaugos nuo elektros priemones, pažeminant įtampą, panaudojant skiriamuosius transformatorius, kurių antrinė apvija elektriškai atskirta nuo pirminės, panaudojant sustiprintą izoliaciją, įžeminant ar įnulinant elektros įrenginių korpusus, kontroliuojant įtampą ir srovę, panaudojus garsinę signalizaciją, apsaugai skirtus įtaisus, signalines spalvas ir ženklus, atjungiant įtampą.

Įžeminti ar įnulinti būtina visus 400 V ir aukštesnės įtampos kintamosios srovės ir 440 V ar aukštesnės įtampos nuolatinės elektros srovės įrenginius. Taip pat aukštesnės nei 50 V kintamosios ir 75 V nuolatinės elektros srovės įrenginius jei jie yra pavojingose ar labai pavojingose patalpose, taip pat lauke esančius įrenginius. Iki 50 V kintamosios ir 75 V nuolatinės srovės įrenginius įžeminti reikia tik jei jie yra sprogimui pavojingose zonose, suvirinimo įrenginius ir kontrolinius, galios kabelius [35].

#### 4.3.5. Darbo higiena

Darbo higiena nagrinėja darbo aplinkoje esančius kenksmingus veiksnius ir kokią įtaką jie daro sveikatai. Nustatomi bei įvertinami tokie rizikos veiksniai kaip: kenksmingos medžiagos, sprogimo pavojų sukeliančios medžiagos, biologinės medžiagos, rizikos veiksniai atsirandantys dėl fizikinių pakitimų pvz., šiluminė aplinka, apšvietimas, įvairios spinduliuotės, elektros srovė. Darbo higienos tikslas yra sukurti darbuotojams sveikas darbo sąlygas ir apsaugoti juos nuo įvairių profesinių ligų.

Darbo aplinkoje esančios cheminės medžiagos gali įvairiais būdais paveikti darbuotoją: įkvėpus, valgant su maistu, su vandeniu, per odą. Ribiniai dydžiai yra nustatomi tokie, kad darbo aplinkoje darbuotojas nepatirtų jokio šių medžiagų poveikio sveikatai. Taip pat turi būti stengiamasi užterštas aplinkos oras būtų kuo švaresnis, t.y. tų medžiagų koncentracijos būtų kuo mažesnės net ir tais atvejais, kai tie dydžiai neviršytų nustatytų ribinių dydžių. Tai labai svarbu tais atvejais, kai darbuotoją vienu metu veikia kelios cheminės medžiagos arba joms veikiant jis dirba sunku fizinį darbą [29].

Azoto rūgšties gamybos metu naudojamos tokios kenksmingos cheminės medžiagos:

**Amoniakas** (CAS 7664-41-7). Skystos arba dujinės fazės medžiaga. Normaliomis sąlygomis aštraus kvapo, degios ir su oru sprogius mišinius sudarančios dujos. Sprogumo riba yra 15 – 28 tūrio % ore.  $IPRD \leq 14 \text{ mg/m}^3$ ,  $TPRD \leq 36 \text{ mg/m}^3$ . Amoniakas daugiausia dirgina viršutinius kvėpavimo takus, didesnėmis koncentracijomis veikia centrinę nervų sistemą ir gali sukelti traukulius. Nuo

didesnių koncentracijų gali dusinti, ašaroti akys, prasidėti kosulio priepuoliai, galvos skausmas, pykinimas. Skystas amoniakas patekęs ant odos, ją chemiškai nudegina ir nušaldo. Patekęs į akis gali apakinti. Naudojamos individualios apsaugos priemonės yra: chemiškai atsparūs hermetiniai apsauginiai akiniai, skydeliai, chemiškai atsparios nuo šalčio apsaugančios pirštinės, filtruojanti dujokaukė, chemiškai atsparus kostiumas ir guminiai batai.

**Azotas (N<sub>2</sub>).** Bekvapės, bespalvės inertinės dujos. Lydimosi temperatūra -210 °C, virimo temperatūra -196 °C. Dujinis azotas naudojamas inertinės aplinkos sudarymui kur yra lengvai oksiduojamos medžiagos, su azotu nesaveikaujantys karšti metalai apdirbimo procesuose ir kitiems techniniams tikslams. Azotas ore sudaro 78 tūrio %. Padidėjant azoto koncentracijai ore, sumažėja deguonies kiekis ir kai deguonies lieka mažiau nei 18 %, toks oras tampa pavojingas žmogui. Oro su sumažėjusiu deguonies kiekiu įkvėpimas gali būti sąmonės praradimo priežastimi. Įkvėpus, žmogus nejaučia, kad ore yra sumažėjusi deguonies koncentracija. Didžiausia tikimybė padidėti azoto koncentracijai ore yra tose vietose kur technologiniai indai, vamzdynai yra prapučiami azotu, kuris išleidžiamas per atvirus dangčius. Apsaugos priemonės: žarninės dujokaukės, suslėgto oro kvėpavimo aparatai.

**Azoto oksidai (NO<sub>x</sub>).** Normaliomis sąlygomis gelsvai rudos spalvos dujos. Spalva tamsėja didėjant azoto oksidų koncentracijai. Dujos nedegios, nesprogios. Azoto oksido IPRD ≤30 mg/m<sup>3</sup>, TPRD ≤ 60 mg/m<sup>3</sup>. Azoto dioksido IPRD ≤ 4 mg/m<sup>3</sup>, NRD ≤ 10 mg/m<sup>3</sup>. Poveikis organizmui kinta priklausomai nuo įvairių azoto oksidų kiekio mišinyje. Azoto oksidams patekus į kvėpavimo takus ir susilietus su ant paviršiaus esančia drėgme, sudaro azoto rūgštį, kuri sukelia plaučių edemą. Taip pat, apsinuodijus azoto oksidais kraujyje susidaro nitritai ir nitratai, kurie išplečia kraujagysles ir mažina kraujospūdį.

**Azoto rūgštis (CAS 7697-37-2).** Tai bespalvis ore garuojantis skystis. Ore sudaro labai toksišką azoto oksidą, o drėgnoje aplinkoje – vėl virsta į azoto rūgštį. TPRD ≤ 2,6 mg/m<sup>3</sup>. Rūgštis gerai tirpsta vandenyje, yra stiprus oksidatorius, ardo organines medžiagas, gali sukelti rūbų, medžių gaisrą. Pakenkimas žmogui nutinka dėl tiesioginio kontakto su oda ir gleivine ir pasireiškia stipriu deginančiu poveikiu, o sunkiais atvejais gali būti nudegiminis šokas. Labai pavojinga akims. Įkvėpus atsiranda kvėpavimo takų ir plaučių audinio sudirginimo reiškiniai, gali išsivystyti plaučių edema. Esant labai didelėms koncentracijoms gali įvykti refleksinis kvėpavimo sustojimas. Apsaugos priemonės: Apsauginiai akiniai, dujokaukės su filtrais. Jei dujokaukių nėra – vatos-marlės kaukė arba rankšluostis, sudrėkinti 2 % geriamosios sodos tirpalui.

**DEHA (Dietilhidroksiamino vandeninis tirpalas).** Naudojamas kaip garo katilų, kondensato linijų korozijos ir nuovirų inhibitorius, skirtas vandens apdirbimui. Bespalvis arba gelsvas silpno kvapo skystis. Pliūpsnio temperatūra 80 °C, užšalimo temperatūra -2 °C. Labai degus skystis ir garai. Dirgina odą, akis ir kvėpavimo takus. Laikyti kuo toliau nuo šilumos, atviros liepsnos šaltinių. Apsaugos priemonės: apsauginės pirštinės, apsauginiai drabužiai, apsauginiai akiniai.

#### 4.3.6. Gaisrinė sauga

Azoto rūgšties gamybos metu galimi skysčių ir dujų gaisro pavojai. Siekiant išvengti gaisro ceche turi būti užtikrintos gaisrinės saugos priemonės, tokios kaip: gaisro aptikimo ir signalizavimo sistemos, gaisriniai hidrantai, gaisriniai čiaupai, gesintuvai. Kiekvienas darbuotojas privalo žinoti gaisrinės saugos instrukcijų reikalavimus, laikytis nustatyto gaisrinio režimo darbo vietoje, naudotis

tik tvarkingais darbo įrankiais, prietaisais ir įrengimais, žinoti laikomų, naudojamų ir susidarančių medžiagų pagrindines pavojingumo charakteristikas, baigus darbą sutvarkyti darbo vietą ir išjungti elektrinius prietaisus, mokėti naudotis ceche naudojamomis gesinimo priemonėmis, vengti ir nesudaryti sąlygų atsirasti gaisrui [30].

Gesintuvai skirstomi pagal gesinimo medžiagos tipą į šias kategorijas:

I kategorija – vandens gesintuvai (pripildyti vandens, vandens su priedais ar vandens ir putų mišinio).

II kategorija – miltelių gesintuvai.

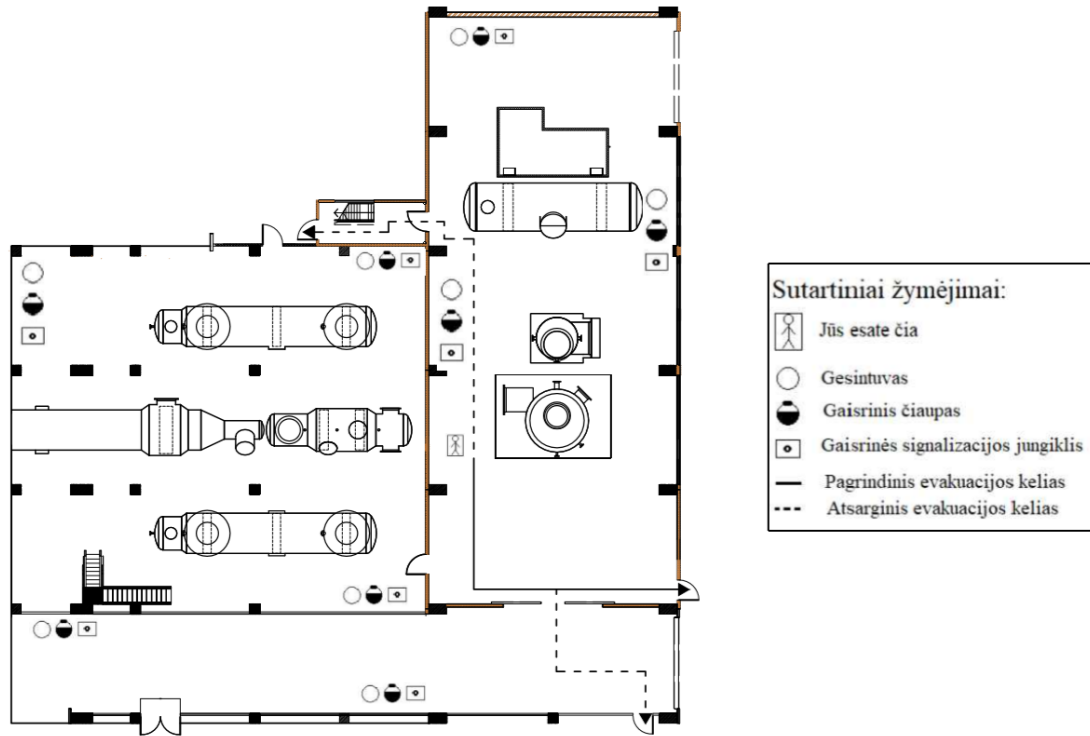
III kategorija – anglies dioksido gesintuvai.

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 imtis saugos priemonių dirbant su gesintuvais. Jis privalo susipažinti su gesintuvo naudojimo instrukcija ir gesinti tik tas medžiagas, kurių gesinimui jie yra skirti. Elektros įrenginius su putų gesintuvais gesinti yra draudžiama. Taip pat naudojantis putų gesintuvais reikia stengtis, kad tirpalas nepatektų ant atvirų kūno dalių, ypač akių. Naudojantis miltelių gesintuvais reikia dirbti pavėjui ir kai kuriais atvejais naudotis respiratoriais. Angliarūgštės gesintuvai naudojami labai atšala, todėl reikia naudotis apsauginėmis pirštinėmis.

Gesintuvų skaičius nustatomas pagal pastatų gaisringumo ir sprogumo kategoriją. Šiuo atveju 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. Absorbcijos skyriuje, siurblinėje ir lauko aikštelėje turi būti ne mažiau dviejų 4 kg ir vienas 6 kg nešiojamieji gesintuvai [34].

Gaisrinei saugai užtikrinti taip pat labai svarbus yra ir žmonių evakuacijos planas. Kiekviename pastato aukšte turi būti įrengti bent 2 evakuaciniai išėjimai, kurie turi būti laisvi, parengti žmonėms evakuoti bet kuriuo metu. Žmonių evakuavimo planas turi būti pakabinamas kiekviename pastato aukšte gerai matomose vietose. Pagrindinis evakuavimo kelias turi būti pažymėtas ištisine linija, o atsarginis – punktyrine. Pagrindinį evakuacijos kelią reikia nurodyti per laiptines apsaugotas nuo dūmų ir vedančias į pastato pirmą aukštą. Su evakuavimo planu turi būti supažindinti visi darbuotojai [30].



4.5 pav. Pirmo aukšto evakuacijos planas

## 4.4. Aplinkosauginis vertinimas

### 4.4.1. Bendrieji duomenys

Šiomis dienomis vis aktualesnė tema tampa aplinkos apsauga. Mažėjant ozono sluoksniui, žūstant kai kurioms gyvūnų rūšims, didėjant aplinkos taršai vis daugiau kalbama apie šių procesų sulėtinimą ar mažinimą. Taip pat labai svarbu paminėti ir neatsinaujinančių gamtos išteklių mažėjimą. Kadangi ateityje gali tiesiog nebelikti tam tikrų žaliavų ir energijos šaltinių, reikia kuo protingiau ir kuo taupiau išnaudoti turimus resursus bei pagalvoti ir apie ateities kartas, kurios taip pat turės gyventi šioje planetoje.

Tam, kad taip padaryti, atliekamas kiekvienos ūkinės veiklos galimo poveikio aplinkai vertinimas. Azoto rūgšties gamybos metu naudojamos žaliavos ir išsiskiriantys produktai yra žmogui ir aplinkai taršios medžiagos, tokios kaip amoniakas, azoto oksidai, azoto rūgštis, pavojingos atliekos ir nuotekos.

Siekiant išvengti šių medžiagų patekimo į aplinką visi ėsdinančių ir oksiduojančių medžiagų gamybai ir transportavimui skirti įrengimai ir vamzdynai yra pagaminti iš nerūdijančio plieno. Taip pat panaudotas aukščiausios klasės sandarinimo būdas – panaudota pirmos klasės sandarumo armatūra, vamzdynų sujungimai yra „flanšinio“ tipo. Azoto rūgšties drenažai ir avarijų metu galimi išsipykimai surenkami drenažiniuose bakuose, iš kurių jie tiekiami į rūgšties talpyklas.

Amoniako oksidavimo metu į NO metu, lygiagrečiai vyksta ir šalutinė reakcija, kurios produktas yra azoto suboksidas (N<sub>2</sub>O). Tai yra šiltnamio efektą sukeliančios dujos. Todėl kontaktiniame aparate po pagrindiniu katalizatoriaus sluoksniu sumontuotas antrinis katalizatorius. Tai yra selektyvus N<sub>2</sub>O susidarymo mažinimui skirtas katalizatorius, kuris priverčia azoto suboksidą 830 – 860 °C temperatūroje skilti į molekulinį azotą ir deguonį. N<sub>2</sub>O išvalymo laipsnis apie 90 %. Lieka 150 – 200 ppm azoto suboksido, kurio kiekis nekinta tolimesniuose proceso etapuose.

Pavojingi absorbcijos kolonoje nesureagavę azoto oksidai pašalinami DeNOx valymo sistemoje. Liekamosios dujos, turinčios azoto oksidų, pašildomos iki ne mažiau kaip 203 °C ir sumaišomos su nedideliu kiekiu dujinio amoniako. Amoniakas reikalingas tam, kad reaguotų su azoto oksidais ir pagamintų N<sub>2</sub> ir H<sub>2</sub>O pagal reakcijas:



Vertinant šios ūkinės veiklos poveikį aplinkai, pirmiausia turi būti įvardintos naudojamos žaliavos bei energijos rūšys.

**4.10 lentelė.** Gamyboje naudojamos žaliavos ir energija

Žaliavos pavadinimas	Kiekis per metus
Amoniakas	69700 t
Atmosferos oras	1405 mln. t
Dalinai nudruskintas vanduo	98331 t
Energija	Kiekis per metus
Elektros energija	6275 MWh
4 MPa garai paleidimui	2050,2 GJ

**4.4.2. Išmetimai į orą**

Azoto rūgšties gamybos metu susidariusios dujos išvalomos ir išmetamos į aplinkos orą per kaminą. Prieš tai dujos turi būti išvalytos iki leistinų ribų.

**4.11 lentelė.** Tarša į aplinkos orą

Taršos šaltiniai	Teršalai	Leidžiama tarša		
		Mato vnt.	Maks.	Metinė, t/m
Kaminas	Azoto oksidai	g/s	2,688	76,6403
	Anglies monoksidas		0,0657	1,874
	Amoniakas		0,0399	1,1376
	Azoto suboksidas		8,16	232,66

**4.12 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

**4.13 lentelė.** Išmetamųjų dujų valymo įrenginiai.

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

Dujų valymui naudojamas DeNO<sub>x</sub> valymo įrenginys, kurio efektyvumas yra 90 %. Azoto oksidų, azoto suboksido, amoniako ir anglies monoksido išmetimai atliekami per kaminą, kuris suprojektuotas tokio aukščio, kad šalia esantiems cechams ir gyvenvietėms būtų kuo mažesnė tarša. Azoto oksidų emisijos kontrolė vykdoma panaudojant kokybiškiausius analizatorius, kurie sumontuoti liekamųjų dujų linijoje prieš išmetant per kaminą. Liekamosiose dujose teršalų kiekis neviršija leistino išmetimų kiekio.

Azoto rūgšties gamybos agregate galimi neatitiktiniai teršalų išmetimai į aplinkos orą paleidimo ir stabdymo metu. Šie išmetimai turi būti griežtai reguliuojami. Agregato leidimo metu teršalai gali būti išmetami į aplinkos orą ne ilgiau 2 valandų ir ne daugiau 4 kartų per metus. Agregato stabdymo metu teršalai gali būti išmetami ne ilgiau 8 valandų ir ne daugiau 4 kartų per metus.

#### 4.4.3. Atliekos

Azoto rūgšties gamyboje atliekos susidaro atidirbus katalizatoriams, tepalams, taip pat prižiūrint įrenginius, įrengimų patalpas, buitines patalpas, perkant įvairius materialius dalykus susidaro įvairios kartono ir plastiko atliekos. Atliekos rūšiuojamos ir kaupiamos ceche tam skirtose identifikuotose vietose bei taroje ceche ir perduodamos į atliekų saugojimo vietas arba atiduodamos atliekų tvarkytojams.

**4.14 lentelė.** Atliekos, atliekų tvarkymas.

Atliekos pavadinimas	Atliekos susidarymas	Agregatinis būvis	Susidarymo kiekis, t/m	Numatomi atliekų tvarkymo būdai
Panaudoti katalizatoriai	Atidirbto katalizatoriaus keitimas	Kieta	2,525	Saugojimas sandėliuose
Panaudoti tepalai	Tepalų keitimas	Skysta	1,2	Priduodamas saugojimui į tepalų sandėlį
Mišrios komunalinės atliekos	Buitinių patalpų valymas	-	100	Kaupimas, pridavimas atliekų tvarkytojams
Naftos produktais užterštos pašluostės	Įrenginių remontas ir priežiūra	-	1,5	Priduodamos į atliekų saugojimo aikštelę
Popierius ir kartonas	Materialių vertybių pirkimas	Kieta	1	Kaupimas, pridavimas atliekų tvarkytojams
Stiklas	Patalpų remontas ir priežiūra	Kieta	0,2	Saugojimas sandėliuose

Įvertinus azoto rūgšties gamybos poveikį aplinkai galime teigti, kad didžiausią žalą gamtai daro teršalų išmetimai į orą. Išvalytose dujose gausu aplinką teršiančių medžiagų ir nors ir atitinka ribines vertes, poveikį aplinkai galima būtų mažinti didinant absorbcijos kolonos efektyvumą. Tai padarius, būtų galima naudoti mažiau žaliavų, reikalingų gauti tam pačiam azoto rūgšties kiekiui. Taip pat vykstant efektyvesnei absorbcijai, dujinėje fazėje liktų mažiau azoto oksidų.



## 4.5. Statybiniai sprendimai

### 4.5.1. Bendroji dalis

Azoto rūgšties gamybos technologinė linija projektuojama AB „Achema“ įmonės teritorijoje. Gamykla įsikūrusi Jonalaukio kaime, Ruklos seniūnijoje. Įmonė įsikūrusi netoli Skarulių kaimo ir 6 km atstumu nuo Jonavos miesto. Visai šalia, vos už kelių šimtų metrų driekiasi magistralinis kelias A6 Kaunas – Daugpilis. Taip pat gamyklos teritorijoje nutiesti geležinkelio bėgiai. Įmonės lokacija tokia, kad būtų kuo lengviau vykdyti logistikos darbus. AB „Achema“ teritorijoje išasfaltuotos gatvės bei šaligatviai, kurie leidžia darbuotojams laisvai judėti tarp gamybinių cechų. Įmonės teritorijoje leidžiamas dviračių, autotransportas bei pėsčiųjų judėjimas.

Projektuojamojo objekto sklypas užima 62,9 a. Didžioji sklypo dalis yra išasfaltuota ir apželdinta veja, o sklypo ribas žymi šaligatviai. Į cechą galima patekti važiuojant gamyklos teritorijoje išasfaltuotomis gatvėmis, o pėstieji gali patekti eidami šaligatviais. Veja užima 2832 m<sup>2</sup> sklypo plotą, o plytelėmis grįsta danga – 444 m<sup>2</sup> plotą. Plytelėmis grįsta danga daugiausia padengti šaligatviai, taip pat netoli transformatorinės ir vartų esančiuose ploteliuose. Cecho pastatas kartu su lauke esančių įrengimų aikšte bendrai užima 1494 m<sup>2</sup> plotą. Gamybiniame pastate yra 2 aukštai, tačiau laiptais ir kopėčiomis galima pasiekti net ir aukščiau esančių įrengimų dalis. Pastato aukštis 28,9 metrai, o aukščiausio įrenginio – absorbcijos kolonos aukštis yra 35,5 metrai.

#### 4.15 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai.

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
1	<b>I. SKLYPAS</b> 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> m <sup>2</sup> vnt. m <sup>2</sup> m	62,9 1048 2832 už teritorijos ribų 444 500
2	<b>II. PASTATAI</b> 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

#### 4.5.2. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės linijos sprendimai

Azoto rūgšties gamybai skirta įranga patalpintina pastato viduje bei lauke. Pastatas užima 1048 m<sup>2</sup> plotą, kuriame įrengti beveik visi technologijai reikalingi įrengimai. Vidaus plotas išskirtas į kompresijos skyrių, kuriame patalpintas turboagregatas bei konversijos skyrių, kuriame patalpinti kontaktiniai aparatai ir garo gamybai skirti įrengimai. Lauko aikštelėje, kuri užima 446 m<sup>2</sup> plotą įrengtos aukštos kolonos bei kiti didelių gabaritų įrengimai. Visi technologiniai įrenginiai išdėstyti paliekant tokius tarpus tarp jų, kad netrukdytų darbuotojams patogiai eksploatuoti, aptarnauti, vykdyti remontus ar evakuotis.

Gamybinės paskirties pastatas yra sudarytas iš dviejų stačiakampių 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 – 9 metrai.

Pastato viduje įrengtos grindys, kurios sudarytos iš skystojo stiklo pasluoksnio bei rūgštimis atsparaus betono su skysto stiklo pagrindu. Ši grindų danga atspari labai agresyviai aplinkai. Dar viena šios dangos savybė yra išgarinti iš betono pagrindo į ją patekusią drėgmę, o tai užtikrina grindų ilgaamžiškumą. Pastato sienoms naudojama profiliuota skarda su rūgštimis atspariu padengimu. Išorinis sienų sluoksnis sustiprintas akrilo ir poliuretano dangomis. Stogo dangai naudojamos nedegios, garų ir oro nepraleidžiančios medžiagos. Stogo danga – bituminė. Saugos sumetimais ant stogo įrengtas parapetas.

Įrenginiai, kurie įrengti lauko aikštelėje yra:

- Absorbicijos kolona 29. Aukštis 35,5 m, skersmuo 5,4 m, tūris 84,2 m<sup>3</sup>. Kolonoje įrengtos 33 perforuotos lėkštės. Skylių skersmuo 3 mm. Konstrukcinė medžiaga – plienas 304 L. Statomas ant betoninių pamatų.
- Oksidavimo/prapūtimo kolona 20/21. 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.
- Amoniako išgarintuvas 2. Konstrukcinė medžiaga – plienas St.42. Apsauga nuo korozijos – dažymas. Aukštis 13,8 m, skersmuo 1,205 m, svoris 19,3 kg. Amoniako išgarintuvas yra vamzdinio tipo šilumokaitis, kuriame yra 1400 vamzdelių. Statomas ant metalinių atramų.
- Produkcinės rūgšties aušintuvas 27. Konstrukcinė medžiaga – plienas 304 L. Ilgis 6 m, skersmuo 0,75 m, svoris 8700 kg. Statomas ant metalinių atramų.
- Aušintuvas-kondensatorius 19. Konstrukcinė medžiaga – plienas 304 L. Aukštis 12,7 m, svoris 34000 kg. Statomas ant metalinių atramų.
- Nitrozinių dujų aušintuvas 25. Konstrukcinė medžiaga – plienas 304 L. Ilgis 15,7 m, skersmuo 1,53 m. Statomas ant metalinių atramų.

Sklypo teritorijoje esantys įrengimai pastatyti taip, kad tarp jų būtų išlaikytas bent 2 metrų atstumas tam, kad būtų palika vietos juos valdyti, aptarnauti, remontuoti. Į sklypą atvestos pagrindinės inžinerinės komunikacijų sistemos – vanduo, elektra, nuotekos, garai, technologinis oras.

## **4.6. Finsansiniai ir ekonominiai skaičiavimai**

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

Mokslininkai, inžinieriai, technologai kiekvieną dieną bando gerinti esamus produktus ar technologijas. Tačiau dažnai, net ir sukūrus pranašeni produktą, jo gamyba gali būti neefektyvi ekonominiu požiūriu. Projektuojamoji azoto rūgšties gamybos technologija taip pat turi būti įvertinta ekonomiškai, siekiant nustatyti, ar technologijos modernizavimas bus efektyvus ir skaičiuojant finansus.

Chemijos pramonė yra didelių įmonių rinka. Todėl kiekviena dirbanti įmonė turi nuolat tobulinti technologijas, įgyvendinti naujus procesus, taip išliekant konkurencinga rinkos atžvilgiu. Nebūtinai turi būti tobulinamas produktas. Dažnai bandoma pagerinti esamas technologijas bandant sutaupyti žaliavų, energijos ar įrangos kaštus. Pagaminus tą patį kiekį produkto pigiau, įmonė galėtų sutaupyti pinigus skirti gamybos plėtrai ar sumažinus savo parduodamo produkto kainą, taip pritraukiant daugiau klientų.

Ne paslaptis, kad egzistuoja ir tokie nekontroliuojami veiksniai, kurie sudaro išorinę rinkodaros aplinką ir taip gali keisti produkto kainą. Tokie veiksniai galėtų būti demografiniai, ekonominiai, technologiniai, gamtos, socialiniai, kultūriniai, politiniai. Tai yra dar viena priežastis įmonei stengtis nuolat tobulėti, analizuojant aplinkos veiksnius ir pritaikant juos savo naudai.

Modernizuojant azoto rūgšties gamybos technologiją analizuojami aplinkos veiksniai ir vertinami ekonominiai rodikliai prieš ir po technologinių pakeitimų. Pagrindinis modernizacijos tikslas – sumažinti gamybos kaštus, siekiant pagaminti daugiau produkto. Pritaikius inžinerinius sprendimus, buvo sudarytas medžiagų balansas ir išsiaiškinta, kad gaminant tą patį azoto rūgšties kiekį reiktų 340,7 kg/h mažiau amoniako. Tarptautinė amoniako kaina 2020 kovo mėnesio duomenimis yra 223 \$ už 1 toną arba 206 € už 1 toną [31].

### **4.6.2. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai**

Projekto finansavimo šaltiniai yra akcinis kapitalas ir paskolos.

Projekto investicijų skaičiavimas prasideda nuo ilgalaikio turto įsigijimui reikalingų kaštų skaičiavimo. Šiuo atveju tai būtų oksidavimo kolona, Pt/Al katalizatorius ir įranga papildomam aušinimui.

**4.16 lentelė.** Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	Tūkst. Eur	Struktūra	Tūkst. Eur
Ilgalaikiam turtui įsigyti, gamybos priemonėms	509,38	Akcininkų nuosavybė; akcinis kapitalas, rezervai	439,69
Įrengimo darbų kaštai	250	Paskolos	439,69
Kiti kaštai	120		
<b>Viso kaštų:</b>	<b>879,38</b>	<b>Viso šaltinių:</b>	<b>879,38</b>

Modernizacijos kaštai padengiami akciniu kapitalu ir paskolomis lygiomis dalimis. Paskolos suma yra 439,69 tūkst. Eur ir ji buvo paimta investiciniu kreditu su 4 % metinėmis palūkanomis.

**4.6.3. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas**

Šiame skyrelyje įvertinta rekonstrukcijai reikalingi įrenginiai ir jų vertė.

**4.17 lentelė.** Technologinių įrengimų vertė [32].

Įrenginio pavadinimas	Vertė, tūkst. eur
Pt/Al katalizatorius	4,38
Oksidavimo kolona	500
Įranga skirta papildomam aušinimui	5
<b>Viso:</b>	<b>509,38</b>

Technologijos rekonstrukcijai reikalinga oksidavimo kolona su katalizatoriaus montavimo vieta, Pt/Al katalizatorius ir papildomam aušinimui skirta įranga. Šios ilgalaikio turto vertės yra tik apytikslės.

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

4.18 lentelė. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinosios pajamos

Rodikliai	Gamybos įsisavinimo koeficientas	Gaminys, t/metus	Iš viso, tūkst. Eur
Prieš rekonstrukciją			
Produkcijos gamybos (pardavimo) apimtis brandos stadijoje, vnt.	1	239000	-
Gaminio kaina, Eur	240,28		
Gautinosios pajamos brandos stadijoje			57427
Po rekonstrukcijos			
Produkcijos gamybos (pardavimo) apimtis brandos stadijoje, vnt.	-	-	
Gaminio kaina, Eur	241,15		
Gautinosios pajamos brandos stadijoje	-	-	57634

Azoto rūgšties gamybos agregatas pagamina 239 tūkst. tonų 100 % -ės azoto rūgšties per metus brandos metais. Kadangi atlikę inžinerinius pakeitimus norime gauti tą patį kiekį azoto rūgšties, po rekonstrukcijos gaminio kaina beveik nesikeičia, tačiau parduodant tokį didelį kiekį produkto, gautinosios pajamos per metus padidėja apie 200 tūkst. eurų.

#### 4.6.5. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Kai žinome metinį produkcijos kiekį, galime apskaičiuoti žaliavų, medžiagų, darbo ir energijos poreikį planuojamam azoto rūgšties kiekiui gauti. Pirmiausia skaičiuojamos išlaidos pagrindinei žaliavai – amoniakui. Išlaidos kitoms žaliavoms – orui ir nudruskintam vandeniui, neskaičiuojamos, nes oras gaunamas iš aplinkos, o vanduo imamas iš šalia esančios Neries upės ir apdirbamas tame pačiame azoto rūgšties ceche.

4.19 lentelė. Išlaidos 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

Kaip matome iš 4.19 lentelės, amoniako kaštai metams sumažėja daugiau nei 1 mln. Eur atlikus azoto rūgšties gamybos technologijos rekonstrukciją.

Tiesioginės gamybos išlaidos pagrindinių darbininkų darbo užmokesčiui skaičiuojamas priimant, kad nepertraukiamos gamybos darbo imlumas yra 8760 val/metus. Darbuotojo valandinis atlyginimas – 8,7 Eur. Darbdavio atskaitymai nuo 2019 m. sausio 1 d. sudaro 1,79 % bendro darbo užmokesčio. Įmonėje dirba 16 tiesiogiai su gamyba susijusių žmonių, kurie išskirstyti į 4 pamainas po 4 darbininkus.

**4.20 lentelė.** Pagrindinių darbininkų 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
Prieš rekonstrukciją						
Amoniakas	239000	8760	16	8,7	304,85	5,46
Po rekonstrukcijos						
Amoniakas	239000	8760	16	8,7	304,85	5,46

Kadangi darbuotojams po rekonstrukcijos neatsirado jokio papildomo darbo, tai jų darbo užmokestis išlieka toks pats.

Elektros energija reikalinga technologinių siurblių varikliams, tepalo pašildytuvams, automatikos ir valdymo prietaisams ir kitiems įrengimams veikti.

**4.21 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
Prieš rekonstrukciją					
Įrengimų varikliai	706	8760	4329192	0,07	303
Po rekonstrukcijos					
Įrengimų varikliai	721	8760	4421172	0,07	309

Po rekonstrukcijos išlaidos elektros energijai per metus pakito 6 tūkst. Eur dėl papildomo 15 kW galingumo absorbcijos kolonos aušinimo siurblio.

Azoto rūgšties gamybos proceso tiesiogines išlaidas sudaro: žaliavos, pagrindinių darbininkų atlyginimai, elektros energija.

**4.6.6. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas**

Netiesioginiai gamybos kaštai – tai visos tiesiogiai su gamyba nesusijusios, bet sudarančios sąlygas įmonei veikti, pvz. Cecho meistrų, viršininkų, sandėlininkų, valytojų atlyginimai. Taip pat išlaidos medžiagoms ir amortizacijai. Paprastai netiesioginiai gamybos kaštai sudaro apie 60 % tiesioginių gamybos išlaidų, todėl šiame darbe taip ir priimta.

Kadangi atliekame rekonstrukciją, tai išlaidos nusidėvėjimui skaičiuojamos tik oksidavimo kolonai. Priimta, kad turto metinė likvidacinė vertė 8 %.

**4.22 lentelė. Pagrindinių priemonių nusidėvėjimas (amortizacija)**

Ilgalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, tūkst. Eur	Normatyvinė eksploataavimo trukmė	Nusidėvėjimo suma, tūkst. Eur metams	Likutinė vertė, tūkst. Eur
Oksidavimo kolona	500	20	23	40

Toliau visi duomenys išlaidoms surašomi į 4.23 lentelę.

**4.23 lentelė. Gamybos kaštai**

Kaštų rūšys	Gamybos kaštai, tūkst. Eur	
	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos
Pagrindinės medžiagos	27253	26149
Elektros energija	303	309
Pagrindinių darbininkų darbo užmokestis	304	304
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	5	5
Netiesioginės gamybos išlaidos	16723	16061
Viso gamybos kaštų	44596	42830
Produkcijos gamybos planas, tūkst. t/metus	239	239
Gaminio gamybinė savikaina, Eur	186,6	179,2

Iš 4.23 lentelės matome, kad pritaikius inžinerinius pakeitimus gamybos kaštai pagrindinėms medžiagoms atpigo labiausiai. Išlaidos elektros energijai nežymiai padidėjo dėl papildomo 15 kW siurblio absorbcijos kolonos aušinimui. Suskaičiavus visus gamybos kaštus matome, kad pagaminti 1 tonai azoto rūgšties kaina atpigo 7,4 eurai arba beveik 4 %.

**4.6.7. Veiklos kaštai**

Veiklos sąnaudos – tai išlaidos reklamai, logistikai, pagalbinėms medžiagoms, administracijos darbuotojų darbo užmokesčiui, elektros energijai, paslaugoms, komandiruotėms ir kitos veiklos. Veiklos sąnaudos paprastai sudaro 5 – 30 % nuo gamybinių kaštų. Priimame, kad šiuo atveju veiklos sąnaudos sudaro 15 % nuo gamybinių kaštų.

**4.24 lentelė. Veiklos sąnaudų paskirstymas**

Rodikliai	Suma, tūkst. Eur	
	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos
Veiklos sąnaudos	6689	6424
Pardavimo planas, tūkst. tonų	239	239
Gaminiui tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	27,99	26,88

Po rekonstrukcijos veiklos kaštai sumažėjo 265 tūkst. Eur.

#### 4.6.8. Finansinės ir investicinės sąnaudos

Įmonė, kurioje rekonstruojamas azoto rūgšties gamybos agregatas yra akcinė ir turi akcinį kapitalą. Pusę rekonstrukcijai reikalingos sumos įmonė skolinasi iš banko imdama investicinį kreditą. Metinė palūkanų norma yra 4 %, o paskolos grąžinimo būdas – linijinis. Paskolos suma: 439,69 tūkst. eurų.

#### 4.25 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas

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

#### 4.6.9. Gaminio kainos skaičiavimas

Apskaičiavus visas išlaidas nustatoma gaminio kaina.

#### 4.26 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	27,99	-	214,59	12	25,75	240,34
Po rekonstrukcijos							
Azoto rūgštis	179,21	26,88	0,07	206,16	17	35,05	241,21

Norimas gauti pelnas prieš rekonstrukciją parinktas 12 % nuo gaminio pilnosios savikainos, o po rekonstrukcijos 17 %. Pelno procentas padidintas siekiant išlaikyti tą pačią gaminio kainą.



#### 4.6.10. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai

4.27 lentelė. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai

Rodiklis	Suma, tūkst. Eur	
	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos
Pardavimų pajamos	57440	57648
Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	44596	42830
Bendras pelnas	12843	14818
Veiklos sąnaudos	6689	6424
Veiklos pelnas	6154	8394
Finansinė ir investicinės veiklos sąnaudos	-	17,59
Pelnas prieš apmokestinimą	6154	8376
Pelno mokestis (15 %)	923	1256
Grynasis pelnas	5231	7120

Po rekonstrukcijos gaunamas 7 mln. 120 tūkst. eurų grynasis pelnas ir tai yra beveik 2 mln. eurų daugiau nei pelnas prieš rekonstrukciją.

#### 4.6.11. Grynujų pinigų srautų ir pelno skaičiavimas rekonstrukcijos atveju

Šioje dalyje skaičiuojama kaip pasikeitė kaštai gaminiui pagaminti ir pelnas po azoto rūgšties gamybos technologijos rekonstrukcijos.

**4.28 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	27253,17	114,03	26148,99	109,41	-4,62
Kaštai pagalbinėms medžiagoms	16723,77	69,97	16061,26	67,20	-2,77
Energijos išlaidos	303,04	1,27	309,48	1,29	0,03
Amortizacinės išlaidos	0	0	40	0,17	0,17
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 apimtis, t	239000				
Gamybos apimtis projekte, t	239000				
Viso išlaidų ekonomija tonai azoto rūgšties (be amortizacijos), Eur/t	7,19				
Viso išlaidų ekonomija, tūkst. Eur	1720,25				

Užpildžius 4.28 lentelę buvo nustatyta, kad vienai tonai azoto rūgšties sutaupoma 7,19 eurų, o iš viso sutaupoma 1720 tūkst. Eur. Todėl galima teigti, kad azoto rūgšties gamybos rekonstrukcija yra pelninga.

**4.29 lentelė. Projekto grynųjų pinigų srautų skaičiavimas**

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	240,34	241,21	249,64	258,38	267,43	276,79
Pajamos, tūkst. Eur	57440,59	57648,40	59666,09	61754,41	63915,81	66152,86
Gamybinė savikaina, Eur/t	186,60	179,21	185,47	191,97	198,68	205,64
Gamybos kaštai, tūkst. Eur	44596,73	42830,03	44329,09	45880,61	47486,43	49148,46
Bendrasis pelnas, tūkst. Eur	12843,86	14818,36	15336,99	15873,78	16429,38	17004,40
Veiklos kaštai, tūkst. Eur	6689,51	6424,51	6649,36	6882,09	7122,96	7372,27
Veiklos pelnas, tūkst. Eur	6154,35	8393,85	8687,64	8991,70	9306,41	9632,14
Finansinės ir investicinės veiklos kaštai, tūkst. Eur	0	17,59	14,07	10,55	7,04	3,52
Pelnas prieš apmokestinimą, tūkst. Eur	6154,35	8376,26	8673,57	8981,15	9299,38	9628,62
Pelno mokestis, Eur	923,15	1256,43	1301,03	1347,17	1394,90	1444,29
Grynasis pelnas, Eur	5231,20	7119,82	7372,53	7633,98	7904,47	8184,33
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	7119,82	7372,53	7633,98	7904,47	8184,33
Nusidėvėjimas, tūkst. Eur	0	23,00	23,00	23,00	23,00	23,00
Projekto pagrindinės veiklos pinigų srautai, tūkst. Eur	0	-3564,69	7020,77	7269,10	7526,02	7791,82
Investicijos, tūkst. Eur	879,38	-	-	-	-	-
Likutinė vertė, tūkst. Eur	-	-	-	-	-	40,00

Atliekant skaičiavimus 4.29 lentelei užpildyti buvo priimta, kad pardavimo kaina, veiklos kaštai ir gamybinė savikaina kasmet didėja po 3,5 %. Įvertinus lentelės duomenis galima daryti išvadą, kad projektas neša pelną.

#### 4.6.12. Vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai

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

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

$W_{is}$  – skolinto kapitalo dalis;

$W_{pr}$  – nuosavo kapitalo dalis;

$K_{is}$  – skolinto kapitalo kaštai;

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

$K_{is}$  skaičiuojamas pagal formulę:

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

t – pelno mokesčio tarifas;

i – palūkanų norma.

Apskaičiuoti vidutiniai svertiniai kapitalo kaštai lygus 5,00 %.

#### 4.6.13. Diskontuoto investicijų atsipirkimo periodo skaičiavimas

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

**4.30 lentelė.** Diskontuoto investicijų atsipirkimo periodo skaičiavimas

Rodikliai	Metai					
	0	1	2	3	4	5
Projekto metiniai GPS, tūkst. Eur	-879,38	-3564,69	7020,77	7269,10	7526,02	7831,82
Suminis GPS, tūkst. Eur	-879,38	-4444,06	2576,70	9845,80	17371,82	25203,64
Diskontuotas GPS, tūkst. Eur	-879,38	-3394,94	6368,04	6279,32	6191,67	6136,44
Suminis diskontuotas GPS, tūkst. Eur	-879,38	-4232,44	2337,15	8505,17	14291,84	19747,71

Atsipirkimo laikas buvo apskaičiuotas naudojant 4.30 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.

Atsipirkimo laikas yra 1,62 metai. Galima daryti išvadą, kad projektas visai greitai atsiperka ir yra priimtinas.

#### 4.6.14. Vidinės pelno normos skaičiavimas

Vidinė pelno norma yra projekto būsimųjų grynujų pinigų įplaukų dabartinės vertės lyginimas su projekto būsimųjų išlaidų dabartine verte. Ji buvo skaičiuota panaudojus Microsoft Excel funkciją IRR ir buvo gauta 125 %. Lyginant su vidutiniais svertiniais kapitalo kaštais, kurių vertė yra 5 %, galima teigti, kad rekonstrukcijai skirtos investicijos buvo panaudotos naudingai.

#### 4.6.15. Pelningumo indekso skaičiavimas

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

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

$$\sum_{t=1}^n \frac{GPS_t}{(1+KK)^t} - \text{diskontuotų GPS suma, pradedant pirmaisiais metais;}$$

$GPS_0$  - nulinių metų GPS.

$$PI = 24,54.$$

#### 4.6.16. Lūžio taško skaičiavimas

Lūžio taškas – tai tokia gamybos apimtis, kai bendrosios projekto pajamos tampa lygios bendriems gamybos kaštams, t.y. pelnas tampa lygus 0. Apskaičiuotą lūžio tašką buvo nustatytas reikalingas pagaminti ir parduoti produkcijos kiekis, kad įmonė taptų pelninga.

#### 4.31 lentelė. Lūžio taško skaičiavimas

Rodikliai	Azoto rūgštis
Pastoviųjų kaštų suma, Eur	879377
Gaminio kaina, Eur	241,21
Gaminio kintamieji kaštai, Eur	179,21
Lūžio taškas, t	14183
Pardavimų planas, t	239000

Apskaičiuotą lūžio tašką nustatyta, kad atlikus azoto rūgšties gamybos technologijos rekonstrukciją, veikla vėl taps pelninga pardavus 14183 tonas azoto rūgšties.

#### 4.6.17. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

4.32 lentelė. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

Rodiklis	Prieš rekonstrukciją	Po rekonstrukcijos	Pokytis
Produkcijos pardavimo apimtis, tonomis	239000	239000	0
Pardavimų pajamos, tūkst. Eur	57440	57648	207,81
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	44596	42830	1766
Gaminio pilnoji savikaina, Eur/t	214,59	206,16	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, %	12,00	17,01	5,01
Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas	-	1,62	1,62
Projekto grynoji esamoji vertė, tūkst. Eur	-	19747	19747
Kapitalo kaštai, %	-	5,00	5,00
Vidinė pelno norma, %	-	124,58	124,58
Pelningumo indeksas	-	24,54	24,54

Atlikus azoto rūgšties gamybos technologijos rekonstrukcijos finansinį ir ekonominį vertinimą, nustatyta, kad rekonstrukcijai atlikti reikia investuoti 879,38 tūkst. eurų. Investicijos atsipirks po 1,62 metų, o veikla taps pelninga pardavus 14183 tonas azoto rūgšties. Atlikus rekonstrukciją, pagaminti 1 toną azoto rūgšties tampa 8,43 eurai pigiau, o grynasis pelnas, įvykdžius pardavimų planus, gaunamas 1,89 mln. eurų daugiau nei prieš rekonstrukciją. Todėl galima daryti išvadą, kad ši rekonstrukcija yra ekonomiškai efektyvi.

## IŠVADOS

1. Tiriamojoje dalyje buvo atlikti medžiagų balansai, kai skiriasi azoto rūgšties gamybos metu vykstančių reakcijų konversijos laipsniai. Apskaičiuota, kad padidėjus NO oksidavimo laipsniui nuo 96 iki 100 % ir absorbcijos laipsniui nuo 98 iki 99 % panaudojus tą patį žaliavų kiekį buvo gauta 3,2 % daugiau grynos azoto rūgšties. Taip pat sumažėjo nesureagavusių azoto oksidų kiekis.
2. Buvo aprašyta dviejų slėgių „GP“ azoto rūgšties gamybos technologija. Jos schema buvo sumodeliuota panaudojus Aspen HYSYS programinę įrangą. Atlikus kelis technologinius pakeitimus buvo nustatyta, kad panaudojus Pt/Al katalizatorių NO oksidavimo reakcijai vykti ir padidinus absorbcijos kolonos aušinimą gaunama didesnė produkto koncentracija. Iš gautų duomenų buvo nubrežtas grafikas ir nustatyta, kad, kad gauti 27789 kg/h grynos azoto rūgšties reikia 340 kg/h mažiau amoniako pritaikius inžinerinius pakeitimus.
3. Identifikuoti pavojai darbininkams azoto rūgšties gamybos metu ir pasiūlytos prevencinės priemonės nelaimėms užkirsti. Aprašytos instrukcijos kaip sukurti darbuotojams saugią aplinką, kaip elgtis avarinėse situacijose, kaip atpažinti pavojingas medžiagas.
4. Atliktas aplinkosauginis azoto rūgšties gamybos agregato vertinimas ir nustatyta, kad didžiausią žalą gamtai daro išmetimai į aplinkos orą. Daugiausia teršalų sudaro azoto oksidai ir azoto suboksidai. Taip pat numatytos galimos atliekos ir jų tvarkymo būdai.
5. Atliktas statybinis vertinimas. Nustatyta vieta, kurioje bus statomas azoto rūgšties gamybos cechas. Nubrėžti brėžiniai: pirmo aukšto planas, pastato pjūviai ir sklypo planas. Pastato bendras plotas 1494 m<sup>2</sup>, aukščiausia vieta 28,9 m, sklypo plotas 62,9 m<sup>2</sup>.
6. Azoto rūgšties gamybos technologinės linijos rekonstrukcija įvertinta finansiniu ir ekonominiu požiūriu. Skaičiavimai atlikti 239 tūkst. tonų per metus grynai azoto rūgščiai gauti. Apskaičiuota, kad veikla vėl taps pelninga pardavus 14183 t grynos azoto rūgšties, o investicijos atsipirks po 1,62 metų. Po rekonstrukcijos pagaminti vieną toną azoto rūgšties tampa 8,43 eurais pigiau, o metinis pelnas padidėja 1,89 mln. Eur.

## LITERATŪROS SĄRAŠAS

- [1] James E. House. (2020). Chapter 14 - Chemistry of nonmetallic elements II. Groups IVA and VA. In James E. House (Ed.), *Inorganic Chemistry (Third Edition)*, 517-582 [žiūrėta 2020-03-01]. Prieiga per internetą:  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814369-8.00014-5>
- [2] Clarke, S. I., Mazzafro, W. J. (2005). Nitric Acid. In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, (Ed.). [žiūrėta 2020-03-01]. Prieiga per internetą:  
doi:10.1002/0471238961.1409201803120118.a01.pub2
- [3] 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 2020-03-24]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1007/s11090-014-9573-x>
- [4] From fertile minds [interaktyvus] 2001 [žiūrėta 2020-03-24]. Prieiga per: <https://web.archive.org/web/20120702093415/http://www.americanscientist.org/bookshelf/pub/rom-fertile-minds>
- [5] Booklet No. 2 of 8: PRODUCTION OF NITRIC ACID. EFMA European Fertilizer Manufacturers' Association Ave. E van Nieuwenhuysse 4 B-1160 Brussels Belgium, 2000 [žiūrėta 2018-04-23]. Prieiga per: [www.fertilizerseurope.com/](http://www.fertilizerseurope.com/)
- [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 2020-03-28]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.03.035>
- [8] G. Ertl, H. Knozinger, J. Weitkamec (1997). 19 Part B: Chapter 2: Inorganic Reactions. *Handbook of Heterogeneous Catalysis*, 1697–1799 [žiūrėta 2020-03-28]. Prieiga per: <https://onlinelibrary.wiley.com/>
- [9] Anton Fadic Eulefi. Study of Nitrous Oxide Production in the Nitric Acid Process: daktaro disertacija. University of Alberta. Edmond, 2018.
- [10] Hatscher, S. T., Fetzer, T., Wagner, E. and Kneuper, H. Ammonia Oxidation. In *Handbook of Heterogeneous Catalysis*, 2008 [žiūrėta 2020-03-29]. Prieiga per: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9783527610044.hetc0130>
- [11] 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.
- [12] 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 2020-03-31]. Prieiga per: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a17\\_293](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a17_293)



- [13] Division, E. S., & Agency, U. S. E. P. (1991). Alternative Control Techniques Document — Nitric and Adipic Acid Manufacturing Plants (pp. 1–147). North Carolina 27711.
- [14] Hocking, Martin B. 11 - Ammonia, Nitric Acid and Their Derivatives, 2005 [žiūrėta 2020-04-02]. Prieiga per:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120887965500144>
- [15] Nitric acid plants [interaktyvus]. 2011 [žiūrėta 2020-04-03]. Prieiga per:  
[http://www.twintek.com/wp-content/uploads/7-3230-01\\_Nitric\\_Acid\\_Plants.pdf](http://www.twintek.com/wp-content/uploads/7-3230-01_Nitric_Acid_Plants.pdf)
- [16] Nitric acid industrial solutions [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2020-04-03]. Prieiga per:  
<https://www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/>
- [17] Understanding the 3 different nitric acid production processes [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2020-04-03]. Prieiga per: <https://www.phxequip.com/>
- [18] Harvin, R. L. Leray, D. G. Roudier, L. R. (1979). Single Pressure or Dual Pressure Nitric Acid: an Objective Comparison. 173-183 [žiūrėta 2020-04-03]. Prieiga per:  
<http://www.iffcokandla.in/data/proceedings/59741aiche-1978-1.2502145/t001-1.2502206/f001-1.2502207/a034-1.2502211.html>
- [19] Nitric Acid. In: Synthetic Nitrogen Products. Springer, Boston, MA. 2005 [žiūrėta 2020-04-20]. 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).
- [20] 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 2020-04-20] Prieiga per:  
<https://ebookcentral.proquest.com/lib/ktu-ebooks/detail.action?docID=938477>.
- [21] Carlos A. Grande, Kari Anne Andreassen, Jasmina H. Cavka, David Waller, Odd-Arne Lorentsen, Halvor Øien, Hans-Jörg Zander, Stephen Poulston, Sonia García, and Deena Modeshia. Process Intensification in Nitric Acid Plants by Catalytic Oxidation of Nitric Oxide In Industrial & Engineering Chemistry Research. 2018 [žiūrėta: 2020-04-05] Prieiga per internetą:  
DOI: 10.1021/acs.iecr.8b01483
- [22] Darbuotojų sauga ir sveikata [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-05-06]. Prieiga per:  
<https://socmin.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/darbo-rinka-uzimtumumas/darbuotoju-sauga-ir-sveikata>
- [23] Sanitarinių apsaugos zonų ribų nustatymo ir režimo taisyklės. Valstybės žinios, 2004, Nr.1344878.
- [24] Profesinės rizikos vertinimo bendrieji nuostatai. Valstybės žinios, 2012, Nr. 126-6350.
- [25] Slėginių indų naudojimo taisyklės. Valstybės žinios, 2002, Nr. 115-5165.
- [26] HN 98:2014. Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai. TAR, 2014, Nr. 5119
- [27] HN 33:2011. „Triukšmo ribiniai dydžiai gyvenamuosiuose ir visuomeninės paskirties pastatuose bei jų aplinkoje“. Valstybės žinios, 2011, Nr. 75-3638.
- [28] Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas. Valstybės žinios, 2003, Nr. 70-3170.

- [29] HN 23:2011. „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai. Valstybės žinios, 2011, Nr. 112-5274.
- [30] 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).
- [31] Latest FOB International Fertilizer Prices [interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2020-05-18]. Prieiga per: <https://africafertilizer.org/internationalprices/#tab-id-1>
- [32] Catalyst Platinum on alumina CAS 7440-06-4 [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2020-05-18]. Prieiga per: [www.alibaba.com](http://www.alibaba.com)
- [33] Azoto rūgšties cecho „GP – 2“ agregato technologinis reglamentas TR-122-40.
- [34] Bendrosios gaisrinės saugos taisyklės. Valstybės žinios, 2005, Nr. 26-852.
- [35] Saugos eksploatuojant elektros įrenginius taisyklės. Valstybės žinios, 2010, Nr. 39-1878

## **PRIEDAI**

1 priedas. Dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos technologinė schema. A1

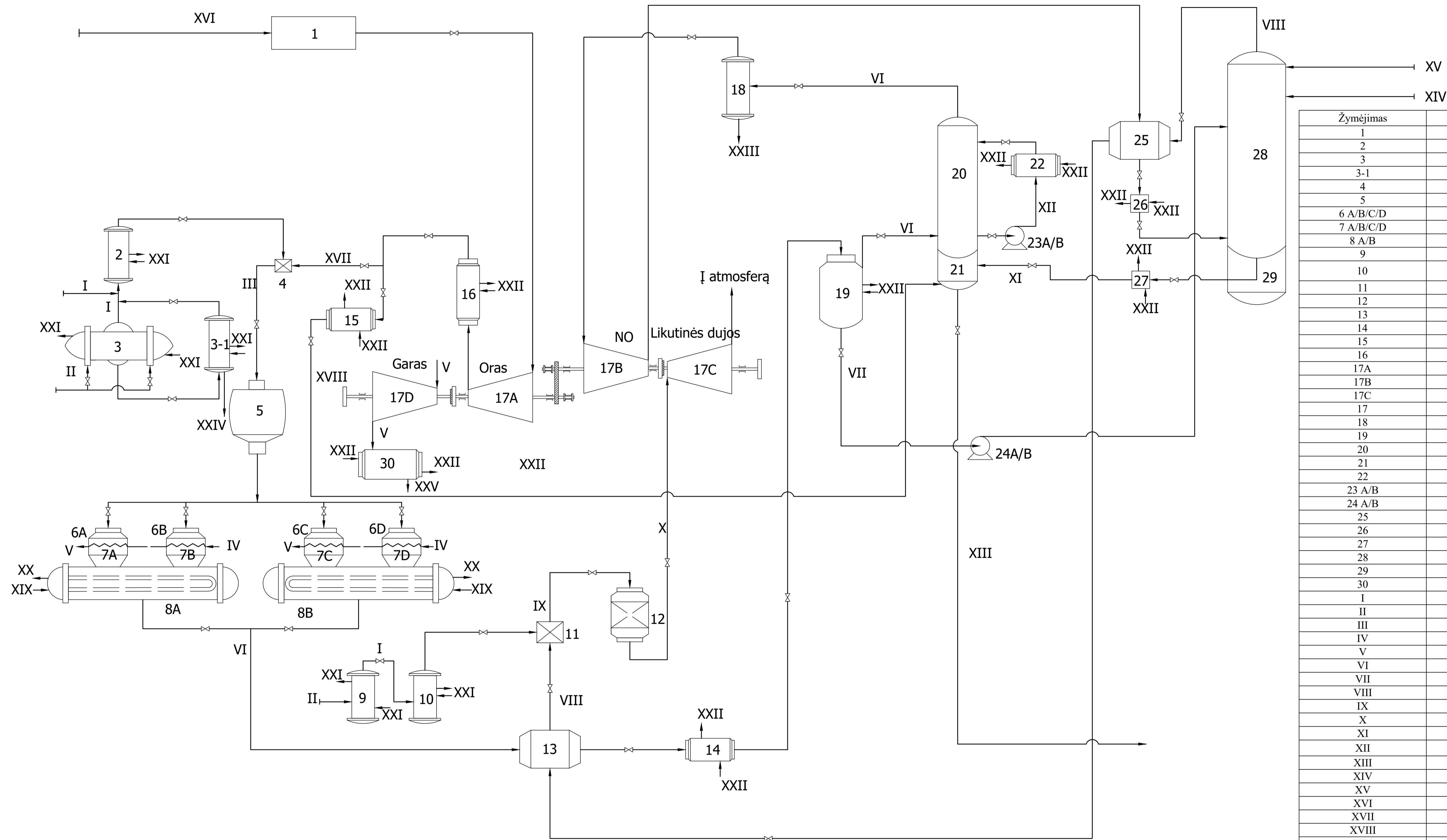
2 priedas. Kontaktinio aparato pjūvis iš priekio ir pjūvis iš viršaus. A1

3 priedas. Pirmo aukšto planas. A1

4 priedas. Pjūvis 1-1. A1

5 priedas. Pjūvis 2-2. A1

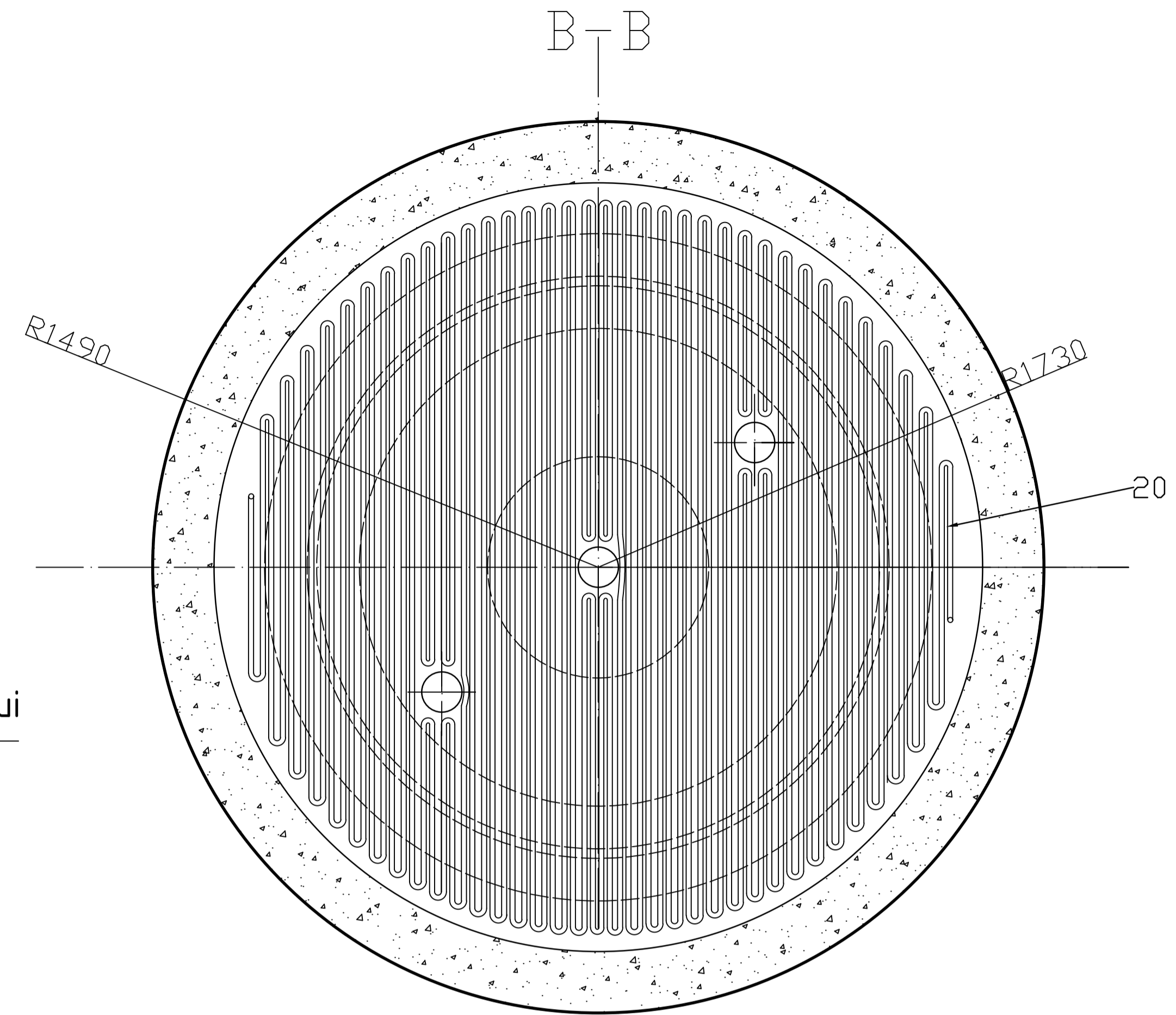
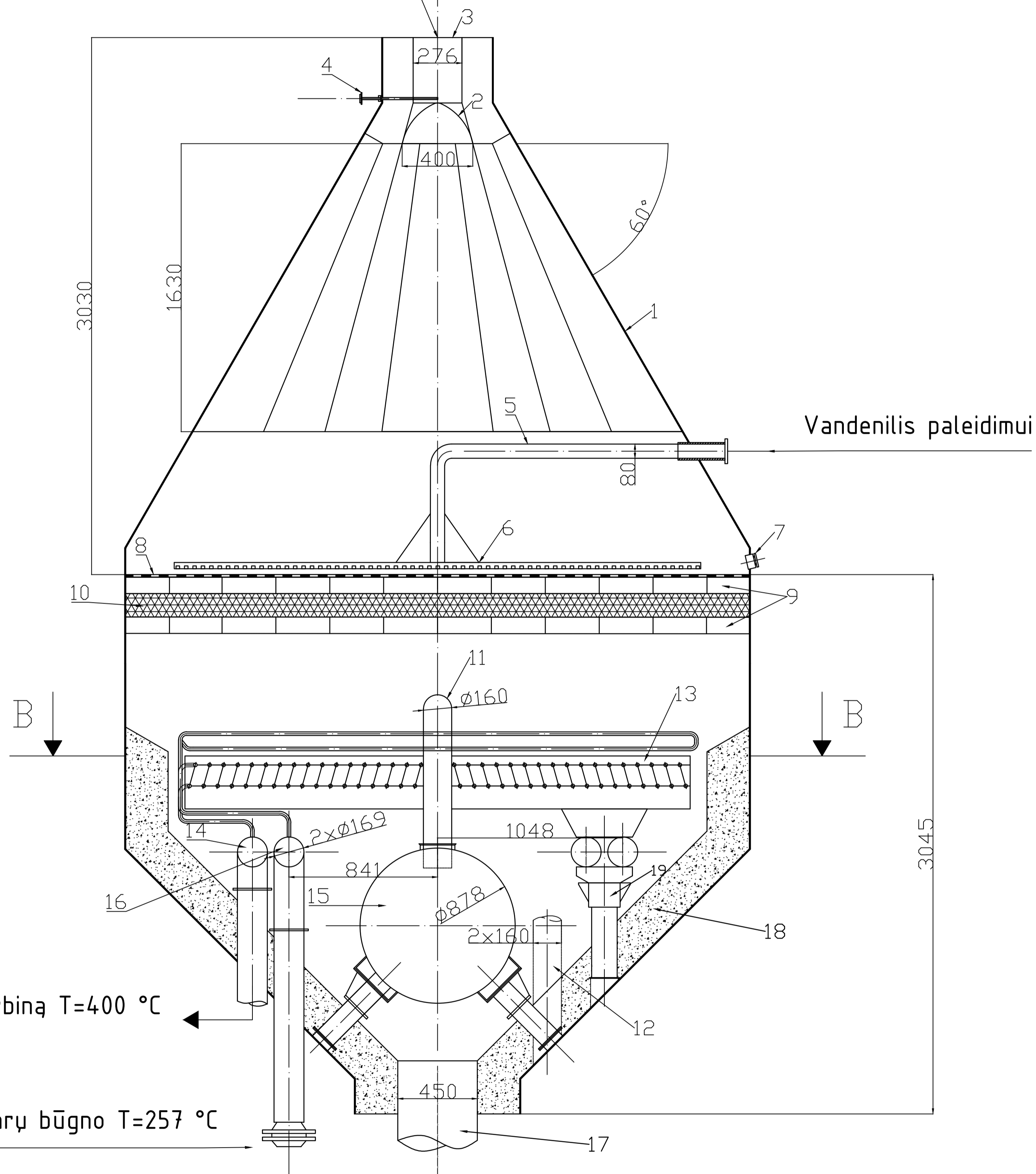
6 priedas. Azoto rūgšties cecho sklypo planas. A1



Žymėjimas	Pavadinimas
1	Oro filtras
2	NH3 pašildytuvas
3	NH3 išgarintuvas
3-1	NH3 prapūtimų bakas
4	Oro+NH3 sumaišytuvas
5	Oro-amoniako mišinio filtras
6 A/B/C/D	Kontaktinis aparatas
7 A/B/C/D	Garų perkaita
8 A/B	Garų katilas - utilizatorius
9	NH3 išgarintuvas
10	NH3 pašildytuvas
11	NH3 įpurškimo įrenginys
12	DeNOx reaktorius
13	NOx aušintuvas
14	Ekonomazeris
15	Antrinio oro aušintuvas
16	Oro aušintuvas
17A	Oro kompresorius
17B	NOx kompresorius
17C	Likutinių dujų turbina
17	Garų turbina
18	Separatorius
19	Aušintuvas - kondensatorius
20	Oksidacijos kolona
21	Balinimo kolona
22	Išorinis aušintuvas
23 A/B	Cirkuliacijos siurbliai
24 A/B	Silpnos rūgšties siurbliai
25	Likutinių dujų pašildytuvas
26	NOx aušintuvas
27	NOx aušintuvas
28	Absorbcijos kolona
29	Buferinė talpa
30	Garų turbinos kondensatorius
I	Dujinis amoniakas
II	Skystas amoniakas
III	Amoniako-oro mišinys
IV	Garai perkaitai
V	Perkaitintas garas
VI	Nitrozinės dujos
VII	Praskiesta azoto rūgštis
VIII	Likutinės dujos
IX	Amoniako ir likutinių dujų mišinys
X	Išvalytos likutinės dujos
XI	Azoto rūgštis po absorbcijos
XII	Azoto rūgštis oksidavimo kolonos laistymui
XIII	Produkcinė azoto rūgštis
XIV	Bazinis kondensatas
XV	Dalinai valytas vanduo
XVI	Atmosferos oras
XVII	Pirminis oras
XVIII	Antrinis oras
XIX	Katilų vanduo
XX	Garas
XXI	Garas pašildymui
XXII	Aušinantis vanduo
XXIII	Atskirti lašai
XXIV	Vandens/tepalo emulsija
XXV	Garų kondensatas

Grupė	KTU			Magistro baigiamasis darbas
	Cheminės technologijos fakultetas			
	TMC-8	Studentas	A. Višinskas	
		Vadovas	A. Jaskūnas	
	Konsultantas	A. Jaskūnas	Azoto rūgšties gamybos agregato technologinis vertinimas	
	Recenzentas	S. Kitrys		
			Dviejų slėgių azoto rūgšties gamybos technologinė schema	Laida
MBD	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra			2020-MBD-FNC
				Lapai
				1 6

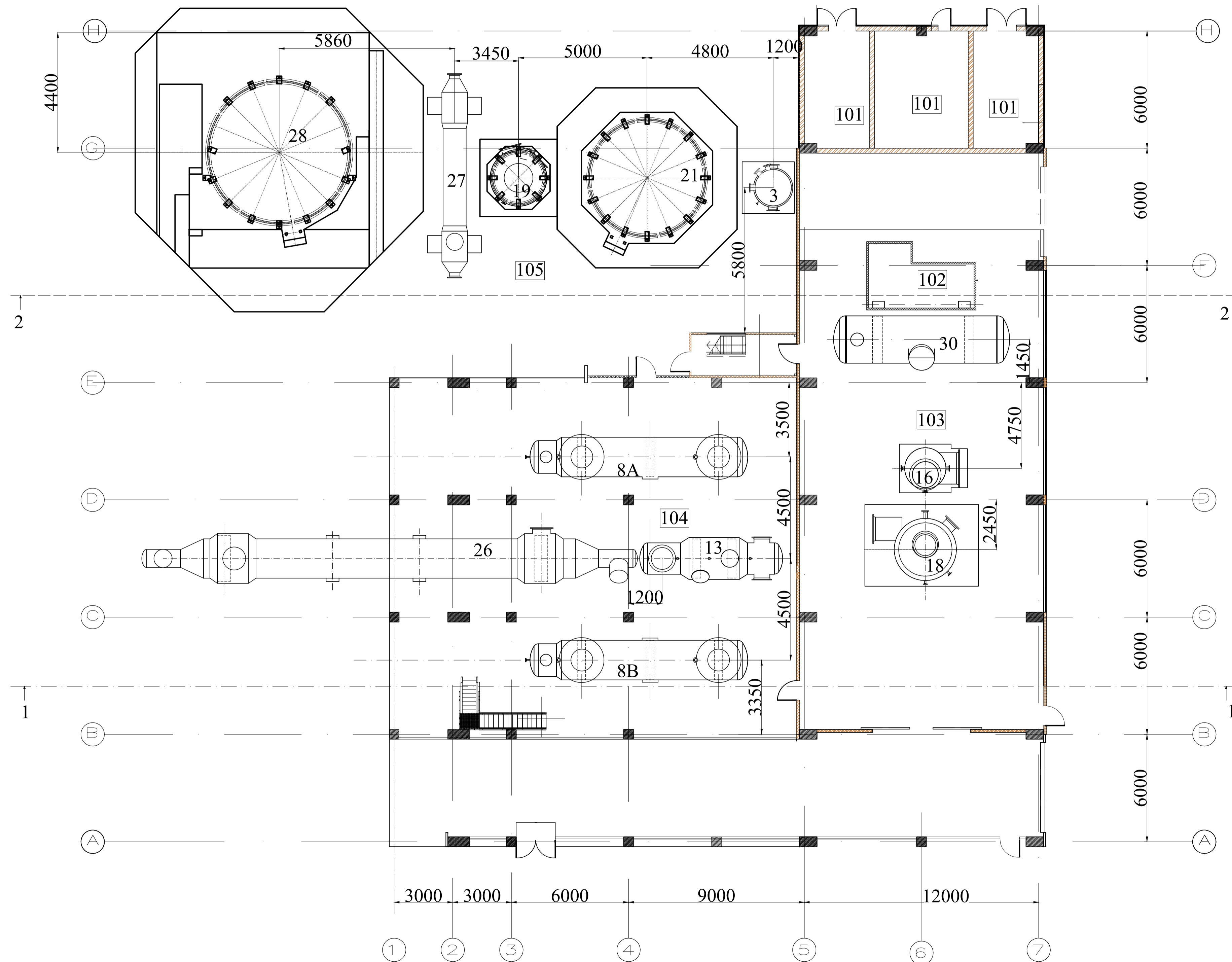
Amoniako-oro mišinys



1	Korpusas
2	Amoniako-oro mišinio paskirstymo gaubtas
3	Amoniako-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 perkaito laikiklis
12	Garų perkaito 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 perkaito apatinių vamzdžių stovas
20	Gyvutukai

Grupė	KTU			Magistro baigiamasis darbas
	Chemijos technologijos fakultetas			
TMC-8	Studentas	A. Višinskas		Azoto rūgšties gamybos agregato technologinis vertinimas
	Vadovas	A. Jaskūnas		
	Konsultantas	A. Jaskūnas		
	Recenzentas	S. Kitrys		Kontaktinio aparato pjūvis iš priekio ir pjūvis iš viršaus
				Laida
				Lapai
MBD	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra			2
				6

Nitrozinės dujos į katilus-utilizatorius



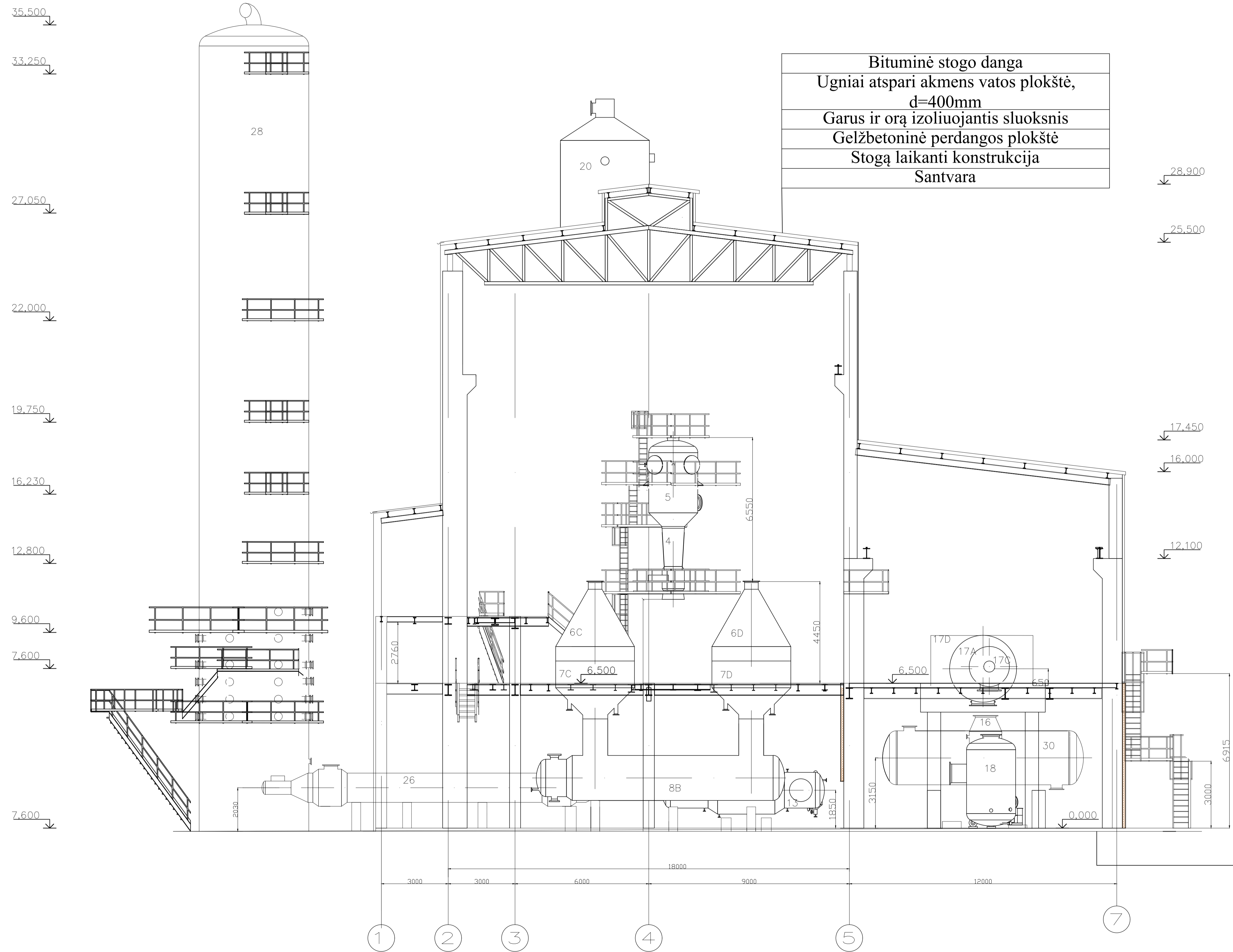
Patalpų eksplikacija

Eil.Nr	Pavadinimas
101	Transformatorinė
102	Siurblinukė
103	Kompresijos skyrius
104	Konversijos skyrius
105	Lauko aikštelė

Įrengimų eksplikacija

Eil.Nr	Pavadinimas
3	Amoniaکو išgarintuvas
8A/B	Katilas-utilizatorius
13	NOx aušintuvas
16	Oro aušintuvas
18	Separatorius
19	Aušintuvas-kondensatorius
21	Prapūtimo kolona
25	Likutinių dujų išgarintuvas
27	Rūgšties aušintuvas
28	Absorbcijos kolona
30	Garų turbinos kondensatorius

Grupė	KTU Chemijos technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis darbas		
	TMC-8	Studentas A. Višinskas	Azoto rūgšties gamybos agregato technologinis vertinimas		
	Vadovas	A. Jaskūnas	Pirmo aukšto planas		
	Konsultantas	O. Viliūnienė			
	Recenzentas	S. Kitrys	Laida		
MBD	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra		2020-MBD-FNC	Lapas 3	Lapų 6

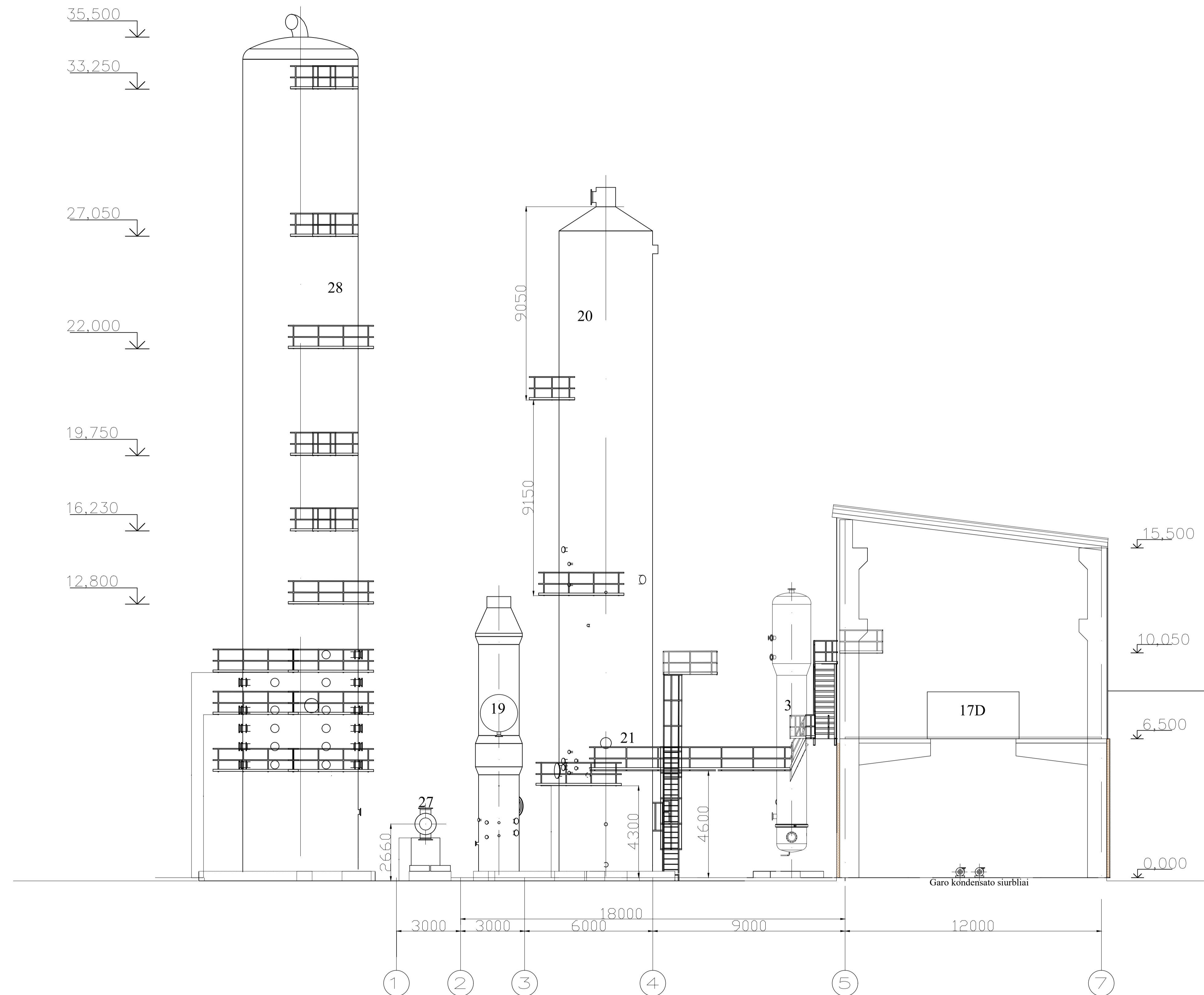


Bituminė stogo danga
Ugniai atspari akmens vatos plokštė, d=400mm
Garus ir orą izoliuojantis sluoksnis
Gelžbetoninė perdangos plokštė
Stogą laikanti konstrukcija
Santvara

Eil.Nr	Pavadinimas
4	Sumaišytuvas
5	Amoniako-oro mišinio filtras
6	Kontaktinis aparatas
7	Garų perkaitintuvas
8	Katilas-utilizatorius
17C	Liekamųjų dujų turbina
17D	Garų turbina
17A	Oro kompresorius
20	Oksidavimo kolona

Rūgštims atsparus betonas skysto stiklo pagrindo d=40mm
Skystojo stiklo tarp sluoksnis d=25mm
Išlyginamasis sluoksnis d=40mm
Bituminė hidroizoliacija d=10mm
Skystojo stiklo su tankinančiais priedais pasluoksnis d=15mm

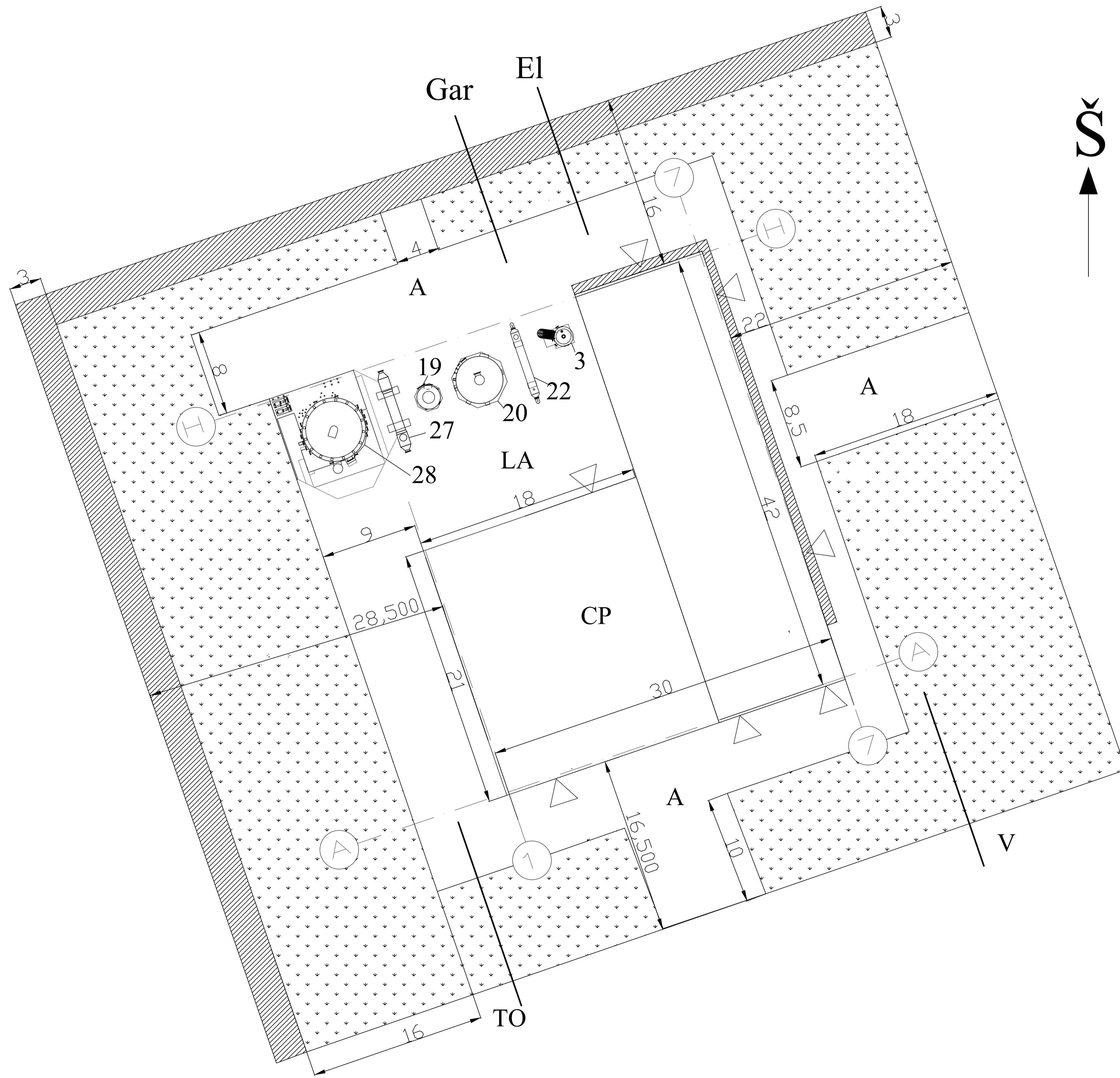
Grupė	KTU		Magistro baigiamasis darbas	
	Chemijos technologijos fakultetas			
TMC-8	Studentas	A. Višinskas	Azoto rūgšties gamybos agregato technologinis vertinimas	
	Vadovas	A. Jaskūnas		
	Konsultantas	O. Viliūnienė		
	Recenzentas	S. Kitrys		
			Pjūvis 1-1	Laida
MBD	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra		2020-MBD-FNC	Lapas 4 / Lapų 6



Fasadinė plokštė sustiprinta akrilo ir poliuretano dangomis, d=100mm  
 Klijų mišinys, d=5mm  
 Šilumos izoliacija, d=80mm  
 Sieninė profiliuota skarda d=1,5mm  
 Rūgštims atsparus padengimas, d=10mm

Grupė	KTU Chemijos technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis darbas	
	TMC-8	Studentas A. Višinskas	Azoto rūgšties gamybos agregato technologinis vertinimas	
	Vadovas A. Jaskūnas		Laida	
	Konsultantas O. Viliūnienė		Pjūvis 2-2	
	Recenzentas S. Kitrys			
MBD	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra		2020-MBD-FNC	Lapas 5
				Lapų 6





Lauko įrengimų eksplikacija

3	Amoniako išgarintuvas
19	Aušintuvas-kondensatorius
20	Oksidavimo kolona
22	Išorinis aušintuvas
27	Azoto rūgšties aušintuvas
28	Absorbcijos kolona

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			Magistro baigiamasis darbas	
	TMC-8	Studentas	A. Višinskas	Azoto rūgšties gamybos agregato technologinis vertinimas	
	Vadovas	A. Jaskūnas			
	Konsultantas	O. Viliūnienė			
	Recenzentas	S. Kitrys			
	Azoto rūgšties cecho sklypo planas			Laida	
MBD	Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra			2020-MBD-FNC	Lapas Lapų 6 6