



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

**Ernestas Mockus**

**FORMĄ MENANČIŲ POLIMERŲ GAMYBOS CECHAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Prof. Gintaras Buika

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

**FORMĄ MENANČIŲ POLIMERŲ GAMYBOS CECHAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Chemijos inžinerija (kodas 621H81004)

**Vadovas**

(parašas) Prof. Gintaras Buika

(data)

**Recenzentė**

(parašas) Doc. dr. Jolita Ostrauskaitė

(data)

**Statybinių sprendimų konsultantė**

(parašas) lekt. dr. Odeta Viliūnienė

(data)

**Ekonominių skaičiavimų konsultantas**

(parašas) doc. dr. Petras Oržekauskas

(data)

**Darbuotojų saugos ir sveikatos konsultantė**

(parašas) doc. dr. Dalia Nizevičienė

(data)

**Aplinkosauginio vertinimo konsultantė**

(parašas) doc. dr. Inga Stasiulaitienė

(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Ernestas Mockus

(data)

**KAUNAS, 2017**

# KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS

## CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

Tvirtinu:  
Cheminės technologijos fakulteto dekanas  
Prof. E.Valatka

Suderinta:  
Polimerų chemijos ir technologijos katedros  
vedėjas  
prof. habil. dr. Juozas Vidas Gražulevičius

Dekano įsakymas Nr. ST18-F-02-1  
2017 m. vasario mėn. d.

2017 m. vasario mėn. d.

### *Tiriamąo-taikomojo pobūdžio*

### **MAGISTRO BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

Išduota studentui Ernestui Mockui

1. Projekto tema: Formą menančių polimerų gamybos cechas.

2. Darbo tikslas ir uždaviniai.

Darbo tikslas: suprojektuoti formą „menančio“ polimero gamybos cechą.

Darbo uždaviniai: Atlikti literatūros apžvalgą apie formą „menančias“ medžiagas, jų savybes. Atlikti medžiagų, kurios galėtų pasižymėti formą „menančiomis“ savybėmis, sintezę ir tyrimus. Suprojektuoti ir nubraižyti pasirinkto formą „menančio“ polimero gamybos technologinę liniją, atlikti medžiagų ir šilumos srautų balanso skaičiavimus, parinkti įrenginius arba apskaičiuoti jų parametrus. Suprojektuoti ir nubraižyti formą „menančio“ polimero gamybos cecho statybos teritorijos planą, gamybinių patalpų planą, gamybinio pastato išilginį pjūvį, pateikti statybinius sprendimus. Atlikti finansinius ir ekonominius sprendimus ir skaičiavimus. Atlikti gamybos proceso aplinkosauginį vertinimą. Atlikti darbuotojų profesinės rizikos vertinimą, saugios gamybos sprendimus, darbo higienos, gausinės saugos sprendimus.

3. Projekto sudėtinės dalys:

Skaičiuojamasis – aiškinamasis raštas: Bendroji dalis; Mokslinio tiriamojo darbo rezultatai; Technologinė dalis; Statybiniai sprendimai; Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai; Aplinkosauginis vertinimas; Darbuotojų sauga ir sveikata.

Grafinė medžiaga: Technologinė schema; Statybos teritorijos planas (generalinis planas); Gamybinių patalpų planas; Technologinės linijos išilginis pjūvis.

Užduoties išdavimo data: 2017 m. vasario 6 d.

Užbaigto projekto pateikimo terminas: 2017 m. birželio 2 d.

Vadovas: prof. dr. G. Buika

(vardas, pavardė)

(parašas, data)

Užduotį gavau: Ernestas Mockus

(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

Cheminės technologijos fakultetas

(Fakultetas)

**Ernestas Mockus**

(Studento vardas, pavardė)

**Chemijos inžinerija (kodas 621H81004)**

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

**„FORMĄ MENANČIŲ POLIMERŲ GAMYBOS CECHAS“  
AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 \_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Ernesto Mockaus**, baigiamasis projektas tema „FORMĄ MENANČIŲ POLIMERŲ GAMYBOS CECHAS“ 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)

## Santrumpos

PEG 4000 – polietilenglikolis 4000;

PEG 1500 – polietilenglikolis 1500;

PEG 300 – polietilenglikolis 300;

DMF – *N,N'*-dimetilformamidas;

TDI – Toluen-2,4-diizocianatas;

MDI – 4,4'-metilendifenildiizocianatas;

DMPA – 2,2-di(hidroksimetil)propioninė rūgštis;

FTIR – Fourier transformacinė infraraudonųjų spindulių spektroskopinė analizė;

ATR – atspindžio registravimo priedas infraraudonųjų spindulių spektroskopinei analizei;

DSC – diferencinės skenuojamosios kalorimetrijos analizė;

TGA – termogravimetrinė analizė;

DTGS – deuteriuoto triglicino sulfato detektorius;

MCT – gyvsidabrio kadmio telurido detektorius.

# Turinys

1. Įžanga	10
2. Literatūros apžvalga	11
2.1. Formą menančios medžiagos	11
2.2. Formos atminties efektas	11
2.3. Formą menančių polimerų klasifikavimas	13
2.4. Formą „perjungiantys“ virsmai	14
2.5. Literatūros apžvalgos išvados	16
3. Tiriamoji dalis	17
3.1. Naudotos medžiagos	17
3.2. Eksperimentinė dalis	18
3.2.1. Polimero P1 sintezė ir gryninimas	18
3.2.2. Polimero P2 sintezė ir gryninimas	19
3.3. Naudota aparatūra	20
3.3.1. Infraraudonųjų spindulių analizės spektroskopija	20
3.3.2. Diferencinė skenuojamoji kalorimetrija	21
3.3.3. Termogravimetrinė analizė	21
3.4. Tyrimų rezultatai	21
3.5. Tyrimų rezultatų aptarimas	27
4. Inžinerinė dalis	28
4.1. Technologinės linijos aprašymas	28
4.2. Medžiagų balansas	32
4.2.1. Gamybos ciklo medžiagų balanso skaičiavimai	32
4.2.2. Metinės gamybos medžiagų balansas	35
4.3. Įrenginių parinkimas ir skaičiavimai	37
4.3.1. Virinimo talpos parinkimas ir skaičiavimai	37
4.3.2. Dekanterio skaičiavimai	43

4.3.3. Purkštuvinės džiovyklos skaičiavimai	43
4.3.4. Reaktoriaus parinkimas ir skaičiavimai	46
4.3.5. Maišymo talpų parinkimas ir skaičiavimai	49
4.3.6. Filtruojamosios centrifūgos parinkimas ir skaičiavimai	50
4.3.7. Garintuvo parinkimas	51
4.3.8. Vakuuminės džiovyklos parinkimas	51
4.3.9. Vamzdinių šilumokaičių skaičiavimai	52
4.3.10. Išcentrinių siurblių/kompresorių skaičiavimai	54
4.3.11. Ciklonų parinkimas	65
4.3.12. Sraigtinių dozatorių parinkimas	65
4.4. Statybiniai sprendimai	66
4.4.1. Bendrieji duomenys	66
4.4.2. Statinio konstrukcinė sandara	66
4.4.3. Bendrųjų statinio (pastato) inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai	67
4.5. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai	67
4.5.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė	67
4.5.2. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas.	68
4.5.3. Gamybos kaštai	69
4.5.4. Veiklos kaštai	73
4.5.5. Finansinės ir investicinės sąnaudos	74
4.5.6. Produkcijos kainos skaičiavimas	75
4.5.7. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai	75
4.5.8. Lūžio taško skaičiavimas	77
4.5.9. Trumpalaikio turto vertės skaičiavimas	77
4.5.10. Projekto investicijos	78
4.5.11. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai	78
4.6. Aplinkosauginis vertinimas	80
4.7. Darbuotojų sauga ir sveikata	84

4.7.1. Projektuojamo objekto charakteristika	84
4.7.2. Profesinės rizikos vertinimas	85
4.7.3. Saugi gamyba	87
4.7.4. Darbo higiena	88
4.7.5. Gaisrinė sauga	90
Išvados	93
Literatūros sąrašas	94



Mockus, Ernestas. FORMA MENANČIŲ POLIMERŲ GAMYBOS CECHAS. *Magistro* baigiamasis projektas / vadovas prof. Gintaras Buika; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologiniai mokslai, Chemijos inžinerija

Reikšminiai žodžiai: *formų menantys polimerai, polimerų sintezė, išmaniosios medžiagos, poliuretanoi.*

Kaunas, 2017. 96 p.

## **SANTRAUKA**

Atlikta formų „menančių“ polimerų literatūros apžvalga. Nuspręsta susintetinti formų „menančius“ polimerus ir ištirti jų savybes. Pasirinktas tinkamiausias iš susintetintų polimerų ir suprojektuota gamybos technologinė linija. Suprojektuotas gamybos cechas, atlikti finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai, atliktas aplinkosauginis vertinimas, atliekamas darbuotojų saugos ir sveikatos įvertinimas. Nubraižyti gamybos technologinės linijos, statybos teritorijos plano, gamybinių patalpų plano, gamybos patalpų išilginio pjūvio brėžiniai.

Mockus, Ernestas. *MANUFACTORY OF SHAPE-MEMORY POLYMERS: Master's thesis* in / supervisor assoc. prof. Gintaras Buika. The Faculty of Chemical technology, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological sciences, Chemical engineering

Key words: *shape-memory polymers, polymer synthesis, smart materials, polyurethanes.*

Kaunas, 2017. 96 p.

## **SUMMARY**

Literature review of shape-memory polymers have been accomplished. It has been decided to synthesize shape-memory polymers and investigate their properties. The best synthesized shape-memory polymer has been chosen and its production line has been designed. The manufactory of shape-memory polymers have been designed. The financial and economic calculations have been made. The environmental evaluation has been made. The evaluation of employees safety and health have been made. The drawings of the technological line of production, the territory plan of construction, the premises plan of manufactory and the longitudinal section of manufactory have been drawn.

## 1. Įžanga

Formą „menantys“ polimerai pritraukia vis daugiau mokslininkų bei gamybos atstovų dėmesio dėl šių medžiagų potencialių galimybių ir funkcionalumo. Formą „menantys“ polimerai pasižymi savybe „įsiminti“ makroskopinę molekulės formą, kuri, esant specifinėms sąlygoms, gali būti keičiama ir „užfiksuojama“ į laikinąją formą, o po to, esant specifinėms sąlygoms, galima gražinti į pradinę formą. Dėl šių ypatingų medžiagų savybių, formą „menantys“ polimerai gali būti naudojami gaminant jutiklius, pavaras, išmanius prietaisus. [1]. Taipogi, šios medžiagos gali būti naudojamos funkcionalios tekstilės, aviacijos įrangos, prisitaikančių biomedicininį prietaisų bei interaktyvių elektroninių prietaisų gamyboje. [2].

Šio **darbo tikslas** – suprojektuoti formą „menančio“ polimero gamybos cechą.

Darbo tikslui pasiekti buvo išskirti šie **darbo uždaviniai**:

- Atlikti literatūros apžvalgą apie formą „menančias“ medžiagas, jų savybes;
- Atlikti medžiagų, kurios galėtų pasižymėti formą „menančiomis“ savybėmis, sintezę ir tyrimus;
- Suprojektuoti ir nubraižyti pasirinkto formą „menančio“ polimero gamybos technologinę liniją, atlikti medžiagų ir šilumos srautų balanso skaičiavimus, parinkti įrenginius arba apskaičiuoti jų parametrus;
- Suprojektuoti ir nubraižyti formą „menančio“ polimero gamybos cecho statybos teritorijos planą, gamybinių patalpų planą, gamybinio pastato išilginį pjūvį, pateikti statybinius sprendimus;
- Atlikti finansinius ir ekonominius sprendimus ir skaičiavimus;
- Atlikti gamybos proceso aplinkosauginį vertinimą;
- Atlikti darbuotojų profesinės rizikos vertinimą, saugios gamybos sprendimus, darbo higienos, gausrinės saugos sprendimus.

## 2. Literatūros apžvalga

### 2.1. Formą menančios medžiagos

Formą „menančios“ medžiagos yra medžiagos, kurios „įsimena“ makroskopinę (nuolatinę) formą, kuri, esant specifinėms temperatūros ir įtempių sąlygoms, gali būti keičiama ir „užfiksuojama“ į laikinąją formą, o po to galima grąžinti į pradinę formą, paveikus specifiniu terminiu, elektriniu ar kitu poveikiu [1]. Pagrindinės formą „menančių“ medžiagų grupės yra formą „menantys“ lydiniai, formą „menantys“ polimerai ir formą „menanti“ keramika.

Formą „menantys“ polimerai turi keletą pranašumų prieš kitas formą „menančias“ medžiagas:

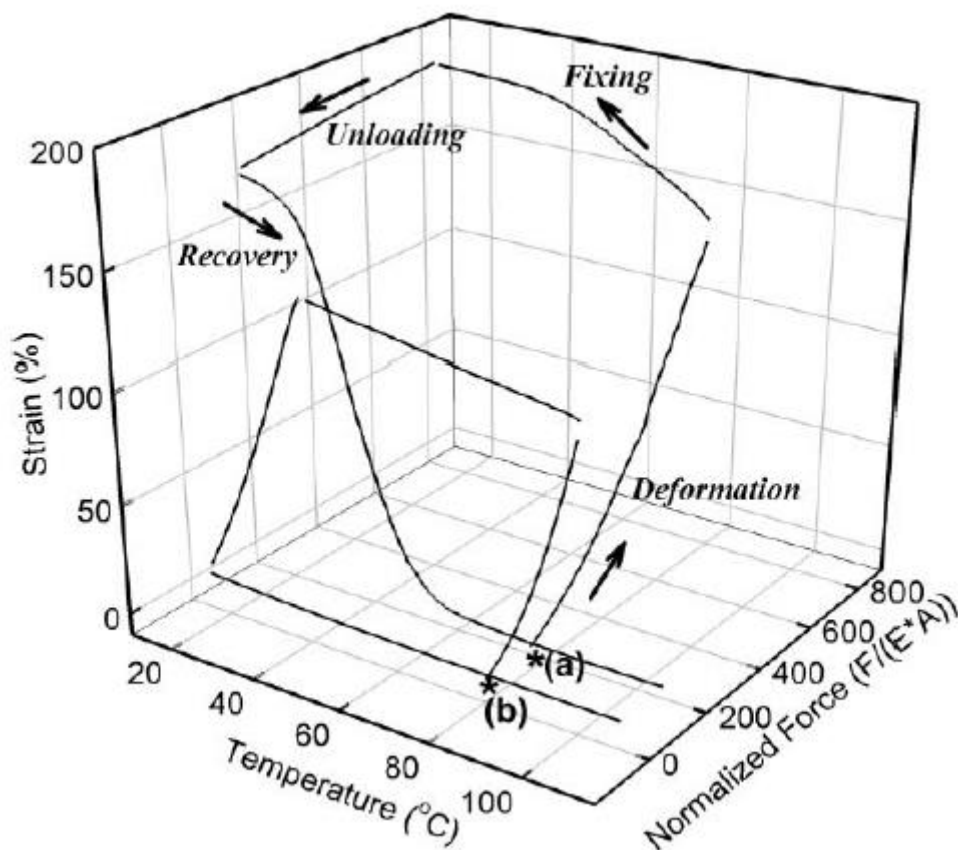
- Jų formą „menančiam“ efektui aktyvuoti galima naudoti įvairius išorinius dirgiklius, tokius kaip šiluma, šviesa, magnetinis laukas, chemikalai bei elektra), ir keletas iš šių dirgiklių gali veikti polimerą.
- Formą „menantys“ polimerai gali būti programuojami skirtingais dirgikliais naudojant vienos pakopos ar daugiapakopius procesus.
- Šie polimerai turi platų struktūrinių dizainų diapazoną – yra daugybė būdų formuoti tinklines struktūras ir „perjungiklius“ įvairių tipų formą „menantiems“ polimerams.
- Formą „menančių“ polimerų savybės gali būti modifikuojamos ir tiksliai derinamos naudojant kompozitus, darant polimerų mišinius ar naudojant sintetinius metodus.
- Šios medžiagos yra elastingos, gali pasižymėti puikiomis bioskaidumo savybėmis, yra biologiškai suderinamos, todėl galima naudoti gaminant prietaisus, kurie būtų naudojami žmonių kūnuose.
- Jie gali būti labai lengvi ir gali užimti labai didelį tūrį (pvz.: putas): ši savybė itin svarbi gaminant aviacijos prietaisų gamybai, oro – pajėgų daiktams bei lėktuvų komponentams. [4].
- Polimerai turi dideles elastines deformacijas, mažą kainą [1].

### 2.2. Formos atminties efektas

Formą „menantys“ polimerai gali atgauti savo originalią (arba nuolatinę) formą polimerui suteikus išorinį poveikį. Tai vadinamas formos atminties efektu (*ang.* shape-memory effect). Šis efektas priklauso nuo polimero struktūros ir morfologijos. Dvi būtinos sąlygos, kad polimeras pasižymėtų formą „menančiomis“ savybėmis yra stabili tinklinė struktūra (standūs segmentai) ir perjungiantys lankstūs segmentai. Standūs segmentai suteikia entropinį elastingumą, dėl kurio vyksta polimero formos regeneravimas. Lankstūs segmentai yra jautūs specifiniams išoriniams dirgikliams ir dėl jų vyksta polimero formos fiksavimas. [4]. Efekto stimulatoriais gali būti

temperatūra, slėgis, elektrinis laukas, terpės pH, šviesos srautas, magnetinis laukas, garso laukas, tirpiklis, jonai, fermentai [2].

Naudojant tinkamą polimero programavimo procesą, formą „menantis” polimeras yra deformuojamas, o susidarę vidiniai įtempiai „saugomi” polimero struktūroje. Po to, paveikus polimerą tinkamu stimuliatoriumi, jis atgauna savo pradinę formą ir atpalaiduoja vidinius įtempius, kurie buvo „užsaugoti” tinklinėje polimero struktūroje. [4].

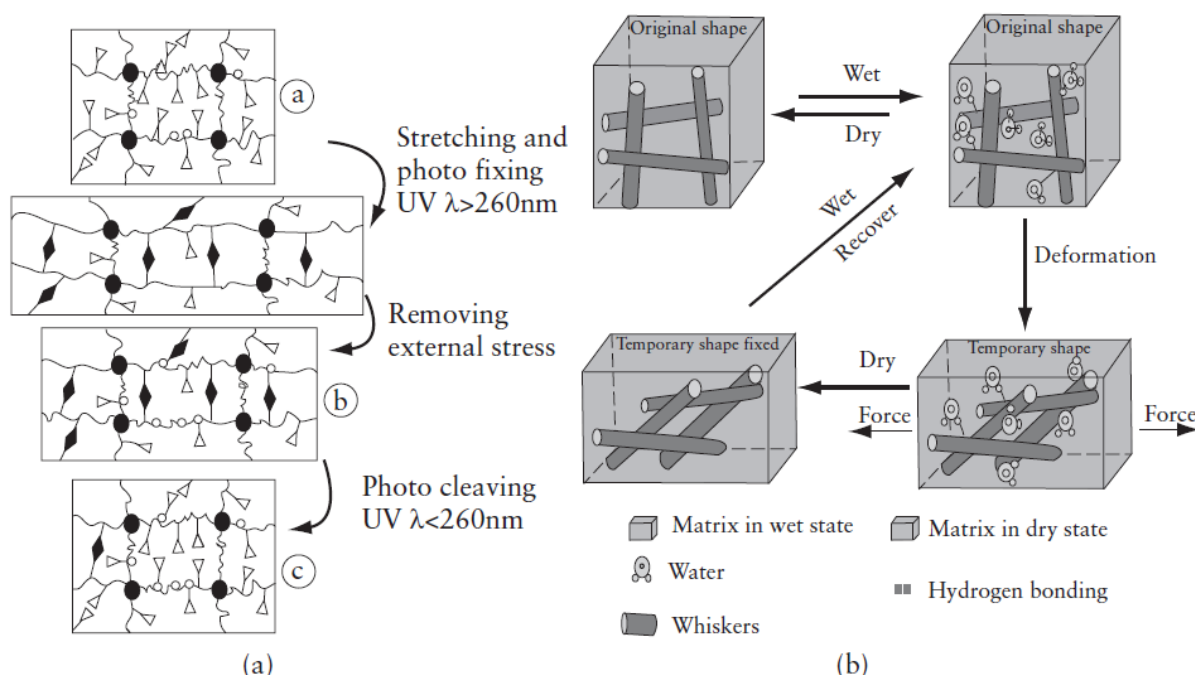


2.1. Pav. Formą „menančio” polimero (a) ir natūralaus kaučiuko (b) formos „prisiminimo” ciklas [1].

Formą „menančio“ polimero termomechaninis ciklas pavaizduotas 3-D grafiku (žr. 2.1. pav.), kuriame pavaizduota vidinių įtempių polimere priklausomybė nuo temperatūros ir veikiamos jėgos. Aukštesnėje temperatūroje suteikus apkrovą polimeras deformuojamas ir ši struktūra užfiksuojama žeminant temperatūrą ir nenuėmus apkrovos. Šiame pavyzdyje žeminama temperatūra esant vienodai apkrovai, bet ne vienodiems įtempiams (dažnai naudojamas variantas, kai žeminama temperatūra palaikant pastovius įtempius). Po šaldymo etapo pašalinus apkrovą, polimere esantys vidiniai įtempiai šiek tiek sumažėja. Ši užfiksuota polimero būseną yra stabili ilgą laikotarpį. Tuomet, keliant temperatūrą aukščiau nei kritinė „perjungimo“ temperatūra, kuri gali būti stiklėjimo temperatūra ( $T_s$ ) arba lydymosi temperatūra ( $T_m$ ), „saugojama“ įtempimų energija yra atpalaiduojama.

Polimero pusiausvyrieji (pradiniai) vidiniai įtempiai ir forma priklauso nuo makromolekulių tinklinimo, kuris gali būti cheminis (kovalentiniai ryšiai) arba fizinis. Polimero standumas ir formą „prisimenančios“ savybės gali būti reguliuojamos, keičiant polimero tinklinimo laipsnį. Polimero grandžių kristalinės sritys kontroliuoja polimero makromolekulių grandžių fiksaciją. [1].

Šviesai jautrus formos atminties efektas gali būti pasiektas per fotogrįžtamas cikloadicijos reakcijas tarp chromoforo grupės turinčių molekulių (pvz.: cinamono rūgšties tipo molekules). Vandeniui jautrų formos atminties efektą galima pasiekti naudojant nanokompozitus, kuriuose yra nano – celiuliozės ūsai disperguoti elastomero matricioje. [4].



2.2. Pav. (a) Šviesai jautrių formą „menančių“ polimerų formos „prisiminimo“ ciklo molekulinis modelis ir (b) vandeniui jautrių formą „menančių“ polimerų formos „prisiminimo“ ciklo molekulinis modelis [4].

### 2.3. Formą menančių polimerų klasifikavimas

Formą „menančius“ polimerus galima klasifikuoti pagal stimulatoriaus tipą – temperatūrą, šviesą, elektrinį lauką, drėgmę ir tirpiklius, pH, magnetinį lauką, redokso reakcijas. Taip pat šiuos polimerus galima skirstyti pagal tinklinės struktūros tipą – fizinę ir cheminę tinklinimą. Temperatūrai jautrūs formą „menantys“ polimerai pagal „perjungimo“ temperatūros tipą gali būti kontroliuojami amorfinės fazės stiklėjimo temperatūra ( $T_s$ ) arba kristalinės fazės lydymosi temperatūra ( $T_m$ ). [4].

## 2.4. Formą „perjungiantys“ virsmai

Kaip buvo minėta, formą „menančiuose“ polimeruose yra formą „perjungiantys“ elementai ir tinklinė struktūra. Per paskutinį dešimtmetį buvo atrasta keletas skirtingai formą „perjungiančių“ elementų tipų. Taigi, buvo susintetinti formą „menantys“ polimerai, turintys naujus struktūrinius makromolekulės elementus, dėl kurių šie polimerų „perjungiantys“ virsmai gali būti aktyvuojami naudojant kitus dirgiklius, tokius kaip vanduo, pH ir pan.

Formą „perjungiantys“ elementai formą „menančiuose“ temperatūrai jautriuose polimeruose pagal polimere esančias fazines sritis yra skirstomi į:

- $T_m$  – tipo (formą „perjungiantys“ virsmai aktyvuojami naudojantis polimerų kristalinės fazės lydymosi temperatūra);
- $T_s$  – tipo (formą „perjungiantys“ virsmai aktyvuojami naudojantis polimerų amorfinės fazės stiklėjimo temperatūra);
- $T_i$  – tipo (formą „perjungiantys“ virsmai aktyvuojami naudojantis polimerų skystakristalinės fazės temperatūra).

Tinklinės struktūros polietilenas yra vienas iš pirmųjų formą „menančių“ polimerų pavyzdžių, kurio formą „perjungiantis“ elementas yra kristalinės polimero sritys ( $T_m$ ). Polimeriniai segmentai, kurie naudojami suteikti formą „menantiems“ polimerams kristalines sritis, gali būti klasifikuojami į tris kategorijas:

1. Poliiolefinai (pvz.: polietilenas, poli(etilen-ko-1-oktenas));
2. Polieteriai (pvz.: polietilenoksidai, polietilenglikolis);
3. Poliesteriai (pvz. poli( $\epsilon$ -kaprolaktonas), poli(butilenadipatas)).

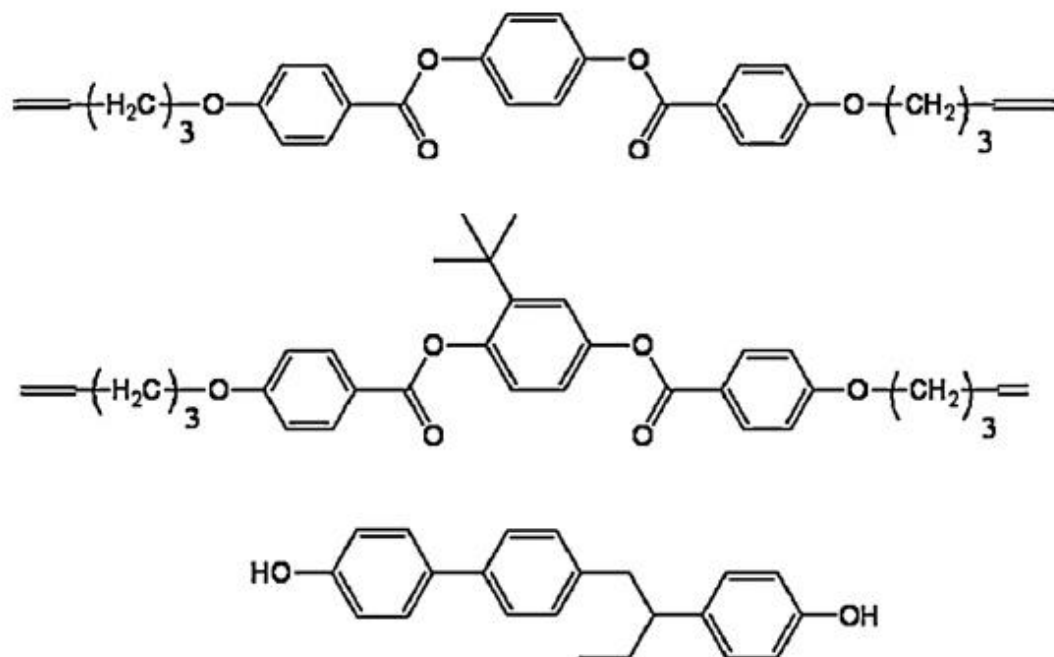
Dėl poliiolefinų nepolinių savybių poliiolefinų fragmentus turintys formą „menantys“ polimerai turi mažiau vandenilinių ryšių tarp „perjungiančių“ elementų ir tinklinės struktūros taškų. Todėl šie struktūriniai elementai polimere suformuoja pilnesnį mikrofazų atskyrimą, lyginant su polieterių ar poliesterių struktūriniais elementais.

Polieterių ir poliesterių segmentus turintys formą „menantys“ polimerai turi stiprią tarpmolekulinę sąveiką ne tik tarp pačių segmentų, bet ir tarp segmentų ir tinklinės struktūros taškų.

Norint pagerinti mikrofazų atsiskyrimą buvo naudojamos įvairios strategijos: joninių grupių, mesogeninių segmentų ir aramidinių blokų prijungimas prie kietų segmentų, esančių formą „menančiuose“ polimeruose. Joninės grupės turėjo lokalizuoti intermolekulinę joninę sąveiką tarp kietųjų segmentų, o mesogeniniai ir aramidiniai blokai turėjo padidinti kietųjų segmentų makromolekulinių grandžių standumą. Tačiau joninių ir aramidinių blokų sukelti efektai buvo daug sudėtingesni nei buvo manyta. Šie struktūriniai elementai turi teigiamą efektą formą „menančioms“ savybėms esant tam tikram kietųjų segmentų kiekiui polimere.

$T_s$  – tipo formą „menantys“ polimerai buvo tyrinėjami dėl jų įvairių amorfinių „perjungiančių“ segmentų, tokių kaip epoksi-, polieterių ketonai, poliakrilatai, polinorbornenai, poli(glicerol-ko-dodekanoatas).  $T_s$  – tipo formą „menantys“ polimerai, lyginant su  $T_m$  ir  $T_i$  – tipo polimerais, pasižymi lėtu formos atstatymu dėl plataus stiklėjimo temperatūros intervalo. Tačiau,  $T_s$  – tipo polimerai tampa vis plačiau tyriniami dėl galimo panaudojimo biomedicinoje. Vienas iš šio formą „menančių“ polimerų tipo pranašumų yra tai, kad jo formos atstatymą galima aktyvuoti naudojant tirpiklį, pavyzdžiui vandenį ar organinius tirpiklius. Manoma, kad formos atstatymas vyksta, nes absorbuotas tirpiklis silpnina tarp makromolekulių esančius vandenilinius ryšius. Todėl pažemėja amorfinių sričių stiklėjimo temperatūra ( $T_s$ ) ir vyksta formos atstatymas kambario temperatūroje.  $T_s$ -tipo formą „menančiuose“ polimeruose tirpikliams jautrus formos atminties efektas gali būti pasiektas naudojant tirpiklį, kuris gali atlikti plastiklio funkciją, tačiau įtempių atstatymas dažniausiai yra labai mažas.

Skystakristalinių elastomerų kaitinimo kreivių pradžioje užfiksuojamas endoterminis fazės pasikeitimas, kuris parodo medžiagos perėjimą iš anizotropinės fazės į izotropinę fazę. Taipogi, polimero struktūroje turi būti tinklinės struktūros elementai (fizikiniai ir/arba cheminiai). Skystakristalinė „perjungimo“ fazė gali būti nematinė arba smektinė.



2.3. pav. Tipiniai skystakristaliniai monomerai, naudojami sintetinti  $T_i$  – tipo formą „menančius“ polimerus [2].

Molekuliniame lygyje polimero grandinės yra kontroliuojamos intermolekulinės sąveikos arba grįžtamųjų cheminių reakcijų. Yra nemažai reakcijų, kurios gali vykti grįžtamai esant specifinėms sąlygoms, o atitinkantys grįžtami elementai gali būti naudojami kaip molekuliniai „perjungikliai“ išmaniuosiuose polimeruose.

Fotojautrūs segmentai yra vieni iš populiariausių „perjungiklių“ elementų. Lendlein'as sukūrė pirmus šviesai jautrius formą „menančius“ polimerus, prijungęs fotojautrius cinamono rūgšties fragmentus į polimero struktūrą. Cinamono rūgšties fragmentai formuoja kovalentinius skersinius ryšius, esant UV šviesos bangos ilgiui didesniai nei 260 nm. Šie ryšiai yra pašalinami, esant UV šviesos bangos ilgiui mažesniai nei 260 nm.



2.4. pav. Cinamono rūgšties fotocheminės reakcijos [2].

Šie polimerai pasižymėjo dideliu formos atgavimu, tačiau mažu formos fiksavimu. [2].

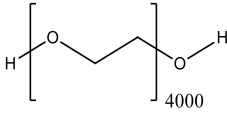
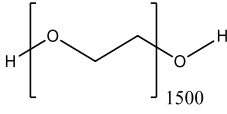
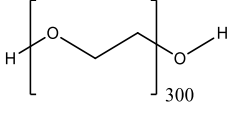
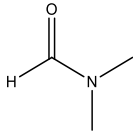
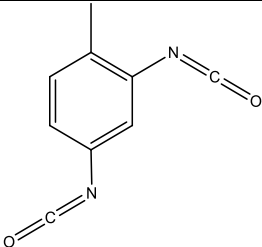
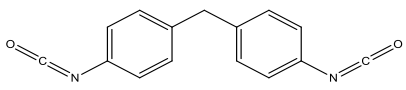
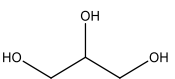
## 2.5. Literatūros apžvalgos išvados

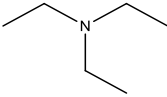
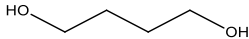
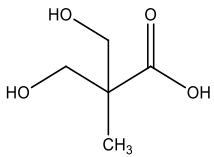

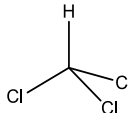
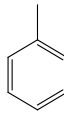
Formos atminties efektas aktyvuojamas polimerus veikiant terminiais ir aterminiais dirgikliais (šviesa, drėgmė, elektros srovė ir t.t.). Terminiu poveikiu aktyvuojamą formą „menančių“ polimerų virsmus galima lengvai kontroliuoti keičiant terpės, kurioje yra polimeras, temperatūrą.  $T_m$  – tipo formą „menantys“ polimerai pasižymi greitu formos atsistatymu, daug mažesniu virsmų temperatūrų intervalu (lyginant su  $T_s$  – tipo formą „menančiais“ polimerais).  $T_m$  – tipo kovalentiniais ryšiais sutinkinti formą „menantys“ polimerai pasižymi greitu formos atgavimu, geromis superelastinėmis reologinėmis savybėmis [1]. Todėl nuspręsta susintetinti ir suprojektuoti  $T_m$  – tipo kovalentiniais ryšiais sutinkintų formą „menančių“ polimerų gamybos cechą.



### 3. Tiriamoji dalis

#### 3.1. Naudotos medžiagos

Junginio pavadinimas	Struktūrinė formulė	Savybės
Polietilenglikolis 4000 (PEG 4000), <i>MERCK</i>		M = 4000 g/mol. Išdžiovintas aezotropinės distiliacijos metodu naudojant izopropanolį.
Polietilenglikolis 1500 (PEG 1500), <i>MERCK</i>		M = 1500 g/mol. Išdžiovintas aezotropinės distiliacijos metodu naudojant izopropanolį.
Polietilenglikolis 300 (PEG 300), <i>MERCK</i>		M = 300 g/mol. Išdžiovintas aezotropinės distiliacijos metodu naudojant izopropanolį.
<i>N,N'</i> -dimetilformamidas (DMF), <i>PENTA</i>		M = 73,10 g/mol. Išdžiovintas naudojant 4Å molekulinis sietus, kurie prieš naudojimą buvo regeneruoti kaitinant juos 300 °C temperatūroje 6 valandas.
Toluen-2,4-diizocianatas (TDI), <i>Sigma Aldrich</i>		M = 174,2 g/mol, grynumas 95 %, T <sub>vir.</sub> = 115 – 120 °C
4,4'-metilendifenildiizocianatas (MDI), <i>Sigma-Aldrich</i>		M = 250,25 g/mol, grynumas 98 %, ρ = 1,18 g/cm <sup>3</sup> , T <sub>lyd.</sub> = 42 – 45 °C, T <sub>vir.</sub> = 200 °C.
Glicerolis bevandenis, <i>Chempur</i>		M = 92,09 g/mol, ρ = 1,261 g/ml.

Trietilaminas, <i>PENTA</i>		$M = 101,19 \text{ g/mol}$ , $\rho = 0,727 \text{ g/ml}$ (esant $25 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai), grynumas $> 99 \%$
Butan-1,4-diolis, <i>Sigma-Aldrich</i>		$M = 90,12 \text{ g/mol}$ , grynumas $99 \%$ , $\rho = 1,017 \text{ g/ml}$ (esant $25 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai), $T_{\text{lyd.}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ .
2,2-di(hidroksimetil)propioninė rūgštis (DMPA), <i>Sigma-Aldrich</i>		$M = 134,13 \text{ g/mol}$ , grynumas $98 \%$ .
Izopropanolis, <i>Eurochemicals</i>		$M = 60,10 \text{ g/mol}$ .
Chloroformas, <i>PENTA</i>		$M = 119,38 \text{ g/mol}$ , grynumas $99,8 \%$ , $T_{\text{vir.}} = 61,15 \text{ }^\circ\text{C}$ , $\rho = 1,489 \text{ g/ml}$ (esant $25 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai).
Toluenas, <i>PENTA</i>		$M = 92,14 \text{ g/mol}$ , grynumas $> 99,0 \%$ , $T_{\text{vir.}} = 111 \text{ }^\circ\text{C}$ , $\rho = 0.865 \text{ g/ml}$ (esant $25 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrai).

### 3.2. Eksperimentinė dalis

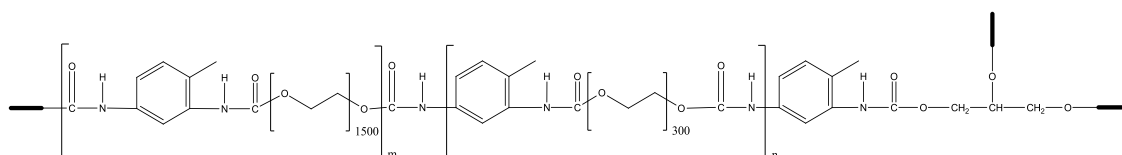
#### 3.2.1. Polimero P1 sintezė ir gryninimas

Trikaklė 500 ml apvaliadugnė kolba buvo išdžiovinta kaitinant iki  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūros ir atvėsinta, prijungus kalcio chlorido vamzdelį. Į trikaklę kolbą sudedamas polietilenglikolis 1500 (1,5 mmol), reakcijos tirpiklis *N,N'*-dimetilformamidas (40 ml) ir toluen-2,4-diizocianatas (4 mmol). Reakcija vykdoma azoto aplinkoje  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūroje 2 valandas. Po to, į trikaklę kolbą sudedamas polietilenglikolis 300 (2,5 mmol) ir toluen-2,4-diizocianatas (4 mmol) ir reakcija vykdoma tomis pačiomis sąlygomis 2 valandas. Tada, į reakcijos mišinį supilamas glicerolis (1,5 mmol). Po 1 valandos reakcijos mišinys atvėsinaamas iki  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūros ir sudėjus trietilaminą (1,1 mmol) pusę valandos vykdoma neutralizacijos reakcija.

3.1. lentelė. Polimero P1 sintezei naudojamos medžiagos ir jų kiekiai.

Medžiaga	Medžiagos kiekis, mmol	Masė, g	Tūris, ml
PEG 1500	1,5	2,2500	-
DMF	518,7	-	40
TDI	8	-	1,15
PEG 300	2,5	0,7500	-
Glicerolis	1,5	0,1381	-
Trietilaminas	1,1	-	0,15

Reakcijos mišinys, pašalinus dalį reakcijos tirpiklio *N,N'*-dimetilformamido, yra sukonzentruojamas, naudojant vakuuminę distiliaciją. Iš gauto koncentruoto polimero ir šalutinių reakcijos produktų bei nesureagavusių medžiagų tirpalo polimeras gryninamas išsėdinant į izopropanolį. Gautos polimero nuosėdos atfiltruojamos ir ištirpinamos chloroforme. Tirpi chloroforme frakcija (P1T) išsėdinama į izopropanolį, atfiltruojama ir išdžiovinama vakuuminėje džiovykloje iki pastovios masės. Netirpi chloroforme frakcija (P1N) plaunama chloroformu ir išdžiovinama vakuuminėje džiovykloje iki pastovios masės.



3.1. pav. Polimero P1 struktūrinė formulė

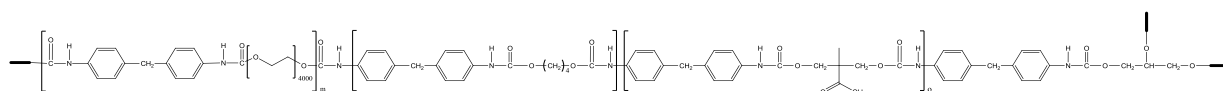
### 3.2.2. Polimero P2 sintezė ir gryninimas

Trikaklė 500 ml apvaliadugnė kolba buvo išdžiovinama kaitinant iki 250 °C temperatūros ir atvėsinta, prijungus kalcio chlorido vamzdelį. Į trikaklę kolbą sudedamas polietilenglikolis 4000 (1,5 mmol), reakcijos tirpiklis *N,N'*-dimetilformamidas (40 ml) ir 4,4'-metilendifenildiizocianatas (3 mmol). Reakcija vykdoma azoto aplinkoje 80 °C temperatūroje 2 valandas. Tada, į reakcijos mišinį sudedama 2,2-di(hidroksimetil)propioninė rūgštis (1 mmol) ir 4,4'-metilendifenildiizocianatas (1 mmol) ir palaikant tas pačias reakcijos sąlygas reakcija vykdoma 2 valandas. Po to, į trikaklę kolbą sudedamas butan-1,4-diolis (2,5 mmol) ir 4,4'-metilendifenildiizocianatas (4 mmol) ir reakcija vykdoma tomis pačiomis sąlygomis 2 valandas. Tada, į reakcijos mišinį supilamas glicerolis (1,5 mmol). Po 1 valandos reakcijos mišinys atvėsinaamas iki 50 °C temperatūros ir sudėjus trietilaminą (1,1 mmol) pusę valandos vykdoma neutralizacijos reakcija.

3.2. lentelė. Polimero P2 sintezei naudojamos medžiagos ir jų kiekiai.

Medžiaga	Medžiagos kiekis, mmol	Masė, g	Tūris, ml
PEG 4000	1,5	6,0000	-
DMF	518,7	-	40
MDI	8	2,0020	-
Butan-1,4-diolis	2,5	0,2253	-
2,2-di(hidroksimetil)propioninė rūgštis	1	0,1341	-
Glicerolis	1,5	0,1381	-
Trietilaminas	1,1	-	0,15

Reakcijos mišinys, pašalinus dalį reakcijos tirpiklio *N,N'*-dimetilformamido, yra sukonzentruojamas, naudojant vakuuminę distiliaciją. Iš gauto koncentruoto polimero, šalutinių reakcijos produktų bei nesureagavusių medžiagų tirpalo polimeras gryninamas išsėdinant į izopropanolį. Tada atfiltruota medžiaga ištirpinama *N,N'*-dimetilformamide ir vėl išsėdinama naudojant izopropanolį. Gautos nuosėdos atfiltruojamos ir išdžiovinamos vakuuminėje džiovykloje iki pastovios masės.



3.2. pav. Polimero P2 struktūrinė formulė.

### 3.3. Naudota aparatūra

#### 3.3.1. Infraraudonųjų spindulių analizės spektroskopija

FTIR analizė atlikta naudojantis Perkin Elmer Spectrum GX spektrometru. Skenavimo intervalas  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ , duomenų registravimo intervalas  $1 \text{ cm}^{-1}$ . Atliekama 10 skenavimų. Analizei naudojamas tabletės pavidalo bandinys, kuris sudarytas iš 2 mg tiriamosios medžiagos ir 300 mg spektroskopijai naudojamo kalio bromido. Šie komponentai sumaišomi ir supresuojami (slėgis apie 1000 MPa).

ATR analizė atlikta naudojantis sistema, sudaryta iš Vertex70 (Bruker) spektrometro, ATR priedo, spektrometro skenavimo intervalas nuo  $8000$  iki  $350 \text{ cm}^{-1}$ , DTGS detektoriaus, skystu azotu šaldomo MCT detektoriaus. Skenavimo raiška  $0.4 \text{ cm}^{-1}$ , Rapid Scan parinktis: 68 spektrai/s esant  $16 \text{ cm}^{-1}$  raiškai. ATR metodu medžiagos analizė atliekama be papildomo bandinių paruošimo.

### 3.3.2. Diferencinė skenuojamoji kalorimetrija

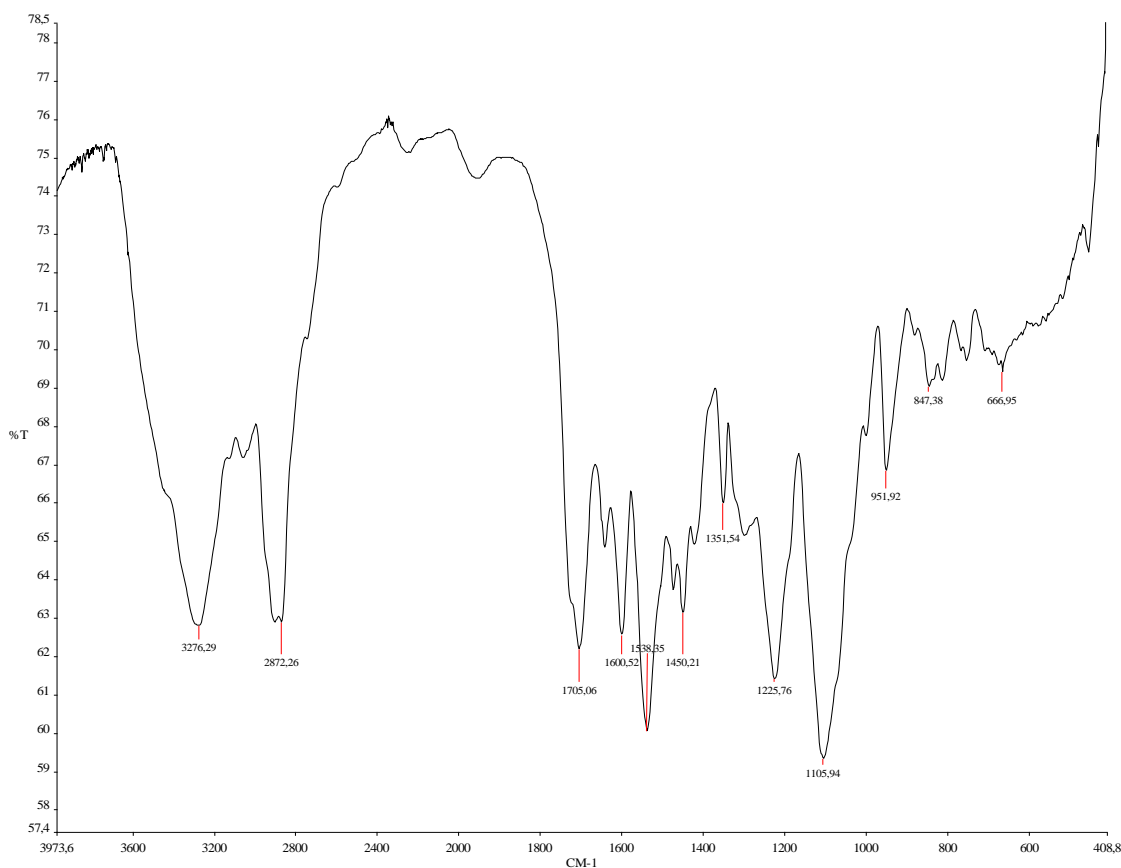
Medžiagų diferencinės skenuojamosios kalorimetrijos (DSC) analizė atlikta naudojantis TA instruments DSC Q2000 sistema. Medžiagos kaitinimas ir vėsinimas analizės metu buvo vykdomas 10 °C/min greičiu azoto aplinkoje. Azoto dujų srauto greitis 50 ml/min. Bandiniui reikalinga medžiagos masė ~ 3 mg.

### 3.3.3. Termogravimetrinė analizė

Medžiagų termogravimetrinė analizė (TGA) analizė atlikta naudojantis TA instruments TGA Q50 sistema. Medžiagos kaitinimas analizės metu buvo vykdomas 20 °C/min greičiu. Analizė atliekama azoto aplinkoje. Azoto dujų srauto greitis 50 ml/min. Bandiniui reikalinga medžiagos masė yra ~ 5 mg.

### 3.4. Tyrimų rezultatai

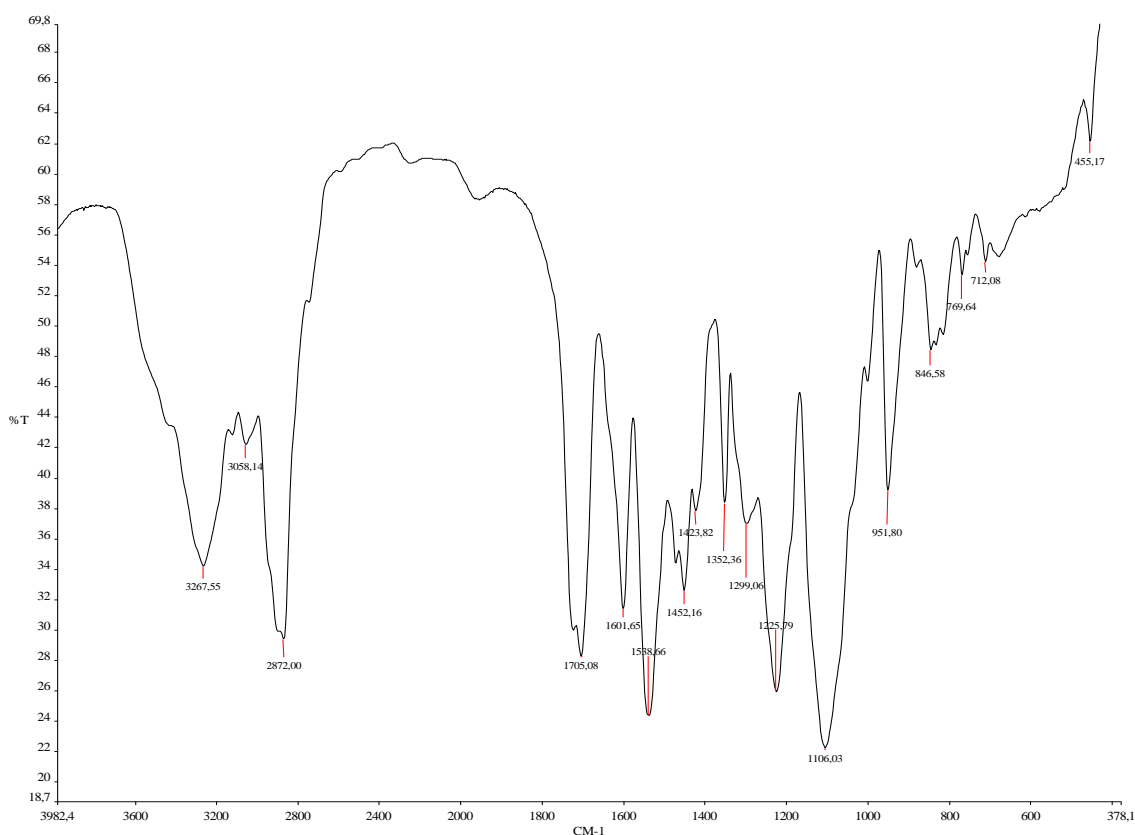
Buvo gautos dvi polimero frakcijos – tirpi (P1T) ir netirpi (P1N) chloroforme. Siekiant išsiaiškinti skirtumus tarp jų registruoti FTIR spektrai.



3.3. pav. Polimero P1 tirpios chloroforme frakcijos (P1T) IR spektras.

Absorbcijos smailė, esant bangos ilgiui 3276,29 cm<sup>-1</sup>, rodo kad junginyje yra OH arba NH grupės. Kadangi susidaręs polimeras turi uretaninę grupę (-CO-NH-), į kurią įeina NH grupė, galima interpretuoti, kad tai NH grupė. Esant 2872,26 cm<sup>-1</sup> bangos skaičiui, absorbcijos smailė

rodo valentinius C–H ryšių virpesius CH, CH<sub>2</sub> ir CH<sub>3</sub> grupėse. CH<sub>2</sub> grupės turi PEG 1500, PEG 300, TDI, CH<sub>2</sub> ir CH grupės turi glicerolis. Didelio intensyvumo sugerties smailė, esanti 1705,06 cm<sup>-1</sup> bangos ilgiui, rodo, kad yra C=O grupė. C=O ir NH grupių buvimas įrodo, kad polimere yra uretaninė grupė. Absorbcijos smailės, esančios 1600 – 1500 cm<sup>-1</sup> diapazone, tai yra 1600,52 cm<sup>-1</sup> ir 1538,85 cm<sup>-1</sup>, rodo aromatino žiedo valentinius virpesius, kurie polimere gali būti dėl naudoto TDI, kuris savo sudėtyje turi aromatinių žiedą. Absorbcijos smailės, esančios prie 1450,21 cm<sup>-1</sup> ir 1351,54 cm<sup>-1</sup> bangos skaičių, rodo deformacinius metilgrupės virpesius, kurie gali būti dėl TDI molekulėje esančios metilgrupės ar naudotų tirpiklių (DMF, izopropanolis). Absorbcijos smailė, esanti prie 1105,94 cm<sup>-1</sup>, rodo eterinio ryšio (C-O) buvimą, kadangi į polimero struktūrinius elementus įeina PEG 1500 ir PEG 300.

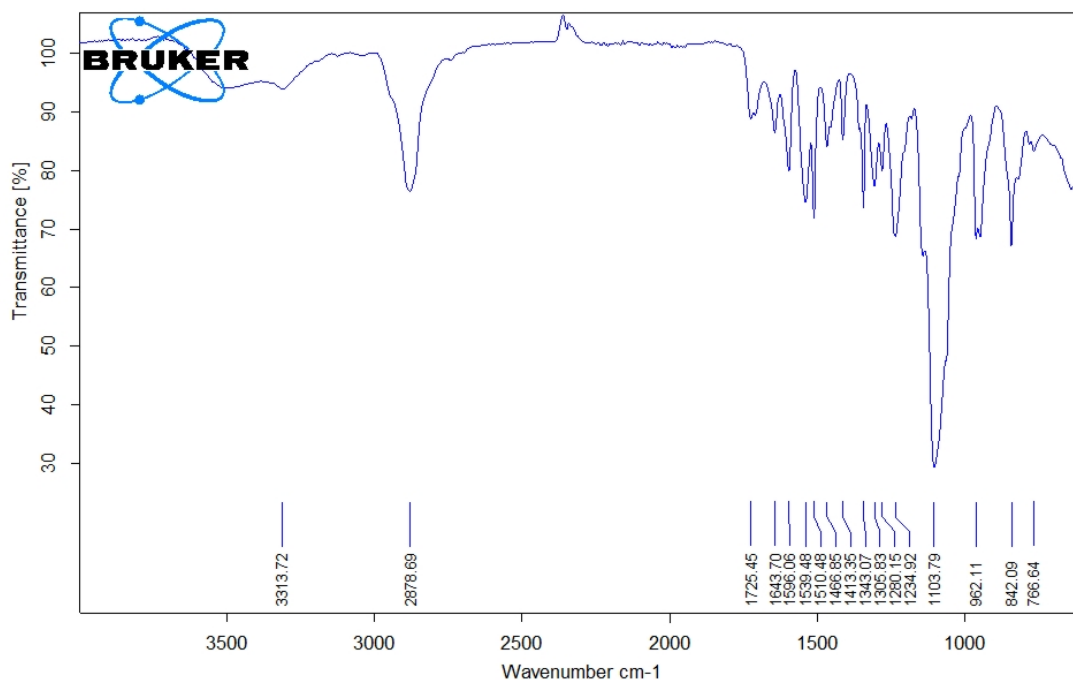


3.4. pav. Polimero P1 netirpios chloroforme frakcijos (P1N) IR spektras.

Polimero P1N FT-IR analizės rezultatai labai panašūs. Absorbcijos smailė, esanti prie 3267,55 cm<sup>-1</sup> ir 2872,00 cm<sup>-1</sup> rodo atitinkamai NH ir CH grupių egzistavimą. Sugerties smailė, esanti prie 1705,08 cm<sup>-1</sup> bangos skaičiaus, rodo C=O grupės egzistavimą. Absorbcijos smailės, esančios prie 1601,65 cm<sup>-1</sup> ir 1588,66 cm<sup>-1</sup> bangos ilgių, rodo aromatino žiedo virpesius. Smailės, esančios prie 1452,16 cm<sup>-1</sup>, 1423,82 cm<sup>-1</sup> ir 1352,36 cm<sup>-1</sup> bangos skaičių, rodo deformacinius metilgrupės virpesius. Smailės, esančios prie 1106,07 cm<sup>-1</sup> rodo eterinio ryšio buvimą polimere.

Taigi, P1N ir P1T turi tuos pačius struktūrinius elementus.

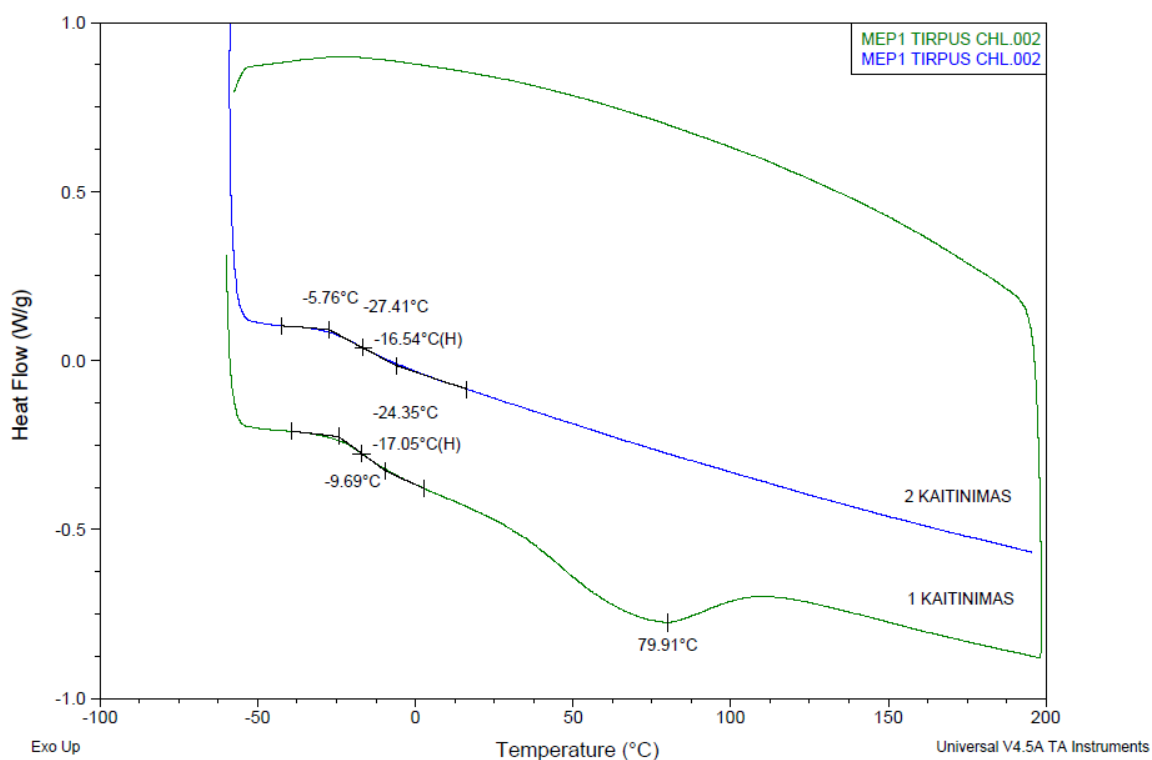
Siekiant išsiaiškinti P2 polimero struktūrinius elementus, buvo registruojamas jo FTIR spektras.



3.5. pav. Polimero P2 IR spektras.

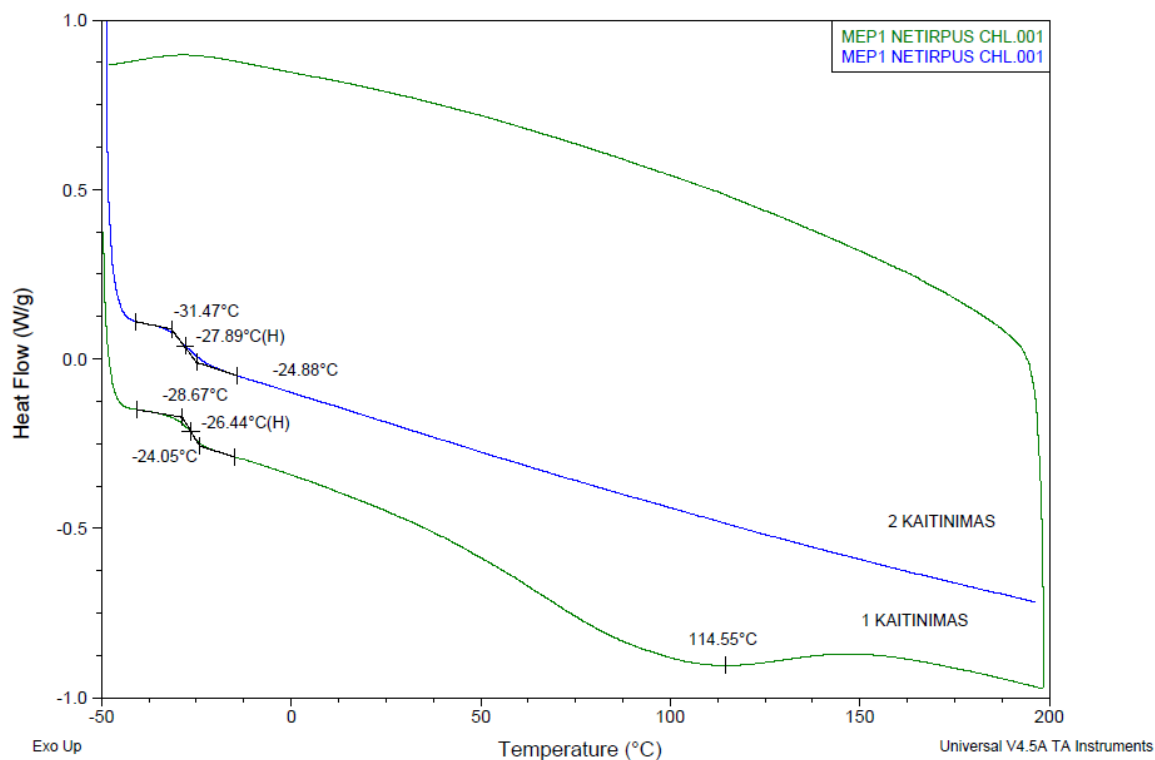
Polimero P2 spektre esantys virpesiai prie  $\sim 3500\text{ cm}^{-1}$  ir  $3313,72\text{ cm}^{-1}$  bangos ilgių rodo, kad polimere atitinkamai yra OH ir NH grupės. OH grupė polimere gali būti dėl polimero struktūroje esančios 2,2-di(hidroksimetil)propioninės rūgšties fragmento. Sugerties smailė, esanti prie  $2878,69\text{ cm}^{-1}$  bangos skaičių, rodo C–H ryšių virpesius, kadangi polimero sintezei naudoti PEG 4000, butan-1,4-diolis. Virpesiai, esant  $1725,45\text{ cm}^{-1}$  bangos skaičiui, rodo, kad polimere yra C=O grupė. Absorbcijos smailės, esančios prie  $1596,06\text{ cm}^{-1}$ ,  $1539,49\text{ cm}^{-1}$  ir  $1510,48\text{ cm}^{-1}$  bangos skaičių, rodo aromatinio žiedo valentinius virpesius. Smailės, esančios prie  $1643,70\text{ cm}^{-1}$  bangos skaičiaus, gali reikšti, kad dalis izocianatinių grupių sureagavo su vandeniu ir susidarė NH<sub>2</sub> grupės. Absorbcijos smailės, esančios prie  $1305,07\text{ cm}^{-1}$ ,  $1280,15\text{ cm}^{-1}$  ir  $1234,92\text{ cm}^{-1}$  bangos skaičių, rodo, yra rūgštims priklausančių C–O grupių, kurių polimere gali būti dėl DMPA fragmentų polimero makromolekulėse. Absorbcijos smailės, esančios prie  $1103,79\text{ cm}^{-1}$  bangos skaičiaus, rodo eterinių ryšių buvimą polimere dėl esančių PEG 4000 fragmentų polimero makromolekulėse.

Norint išsiaiškinti P1N ir P1T polimero frakcijų termines savybes, buvo atlikta DSC analizė ir užregistruoti analizės rezultatai, kurie pateikti 3.6 ir 3.7 paveikslėliuose.



3.6. pav. Polimero P1 tirpios chloroforme frakcijos (P1T) DSC analizės rezultatai.

Iš polimero DSC kreivės pirmojo kaitinimo matome, kad polimero stiklėjimo temperatūra  $T_s$  yra  $-16,54\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Taipogi, pirmojo kaitinimo kreivėje matome virsmą ( $T=79,91\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), kuris antrojo kaitinimo metu neužfiksuojamas. Vėsinimo metu fazinių virsmų temperatūros neužfiksuojamos.

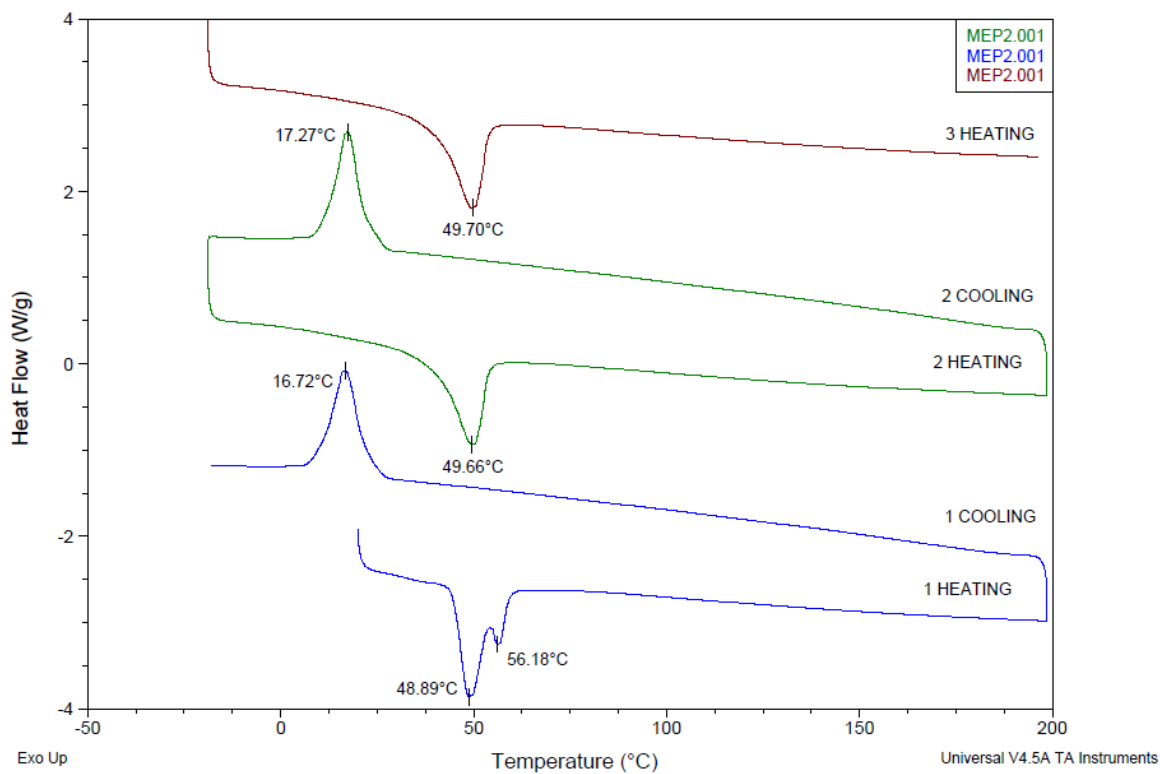


3.7. pav. Polimero P1 netirpios chloroforme frakcijos (P1N) DSC analizės rezultatai.



Iš polimero DSC kreivės pirmojo kaitinimo matome, kad polimero stiklėjimo temperatūra  $T_s$  yra  $-27,89\text{ }^\circ\text{C}$ . Pirmojo kaitinimo kreivėje matome virsmą ( $T=114,55\text{ }^\circ\text{C}$ ), kuris antrojo kaitinimo metu neužfiksuojamas. Vėsinimo metu fazinių virsmų temperatūros neužfiksuojamos.

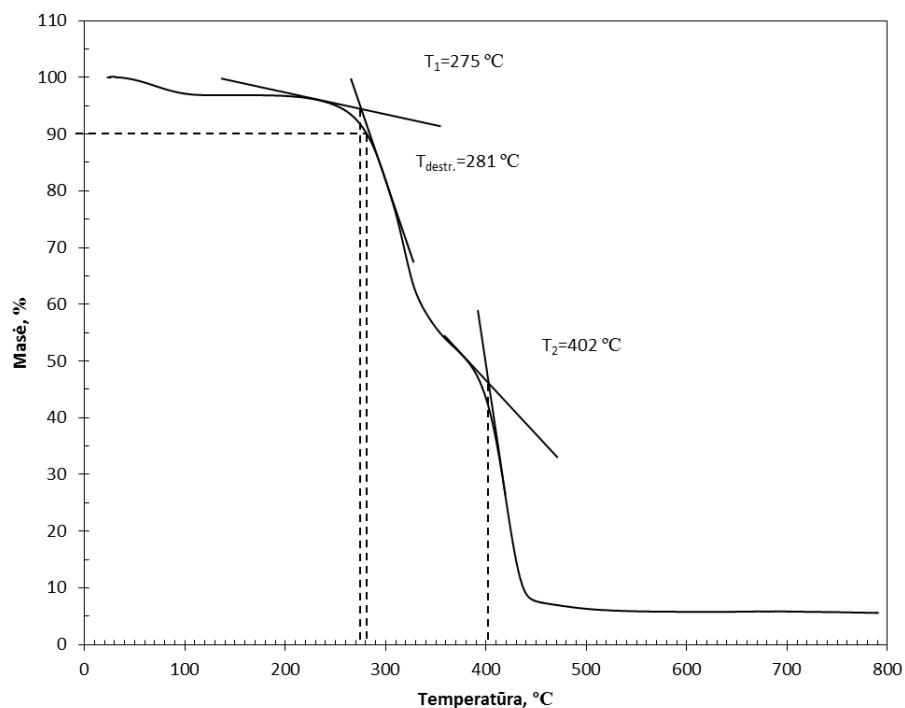
Siekiant išsiaiškinti P2 polimero termines savybes, buvo atlikta DSC analizė ir užregistruoti analizės rezultatai (žr. 3.8 pav.)



3.8. pav. Polimero P2 DSC analizės rezultatai.

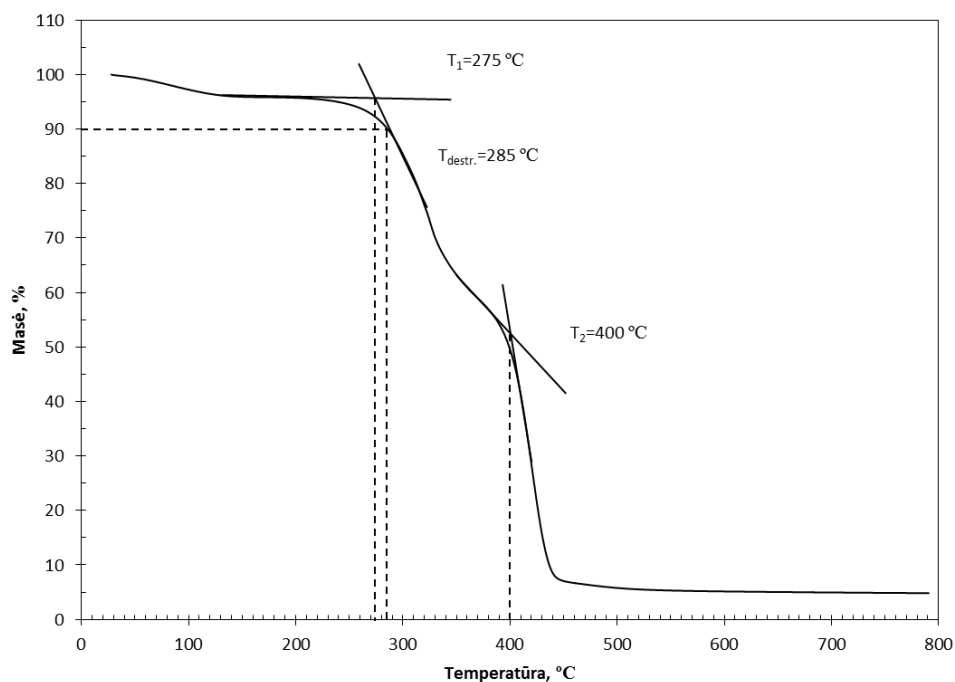
Iš polimero P2 DSC kreivės pirmojo kaitinimo metu užfiksuojamos dvi lydymosi fazinio virsmo temperatūros ( $T_{L1}=48,89\text{ }^\circ\text{C}$  ir  $T_{L2}=56,18\text{ }^\circ\text{C}$ ). Taigi, prieš kaitinimą polimeras P2 turi dvi kristalines formas. Antrojo ir trečiojo kaitinimo metu lydymosi fazinio virsmo temperatūros atitinkamai lygios  $49,66$  ir  $49,70\text{ }^\circ\text{C}$ . Taigi, tolimesnių kaitinimų metu lydymosi temperatūra išlieka pastovi. Kristalizacijos temperatūra  $T_K$  užfiksuojama pirmojo vėsinimo metu yra  $16,72\text{ }^\circ\text{C}$ , o antrojo vėsinimo metu –  $17,27\text{ }^\circ\text{C}$ .

Buvo atlikta P1N ir P1T polimero frakcijų TGA analizė ir užregistruoti šios analizės rezultatai, kurie pateikti 3.9 ir 3.10 paveikslėliuose.



3.9. pav. Polimero P1 tirpios chloroforme frakcijos (P1T) TGA analizės rezultatai.

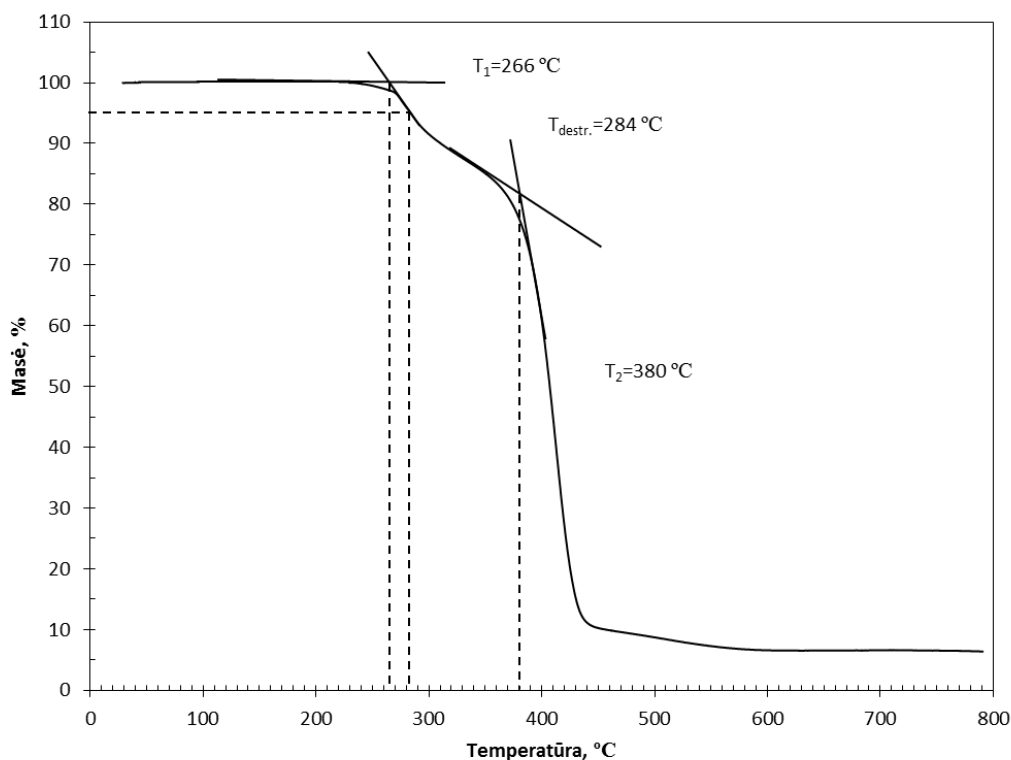
Iš polimero termogravimetrinės analizės rezultatų matome, kad medžiagoje iš pradžių pašalinamos lakios medžiagos (apie 5 %). Taigi, destrukcijos temperatūra ( $T_{destr.}$  – kai medžiagos masė sumažėja 5 procentais) yra lygi 281 °C. Iš kreivės matome, kad šios medžiagos terminė destrukcija vyksta dvejomis stadijomis, kurių pradžios temperatūra 275 ir 402 °C.



3.10. pav. Polimero P1 netirpios chloroforme frakcijos (P1N) TGA analizės rezultatai.

Iš polimero P1N termogravimetrinės kreivės matome, kad iki 150 °C temperatūros iš medžiagos pašalinamos lakios medžiagos. Polimero destrukcijos temperatūra  $T_{\text{destr.}}$  yra 285 °C. Taipogi, terminė polimero destrukcija vyksta dvejomis stadijomis, kurių pradžios temperatūros yra 275 ir 400 °C.

Buvo atlikta P2 polimero TGA analizė ir užregistruoti šios analizės rezultatai (žr. 3.11 pav).



3.11. pav. Polimero P2 TGA analizės rezultatai.

Iš polimero P2 termogravimetrinės kreivės matome, kad polimero destrukcijos temperatūra  $T_{\text{destr.}}$  yra 284 °C. Terminė polimero destrukcija vyksta dvejomis stadijomis, kurių pradžios temperatūros yra 266 ir 380 °C.

### 3.5. Tyrimų rezultatų aptarimas

Iš FT-IR analizės rezultatų P1N, P1T ir P2 polimerai turi poliuretanams būdingas grupes. Iš polimerų DSC analizės rezultatų matome, kad P1N ir P1T yra amorfiniai polimerai, o P2 yra pusiau – kristalinis polimeras. Iš TGA analizės rezultatų matome, kad polimerų terminis stabilumas yra panašus ir vykstantis dvejomis stadijomis. P2 polimeras yra termiškai stabilus iki 284 °C temperatūros, turi kristalinių sričių, dėl kurių ši medžiaga galėtų pasižymėti formą „menančiomis“ savybėmis. Todėl nuspręsta projektuoti P2 polimero gamybos cechą.

## 4. Inžinerinė dalis

### 4.1. Technologinės linijos aprašymas

Pradinės medžiagos PEG 4000 džiovinimas vykdomas azeotropinės distiliacijos metodu. Į virimo talpą VT dozuojamas PEG 4000 iš sandėlio, naudojant sraigtinį dozatorių. Po to į virimo talpą VT iš sandėlio atidarius rutulinę sklendę SK1 dozuojamas toluenas. Toluenas dozavimas vykdomas matuojant pratekėjusį srauto kiekį per vamzdžio skerspjūvį. Sumaišius medžiagas, vykdomas virinimas ir susidarę tolueno ir vandens azeotrope garai (azeotrope  $T_v=84,1\text{ }^\circ\text{C}$ ) kondensuojami vamzdiniame šilumokaityje VŠ1 ir renkami dekanterio DK. Šilumokaicio VŠ1 šaldantysis agentas yra dejonizuotas  $15\text{ }^\circ\text{C}$  vanduo, kuris po proceso transportuojamas į vandens paruošimo įrenginius, kuriuose vanduo paruošiamas tolimesniam panaudojimui šilumos perdavimo procesuose. VT talpoje vykstantiems procesams atlikti naudojamas šildantysis agentas yra  $120\text{ }^\circ\text{C}$  vandens garai, kurie kondensuojasi ir patenka į vandens paruošimo įrenginius. Dekanterio DK atvėsintas azeotropinis mišinys atskiriamas į du nesimaišančius tarpusavyje skysčius, iš kurių apatinis sluoksnis yra vanduo, o viršutinis – toluenas. Viso procesu metu virinimo talpos viršuje esančiu termoporiniu temperatūros matuokliu matuojama išsiskiriančių garų temperatūra. Visas vanduo yra pašalintas, kai išsiskiriančių garų temperatūra yra aukštesnė nei  $84,1\text{ }^\circ\text{C}$ . Jei virinimo talpoje VT1 tolueno nepakanka, į VT1 iš sandėlio papildomai tiekiamas toluenas. Pašalinus visą esantį vandenį, buvusį PEG 4000 medžiagoje, iš virinimo talpos VT išgarinamas toluenas ( $T_v=110,8\text{ }^\circ\text{C}$ ). Pasibaigus distiliacijos procesui, vanduo iš dekanterio DK yra pašalinamas atidarius sklendę SK22. O toluenas iš dekanterio DK atidarius rutulinę sklendę SK2 išcentrinio siurbliu S1 yra grąžinamas į sandėlį. Atidarius rutulinę sklendę SK3, gautas PEG 4000 ir tolueno mišinys išcentrinio siurbliu S2 transportuojamas į purkštuvinę džiovyklą D1.

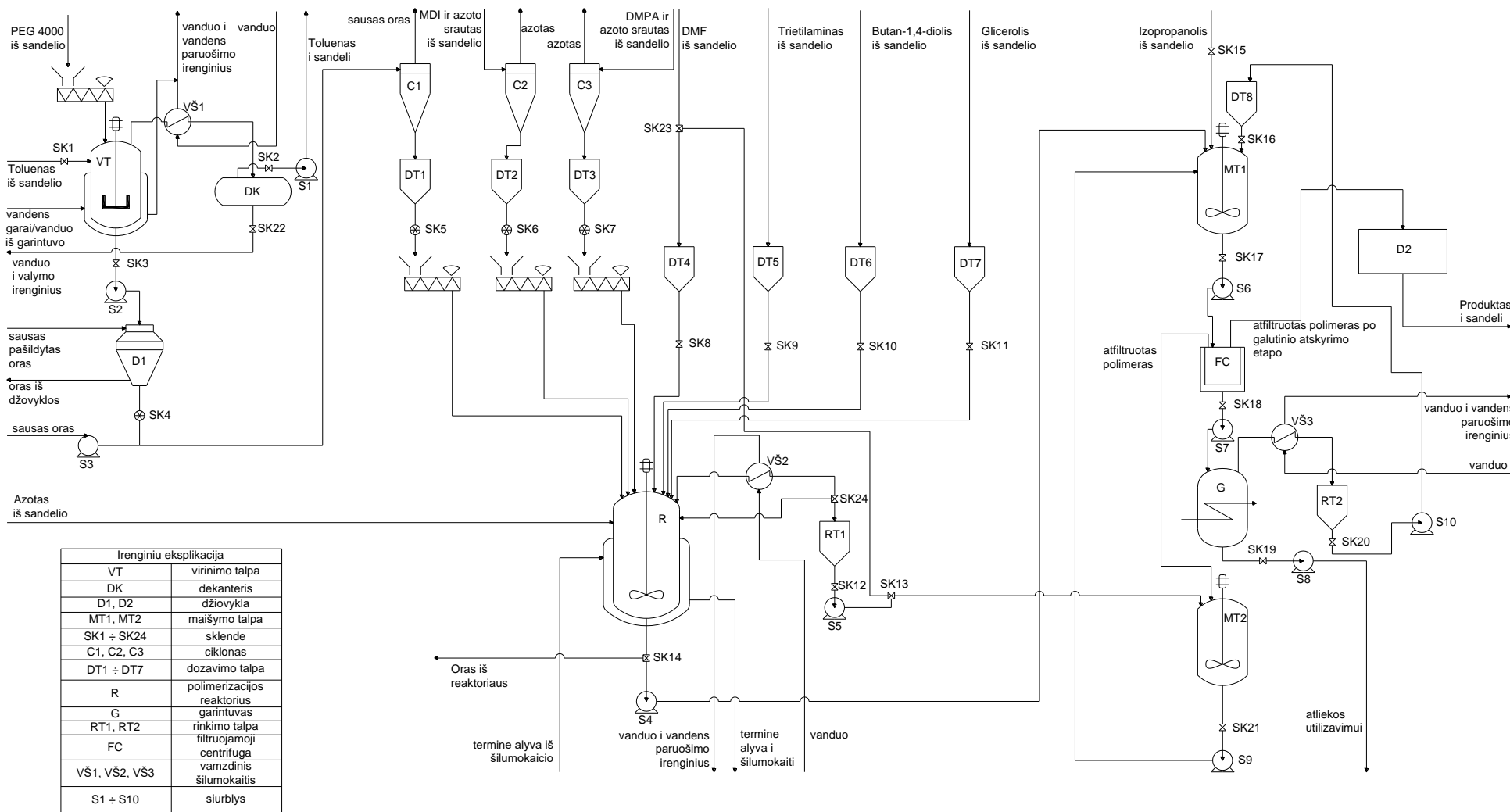
Iš džiovyklos D1 PEG 4000 ir tolueno suspensija, naudojant rotacinę sklendę SK4, tiekama į vamzdyną, kuriuo, naudojant išcentrinį kompresorių S3, PEG 4000 ir tolueno suspensija transportuojama į PEG 4000 dozavimo talpą DT1. Transportavimui naudojamas sausas oras. Transportuojama medžiaga patenka į cikloną C1, kuriame medžiaga yra nusodinama.

Polimerizacijai atlikti naudojamas reaktorius R, kuriame yra aštuonios įleidimo angos ir viena išleidimo anga, termoporinis temperatūros matuoklis, propelerinė maišyklė su asinchroniniu elektriniu varikliu. Reikiamai reakcijos temperatūrai pasiekti ir palaikyti naudojamas šildantysis ir šaldantysis agentas yra terminė alyva. Reakcijos metu susidarantys lakūs komponentai sukondensuojami ir grąžinami į reaktorių naudojant vamzdinį šilumokaity VŠ2. Šilumokaicio VŠ2 šaldantysis agentas yra dejonizuotas  $15\text{ }^\circ\text{C}$  vanduo, kuris po proceso

transportuojamas į vandens paruošimo įrenginius. Skysti reakcijos mišinio komponentai iš dozavimo talpų dozuojami, matuojant išleidžiamą srauto kiekį per angos skerspjūvio plotą. Reaktorius R užpildomas azotu. Į reaktorių R reakcijos tirpiklis bevandenis *N,N'*-dimetilformamidas dozuojamas iš talpos DT4, naudojant rutulinę sklendę SK8, PEG 4000 dozuojamas iš talpos DT1, naudojant sraigtinį dozatorių ir rotacinę sklendę SK5, ir 4,4'-metilendifenildiizocianatas iš talpos DT2, naudojant sraigtinį dozatorių ir rotacinę sklendę SK6. 4,4'-metilendifenildiizocianatas į DT2 talpą transportuojamas iš sandėlio, naudojant išcentrinį kompresorių. 4,4'-metilendifenildiizocianatui transportuoti naudojamos azoto dujos, o dozuojama medžiaga prieš patekdamą į DT2 talpą yra nusodinama ciklone C2. Įjungtama maišyklė, reakcijos mišinio temperatūra pakeliama iki 80 °C ir reakcija vykdoma 2 valandas. Po to, dozuojama 2,2-di(hidroksimetil)propioninė rūgštis iš dozavimo talpos DT3, naudojant juostinį dozuojantį transporterį ir rotacinę sklendę SK7, ir 4,4'-metilendifenildiizocianatas iš dozavimo talpos DT2, naudojant sraigtinį dozatorių ir rotacinę sklendę SK6. Reakcija tomis pačiomis sąlygomis vykdoma 2 valandas. Po to, į reaktorių R dozuojamas butan-1,4-diolis iš dozavimo talpos DT4, naudojant rutulinę sklendę SK10, kuris į talpą DT4 tiekiamas iš sandėlio 22 °C temperatūros. Taip pat, į reaktorių R dozuojamas 4,4'-metilendifenildiizocianatas iš dozavimo talpos DT2, naudojant sraigtinį dozatorių ir rotacinę sklendę SK6, ir reakcija vykdoma 2 valandas 80 °C temperatūroje. Tuomet, atidarius rutulinę sklendę SK11, į reaktorių R dozuojamas glicerolis iš dozavimo talpos DT5, kuris į talpą DT5 tiekiamas iš sandėlio. Reakcija vykdoma 80 °C temperatūroje 1 valandą. Po 1 valandos reaktoriaus mišinys atvėsinaamas iki 50 °C. Į reaktorių iš dozavimo talpos, naudojant rutulinę sklendę SK9, DT3 dozuojamas trietilaminas. Po pusės valandos reakcijos mišinio temperatūra pakeliama iki *N,N'*-dimetilformamido virimo ir vykdomas šio junginio garinimas. Susidarę *N,N'*-dimetilformamido garai sukondensuojami, naudojant vamzdinį šilumokaitį VŠ2. Naudojant rutulinę sklendę SK24, kondensatas renkamas rinkimo talpoje RT1, kurioje matuojamas sukondensuoto tirpiklio tūris. Garinimo procesas baigiamas, kai surenkama 2/3 tūrio, kuris buvo sunaudotas reakcijai atlikti.

Naudojant rutulinę sklendę SK14, gautas polimerizacijos mišinio koncentruotas tirpalas yra transportuojamas išcentrinio siurbliu S4 į maišymo talpą MT2, kuri yra pripildyta izopropanolio iš sandėlio ir yra įjungta maišyklė. Gaunama polimero suspensija, kuri, atidarius rutulinę sklendę SK17, išcentrinio siurbliu S5 transportuojama į filtruojamąją centrifugą FC, kurioje polimero nuosėdos atskiriamos nuo filtrato. Atidarius rutulinę sklendę SK18, filtratas išcentrinio siurbliu S6 transportuojamas į garintuvą G, kuriame izopropanolis išgarinamas, o jo garai sukondensuojami naudojant vamzdinį šilumokaitį VŠ3. Šilumokaičio VŠ3 šaldantysis agentas yra dejonizuotas 15 °C vanduo, kuris po proceso transportuojamas į vandens paruošimo įrenginius. Gautas kondensatas renkamas rinkimo talpoje RT2, iš kurios izopropanolis, atidarius

rutulinę sklendę SK20, išcentrinu siurbliu S9 transportuojamas į talpą DT8. Surinktas negrynas izopropanolis pakartotinai naudojamas polimero gryninimo procese, kol izopropanolio grynumas sumažėja iki 95 % pagal tūrį. Izopropanolio grynumas įvertinamas pagal tankį, kuris matuojamas imant mėginius iš talpos DT8. Likusios atliekos garintuve G, atidarius rutulinę sklendę SK19, transportuojamos išcentrinu siurbliu S7 iš cecho atliekų utilizavimui. Atflitruotos polimero nuosėdos mechaniškai transportuojamos į maišymo talpą MT2. Į talpą MT2 dozuojamas *N,N'*-dimetilformamidas, įjungžiama maišyklė ir maišoma kol polimero nuosėdos ištirpsta. *N,N'*-dimetilformamidas į talpą MT2 dozuojamas iš talpos RT1, o kai RT1 talpa yra tuščia – iš sandėlio. Gautas koncentruotas polimero tirpalas, atidarius rutulinę sklendę SK21, transportuojamas išcentrinu siurbliu S8 į maišymo talpą MT2, kurioje pakartojamas išsėdinimo ir, naudojant flitruojamąją centrifūgą FC, filtravimo procesai. Šis procesų ciklas atliekamas 3 kartus ir gaunamas pakankamo grynumo polimeras, kuris mechaniškai transportuojamas į būgninę džiovyklą D2. Išdžiovinus polimerą, jis yra mechaniškai transportuojamas į sandėlį.



4.1. pav. Formą „menancing“ polimero gamybos technologinė linija.

## 4.2. Medžiagų balansas

Medžiagų balansas apskaičiuojamas, remiantis laboratorinių eksperimentų metu naudotais medžiagų kiekiais.

Numatyta, kad per gamybos ciklą bus gaminama 8 kg galutinio produkto. Numatyta, s darbo dienų skaičius per metus yra 252 darbo dienos. Polimero gamybos ciklas trunka dvi darbo dienas. Bus dirbama 9 valandas gamybos ciklo pirmąją dieną ir 7 valandas gamybos ciklo antrąją dieną. Pirmąją gamybos ciklo dieną vykdoma polimero sintezė, o antrąją dieną – vykdomas polimero atskyrimas nuo reakcijos mišinio, gryninimas ir džiovinimas. PEG 4000 gryninimas atliekamas nepriklausomai nuo vykstančios gamybos ciklo stadijos.

### 4.2.1. Gamybos ciklo medžiagų balanso skaičiavimai

Žemiau pateikiami gamybai reikalingų medžiagų skaičiavimai, norint gauti 8 kg polimero. Polimero išeiga pagal reakcijoje naudojamų medžiagų masę (be tirpiklio), kuri gaunama gamybos proceso metu, yra 71,82 %.

Reikalingi medžiagų, kurios naudojamos medžiagų sintezėje, kiekiai ir masės yra apskaičiuojamos naudojantis formulėmis:

$$m_c(x) = \frac{m_c(\text{produkto}) \cdot ekv(x)}{Y(\text{produkto}) \cdot Sekv} \quad (4.1)$$

čia  $m_c(x)$  – reakcijos komponento x medžiagos kiekis, kuris reikalingas per gamybos ciklą gauti numatytam kiekiui polimero, kg;

$m_c(\text{produkto})$  – produkto kiekis, kuris planuojamas gauti per gamybos ciklą, kg;

$ekv(x)$  – reakcijos komponento x masės ekvivalentas reakcijos mišinyje, kg;

$Y(\text{produkto})$  – gamybos proceso metu gauto polimero išeiga, vieneto dalimis;

$Sekv$  – reakcijos mišinio komponentų (išskyrus reakcijos tirpiklį) masės ekvivalentų suma, kg.

$$n_c(x) = \frac{m_c(x)}{M_c(x)} \quad (4.2)$$

čia  $n_c(x)$  – reakcijos komponento x medžiagos kiekis, kuris reikalingas per gamybos ciklą gauti numatytam kiekiui polimero, mol;

$M_c(x)$  – reakcijos komponento x molinė masė, kg/mol.

Tuomet PEG 4000 medžiagos kiekis kilogramais ir moliais, reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$m_c(\text{PEG4000}) = \frac{8,0000 \cdot 6,0000}{0,7182 \cdot 8,6109} \approx 7,76 \text{ kg}$$

$$n_c(\text{PEG4000}) = \frac{7,7612}{4,0000} \approx 1,94 \text{ mol}$$



4,4'-metilendifenildiizocianato medžiagos kiekis kilogramais ir moliais, reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$m_c(MDI) = \frac{8,0000 \cdot 2,0020}{0,7182 \cdot 8,6109} \approx 2,59 \text{ kg}$$

$$n_c(MDI) = \frac{2,5896}{0,2503} \approx 10,35 \text{ mol}$$

Butan-1,4-diolio medžiagos kiekis kilogramais ir moliais, reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$m_c(BDO) = \frac{8,0000 \cdot 0,2253}{0,7182 \cdot 8,6109} \approx 0,29 \text{ kg}$$

$$n_c(BDO) = \frac{0,2914}{0,0901} \approx 3,23 \text{ mol}$$

2,2-di(hidroksimetil)propioninės rūgšties medžiagos kiekis kilogramais ir moliais, reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$m_c(DMPA) = \frac{8,0000 \cdot 0,1341}{0,7182 \cdot 8,6109} \approx 0,17 \text{ kg}$$

$$n_c(DMPA) = \frac{0,1735}{0,1341} \approx 1,29 \text{ mol}$$

Glicerolio medžiagos kiekis kilogramais ir moliais, reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$m_c(glicerolis) = \frac{8,0000 \cdot 0,1381}{0,7182 \cdot 8,6109} \approx 0,18 \text{ kg}$$

$$n_c(glicerolis) = \frac{0,1787}{0,0921} \approx 1,94 \text{ mol}$$

Trietilamino medžiagos kiekis kilogramais ir moliais, reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$m_c(trietilaminas) = \frac{8,0000 \cdot 0,1113}{0,7182 \cdot 8,6109} \approx 0,14 \text{ kg}$$

$$n_c(trietilaminas) = \frac{0,1440}{0,1012} \approx 1,42 \text{ mol}$$

Reakcijos tirpiklio *N,N'*-dimetilformamido medžiagos kiekis kilogramais ir moliais, reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$m_c(DMF) = \frac{8,0000 \cdot 37,7600}{0,7182 \cdot 8,6109} \approx 48,84 \text{ kg}$$

$$n_c(DMF) = \frac{48,8435}{0,0731} \approx 668,17 \text{ mol}$$

Skystų reakcijos mišinio komponentų tūris apskaičiuojamas:

$$V_c(x) = \frac{m_c(x)}{\rho(x)} \tag{4.3}$$

čia  $V_c(x)$  – reakcijos komponento  $x$  tūris, esant nurodytai temperatūrai ir slėgiui, l;

$\rho(x)$  – reakcijos komponento x tankis, esant nurodytai temperatūrai ir slėgiui, kg/l.

Butan-1,4-diolio tūris litrais (esant 25 °C temperatūrai ir 1 atm slėgiui), kuris reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$V_c(BDO) = \frac{0,2914}{1,0170} \approx 0,29 \text{ l}$$

Glicerolio tūris litrais (esant 20 °C temperatūrai ir 1 atm slėgiui), kuris reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$V_c(glicerolis) = \frac{0,1787}{1,2610} \approx 0,14 \text{ l}$$

Trietilamino tūris litrais (esant 20 °C temperatūrai ir 1 atm slėgiui), kuris reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$V_c(trietilaminas) = \frac{0,1440}{0,7255} \approx 0,20 \text{ l}$$

*N,N'*-dimetilformamido tūris litrais (esant 20 °C temperatūrai ir 1 atm slėgiui), kuris reikalingas polimero gamybos ciklui:

$$V_c(DMF) = \frac{48,8435}{0,9440} \approx 51,74 \text{ l}$$

Izopropanolio kiekis, naudojamas produkto gryninimo ciklui, yra įvertinamas pagal eksperimento metu naudotą izopropanolio kiekį:

$$V_c(\text{izopropanolis}) = \frac{m_c(\text{produkto}) \cdot V_E(\text{izopropanolis})}{m_E(\text{produkto})} \quad (4.4)$$

čia  $V_c(\text{izopropanolis})$  – izopropanolio kiekis, kuris reikalingas vienam produkto gryninimo ciklui, l;

$m_c(\text{produkto})$  – produkto medžiagos kiekis, kuris gaunamas gamybos ciklo metu, kg;

$V_E(\text{izopropanolis})$  – eksperimento metu per vieną polimero gryninimo ciklą naudoto izopropanolio tūris, l;

$m_E(\text{produkto})$  – produkto medžiagos kiekis, kuris gautas eksperimento metu, kg.

$$V_c(\text{izopropanolis}) = \frac{8,0000 \cdot 0,20000}{6,1828} \approx 258,78 \text{ l}$$

Tuomet trims gryninimo etapams atlikti (jei nenaudojamas regeneruotas izopropanolis) reikalingas izopropanolio kiekis yra 776,3473 l.

Pagal numatytą gryninimo procedūrą, iš reaktoriaus pašalinto *N,N'*-dimetilformamido kiekio pakanka atlikti polimero gryninimo procesams. Taigi, *N,N'*-dimetilformamido tūris produkto gryninimui yra lygus *N,N'*-dimetilformamido kiekiui, kuris naudojamas reakcijoje ir yra lygus 51,7410 l. Numatyta, kad PEG 4000 gryninimo etape bus naudojama 25 l tolueno. Numatoma, kad reikės apie 600 litrų dujinio azoto. Azoto svoris bus:

$$m_{azoto} = \frac{600 \cdot MW_{azoto}}{VM} = \frac{600 \cdot 28}{22,4} = 750 \text{ g} = 0,75 \text{ kg} \quad (4.5)$$

čia  $MW_{azoto}$  – azoto molinė masė, g/mol;

$VM$  – dujų molinis tūris, l/mol.

4.1. lentelė. Produkto gamybai (vieno gamybos ciklo) naudojamos medžiagos ir jų kiekiai.

Medžiaga	Medžiagos kiekis, mol	Masė, kg	Tūris, l
PEG 4000	1,94	7,76	-
DMF	668,17	48,84	51,74
MDI	10,35	2,59	-
Butan-1,4-diolis	3,23	0,29	0,29
2,2-di(hidroksimetil)propioninė rūgštis	1,29	0,17	-
Glicerolis	1,94	0,18	0,14
Trietilaminas	1,42	0,14	0,20
Izopropanolis	-	-	776,35
DMF polimero grynimui	-	-	51,74
Toluenas	-	-	25
Azotas	-	0,75	-

#### 4.2.2. Metinės gamybos medžiagų balansas

Metiniai medžiagų kiekiai kilogramais, moliais ir litrais apskaičiuojami pagal šias formules:

$$m_M(x) = \frac{m_c(x) \cdot D_M}{D_C} \quad (4.6)$$

čia  $m_M(x)$  – produkto arba produkto gamybai naudojamo komponento x kiekis per metus, kg;

$D_M$  – darbo dienų skaičius per metus;

$D_C$  – gamybos ciklo trukmė, darbo dienomis.

$$n_M(x) = \frac{n_c(x) \cdot D_M}{D_C} \quad (4.7)$$

čia  $n_M(x)$  – produkto arba produkto gamybai naudojamo komponento x kiekis per metus, mol.

$$V_M(x) = \frac{V_c(x) \cdot D_M}{D_C} \quad (4.8)$$

čia  $V_M(x)$  – produkto gamybai naudojamo skysto komponento x tūris per metus, l.

Tuomet, pagaminamo produkto kiekis per metus:

$$m_M(\text{produkto}) = \frac{8,0000 \cdot 252}{2} = 1008 \text{ kg}$$

PEG 4000 kiekis, reikalingas gamybai per metus:

$$m_M(\text{PEG4000}) = \frac{7,7612 \cdot 252}{2} \approx 977,91 \text{ kg}$$

$$n_M(\text{PEG4000}) = \frac{1,9403 \cdot 252}{2} \approx 244,48 \text{ mol}$$

4,4'-metilendifenildiizocianato kiekis, reikalingas gamybai per metus:

$$m_M(\text{MDI}) = \frac{2,5896 \cdot 252}{2} \approx 326,29 \text{ kg}$$

$$n_M(\text{MDI}) = \frac{10,3482 \cdot 252}{2} \approx 1303,87 \text{ mol}$$

Butan-1,4-diolio kiekis, reikalingas gamybai per metus:

$$m_M(\text{BDO}) = \frac{0,2914 \cdot 252}{2} \approx 36,72 \text{ kg}$$

$$n_M(\text{BDO}) = \frac{3,2338 \cdot 252}{2} \approx 407,46 \text{ mol}$$

$$V_M(\text{BDO}) = \frac{0,2866 \cdot 252}{2} \approx 36,10 \text{ l}$$

2,2-di(hidroksimetil)propioninės rūgšties kiekis, reikalingas gamybai per metus:

$$m_M(\text{BDO}) = \frac{0,1735 \cdot 252}{2} \approx 21,86 \text{ kg}$$

$$n_M(\text{BDO}) = \frac{1,2935 \cdot 252}{2} \approx 162,98 \text{ mol}$$

Glicerolio kiekis kilogramais ir moliais, reikalingas gamybai per metus:

$$m_M(\text{glicerolis}) = \frac{0,1787 \cdot 252}{2} \approx 22,51 \text{ kg}$$

$$n_M(\text{glicerolis}) = \frac{1,9403 \cdot 252}{2} \approx 244,48 \text{ mol}$$

$$V_M(\text{glicerolis}) = \frac{0,1417 \cdot 252}{2} \approx 17,85 \text{ l}$$

Trietilamino kiekis, reikalingas gamybai per metus:

$$m_M(\text{trietilaminas}) = \frac{0,1440 \cdot 252}{2} \approx 18,14 \text{ kg}$$

$$n_M(\text{trietilaminas}) = \frac{1,4229 \cdot 252}{2} \approx 179,28 \text{ mol}$$

$$V_M(\text{trietilaminas}) = \frac{0,1985 \cdot 252}{2} \approx 25,01 \text{ l}$$

Reakcijos tirpiklio *N,N'*-dimetilformamido kiekis, reikalingas gamybai per metus:

$$m_M(DMF) = \frac{48,8435 \cdot 252}{2} \approx 6154,28 \text{ kg}$$

$$n_M(DMF) = \frac{668,1740 \cdot 252}{2} \approx 84189,93 \text{ mol}$$

$$V_M(DMF) = \frac{51,7410 \cdot 252}{2} \approx 6519,37 \text{ l}$$

Izopropanolio kiekis (kai nenaudojamas regeneruotas izopropanolis), reikalingas polimero gryninimui per metus:

$$V_M(\text{izopropanolis}) = \frac{776,3473 \cdot 252}{2} \approx 97819,76 \text{ l}$$

Numatoma, kad bus galima panaudoti izopropanolį bent 10 – 12 kartų, tuomet metinis izopropanolio kiekis bus apie 7860 litrų. Kadangi, toluenas taip pat bus regeneruojamas, numatyta, kad metams šios medžiagos reikės apie 230 litrų.

Azoto kiekis:

$$m_M(\text{azoto}) = \frac{0,75 \cdot 252}{2} \approx 94,50 \text{ kg}$$

4.2. lentelė. Produkto gamybai per metus naudojamos medžiagos ir jų kiekiai.

Medžiaga	Medžiagos kiekis, mol	Masė, kg	Tūris, l
PEG 4000	244.47	977.91	-
MDI	1303.8736	326.29	-
Butan-1,4-diolis	407.46	36.72	36.11
2,2-di(hidroksimetil)propioninė rūgštis	162.98	21.86	-
Glicerolis	244.48	22.51	17.85
Trietilaminas	179.28	18.14	25.01
DMF	84189.93	6154.28	6519.37
Izopropanolis	-	-	7860.00
DMF polimero gryninimui	-	-	6519.37
Toluenas	-	200.00	230.00
Azotas (skystas)	-	94.50	-

### 4.3. Įrenginių parinkimas ir skaičiavimai

#### 4.3.1. Virinimo talpos parinkimas ir skaičiavimai

Numatoma vieno gryninimo ciklo metu išgryninti 32 kg PEG 4000. Numatomas drėgmės kiekis pradinėje medžiagoje yra 2 %. Tuomet gryninamas kiekis yra:

$$m_{PEG4000PR} = \frac{m_{PEG4000} \cdot 2}{0,98} \approx 32,65 \text{ kg} \quad (4.9)$$

$m_{PEG4000PR}$  – pradinis gryninamas PEG 4000 kiekis, kg;

$m_{PEG4000}$  – išgrynintas PEG 4000 kiekis, kg.

Virimo metu susidaro azeotropo garai, kurių sudėtyje yra 79,8 masės procentų tolueno ir 20,2 masės procentų vandens garų. Tuomet su pašalinamu vandens kiekiu nuvirs 2,58 kg tolueno.

Kad lengvai vyktų azeotropo virimas, numatoma naudoti 25 litrus tolueno. Tuomet bendras mišinio tūris ir reikalingas minimalus virimo talpos tūris yra:

$$V_{mišinio} = V_{tolueno} \cdot \rho_{tolueno} + m_{PEG4000PR} \cdot \rho_{PEG4000} = 25 \cdot 0,87 + 32,65 \cdot 1,2 \approx 64,18 \text{ l} \quad (4.10)$$

$V_{mišinio}$  – mišinio tūris, l;

$\rho_{tolueno}$  – tolueno tankis, kg/l;

$\rho_{PEG4000}$  – PEG4000 tankis, kg/l.

$$V_{minimalus} = \frac{V_{mišinio} \cdot 3}{2} \approx 96,28 \text{ l}$$

Pagal talpą parenkamas 26 galonų (98,42 l) talpos „Precision Stainless Inc“ nerūdijančio plieno reaktorius [5].

4.3. lentelė. „Precision Stainless Inc“ nerūdijančio plieno reaktoriaus duomenys.

Gamintojas	Precision Stainless Inc
Talpa	26 gal/98,42 l
Matmenys	457,2 x 609,6 mm
Medžiaga	Nerūdijantis plienas 316L
Reaktoriaus darbinis slėgis ir temperatūra	~3,4 bar esant -28,9 – 176,7 °C temperatūrai
Marška	~6,9 bar esant -28,9 – 176,7 °C temperatūrai
Viršutinės angos	203,2; 76,2 ir 50,8 mm skersmens
Šoninės angos	25,4 mm skersmens (trys)
Apatinė anga	50,8 mm skersmens



4.2. „Precision Stainless Inc“ nerūdijančio plieno reaktorius [5].

Šiluminiai skaičiavimai atliekami pagal lygtį:

$$Q = m_x \cdot c_x \cdot (T_2 - T_1) + m_x \cdot Sl_x \quad (4.11)$$

$Q$  – šiluminiams procesams atlikti reikalinga šiluminė energija, kJ;

$m_x$  – mišinio komponento x masė, kg;

$c_x$  - mišinio komponento x specifinė šiluminė talpa, kJ/(kg·K);

$T_1$  – pradinė mišinio temperatūra, °C/K;

$T_2$  – galutinė mišinio temperatūra, °C/K;

$Sl_x$  – slaptoji garavimo/kondensacijos ar slaptoji lydymosi/kristalizacijos šiluma, kJ/kg.

Tuomet, reikalinga šiluminė energija pakelti virinimo talpos mišinio temperatūrą iki 84,1 °C temperatūros (azeotropo virimo temperatūros):

$$Q = 32 \cdot 0,006236 \cdot (59 - 20) + 32 \cdot 188,406 + 32 \cdot 2,1353 \cdot (84,1 - 59) + 0,65 \cdot 4,18 \cdot (84,1 - 20) + 21,75 \cdot 1,707 \cdot (84,1 - 20) + 3,23 \cdot 1873,83 \approx 16364,72 \text{ kJ}$$

Šildoma 160 °C vandens garais. Galutinė šildančio agento temperatūra 85 °C. Šildančių garų kiekis apskaičiuojamas:

$$m_{\text{vandens garų}} = \frac{Q}{Sl_{\text{vandens garų}} + c_{\text{vandens garų}} \cdot (T_2 - T_1)} \quad (4.12)$$

$$= \frac{16364,72}{2757,4 + 4,3354 \cdot (160 - 85)} = 5,31 \text{ kg}$$

$m_{vandens\ garų}$  – vandens garų masė, kg.

Tuomet, šildančių garų tūris:

$$V_{vandens\ garų} = \frac{m_{vandens\ garų}}{\rho_{vandens\ garų}} = \frac{5,31}{1,1221} \approx 4,73\ m^3 \quad (4.13)$$

$V_{vandens\ garų}$  – vandens garų tūris, m<sup>3</sup>;

$\rho_{vandens\ garų}$  – vandens garų tankis, kg/m<sup>3</sup>.

Šildant šildantįjį agentą gamtinėmis dujomis, reikalingas gamtinių dujų kiekis apskaičiuojamas:

$$m_{gamtinių\ dujų} = \frac{Q}{DQ_{gamtinių\ dujų}} = \frac{16364,72}{54000} = 0,303\ kg \quad (4.14)$$

$m_{gamtinių\ dujų}$  – gamtinių dujų masė, kg;

$DQ_{gamtinių\ dujų}$  – gamtinių dujų degimo šiluma, kJ/kg.

Virinimo talpos šildymo trukmė apskaičiuojama [34]:

$$t = \frac{m_x \cdot c_x}{\lambda_s \cdot A} \cdot \ln\left(\frac{T_a - T_2}{T_a - T_1}\right) \quad (4.15)$$

$t$  – šildymo trukmė, s;

$\lambda_s$  – bendras šilumos perdavimo koeficientas, W/(m<sup>2</sup>·K);

$A$  – šilumos perdavimo paviršiaus plotas, m<sup>2</sup>;

$T_a$  – šildančio/šaldančio agento temperatūra, °C/K.

Šilumos perdavimo koeficientas, kai vykdomas maišymas [6]:

$$\lambda_m = a \cdot \left(\frac{L^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu}\right)^{2/3} \cdot \left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu b}{\mu w}\right)^{0,14} \cdot \frac{k}{Dv} \quad (4.16)$$

$\lambda_m$  – šilumos perdavimo koeficientas, W/(m<sup>2</sup>·K);

$a$  – koeficientas (0,54 – kai naudojama propelerinis maišiklis; 0,46 – kai naudojama inkarinis maišiklis);

$L$  – maišiklio skersmuo, m;

$N$  – maišiklio sukimosi dažnis, aps/h;

$\mu$  – klampa, Pa·s;

$k$  – šiluminis laidumas, W/(m·K);

$c$  – specifinė šiluminė talpa, J/(kg·K);

$\mu b$  ir  $\mu w$  – atitinkamai skysčio klampa talpoje ir prie sienelės (priimama, kad šių klampų santykis yra 1), Pa·s;

$Dv$  – talpos skersmuo, m.

Tuomet šilumos perdavimo koeficientas:



$$\lambda_m = 0,46 \cdot \left( \frac{0,414^2 \cdot 3000 \cdot 1065,67}{0,000573} \right)^{2/3} \cdot \left( \frac{1988,61 \cdot 0,000573}{0,1543} \right)^{1/3} \cdot (1)^{0,14} \cdot \frac{0,1543}{0,46}$$

$$\approx 149828,41 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Bendras šiluminis laidumas:

$$\lambda_s = \left( \frac{1}{\lambda_j} + \frac{1}{\lambda_r} + \frac{d}{k} + \frac{1}{\lambda_m} \right)^{-1} \quad (4.17)$$

$\lambda_s$  – bendras šilumos perdavimo koeficientas,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

$\lambda_j$  – išorinis nešvarumų šilumos perdavimo koeficientas,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

$\lambda_r$  – vidinis nešvarumų šilumos perdavimo koeficientas,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

$k$  – marškos šiluminio laidumo koeficientas,  $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ;

$d$  – marškos storis, m.

Tuomet:

$$\lambda_s = \left( \frac{1}{5000} + \frac{1}{3000} + \frac{0,02}{12} + \frac{1}{149828,41} \right)^{-1} \approx 453,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Tada, šildymo trukmė:

$$t = \frac{32 \cdot 6,236 + 21,75 \cdot 1707 + 0,65 \cdot 4180}{453,17 \cdot 0,754} \cdot \ln \left( \frac{160 - 84,1}{160 - 20} \right) \approx 71,78 \text{ s}$$

Kai vanduo yra pašalinamas iš virinimo talpos, mišinio temperatūra pakeliama iki  $111 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatūros (tolueno virimo temperatūros). Tuomet, reikalingas šilumos kiekis šiam procesui atlikti apskaičiuojamas:

$$Q = 32 \cdot 2,1353 \cdot (111 - 84,1) + (25,75 - 2,58) \cdot 1,707 \cdot (111 - 84,1) + 5,60 \cdot 360,10$$

$$\approx 4735,91 \text{ kJ}$$

Šildoma  $160 \text{ }^\circ\text{C}$  vandens garais. Galutinė šildančio agento temperatūra  $85 \text{ }^\circ\text{C}$ . Šildančių garų kiekis apskaičiuojamas:

$$m_{\text{vandens garų}} = \frac{4735,91}{2757,4 + 4,3354 \cdot (160 - 85)} = 1,54 \text{ kg}$$

Tuomet, šildančių garų tūris:

$$V_{\text{vandens garų}} = \frac{1,54}{1,1221} \approx 1,37 \text{ m}^3$$

$\rho_{\text{vandens garų}}$  – vandens garų tankis,  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

Šildant šildantįjį agentą gamtinėmis dujomis, reikalingas gamtinių dujų kiekis apskaičiuojamas:

$$m_{\text{gamtinių dujų}} = \frac{4735,91}{54000} \approx 0,088 \text{ kg}$$

Šilumos perdavimo koeficientas, kai vykdomas maišymas:

$$\lambda_m = 0,46 \cdot \left( \frac{0,414^2 \cdot 3000 \cdot 971,37}{0,0914} \right)^{2/3} \cdot \left( \frac{2067,6 \cdot 0,0914}{0,233} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (1)^{0,14} \cdot \frac{0,233}{0,46}$$

$$\approx 7225,45 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Bendras šiluminis laidumas:

$$\lambda_s = \left( \frac{1}{5000} + \frac{1}{3000} + \frac{0,02}{12} + \frac{1}{7225,45} \right)^{-1} \approx 393,95 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Šildymo trukmė:

$$t = \frac{32 \cdot 2135,3 + 21,75 \cdot 1707}{393,95 \cdot 0,754} \cdot \ln \left( \frac{160 - 111}{160 - 84,1} \right) \approx 163,75 \text{ s}$$

Iš viso pašalinama 6,44 l tolueno. Po virinimo proceso, virinimo talpos mišinys atvėsina iki 20 °C temperatūros.

Reikalingas šilumos kiekis, kuris turi būti pašalintas iš mišinio apskaičiuojamas:

$$Q = -(32 \cdot 0,006236 \cdot (20 - 59) - 32 \cdot 188,406 + 32 \cdot 2,1353 \cdot (59 - 111) + 16,15 \cdot 1,707 \cdot (20 - 111) - 16,15 \cdot 360,1) \approx 16873,98 \text{ kJ}$$

Šaldantysis agentas - 10 °C temperatūros vanduo. Reikalingas šaldančiojo agento kiekis:

$$m_{\text{šald.agento}} = \frac{16873,98}{4,3354 \cdot (80 - 10)} = 57,67 \text{ kg}$$

Šaldančiojo agento tūris:

$$m_{\text{šald.agento}} = \frac{57,67}{999,7} = 57,69 \text{ kg}$$

Šilumos perdavimo koeficientas, kai vykdomas maišymas:

$$\lambda_m = 0,46 \left( \frac{0,414^2 \cdot 3000 \cdot 992,12}{0,1020} \right)^{2/3} \cdot \left( \frac{2079,19 \cdot 0,1020}{0,1639} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (1)^{0,14} \cdot \frac{0,1639}{0,46}$$

$$\approx 4803,58 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Bendras šiluminis laidumas:

$$\lambda_s = \left( \frac{1}{5000} + \frac{1}{3000} + \frac{0,02}{12} + \frac{1}{4803,58} \right)^{-1} \approx 383,41 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$$

Šildymo trukmė:

$$t = \frac{32 \cdot 2135,3 + 16,15 \cdot 1707}{383,41 \cdot 0,754} \cdot \ln \left( \frac{10 - 20}{10 - 111} \right) \approx 801 \text{ s}$$

Maišikliui reikalinga galia apskaičiuojama:

$$P = P_o \cdot \rho \cdot N^3 \cdot L^5 \tag{4.18}$$

$P$  – galia, kW;

$\rho$  – mišinio tankis, kg/m<sup>3</sup>;

$N$  – maišiklio apsisukimo greitis, aps/s.

$P_o$  – maišiklio galios skaičius, bedimensinis dydis.

Galios skaičius randamas iš galios skaičiaus priklausomybės nuo Reinoldso kriterijaus [6].

Reinoldso kriterijus apskaičiuojamas:

$$Re = \frac{\rho \cdot N \cdot L^2}{\mu} \quad (4.19)$$

Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{971,37 \cdot 0,83 \cdot 0,414^2}{0,0914} \approx 1517$$

Pagal Reinoldso kriterijų galios skaičius yra 0,3

Tuomet, maišikliui sukti reikalinga variklio galia:

$$P = 0,3 \cdot 971,37 \cdot 0,83^3 \cdot 0,414^5 \approx 2,05 \text{ W}$$

### 4.3.2. Dekanterio skaičiavimai

Dekanteris yra cilindro formos horizontali talpa su trimis angomis ir slėgio lyginimo ventiliu. Dekanterio talpoje esantis bendras tolueno ir vandens tūris apskaičiuojamas:

$$V_B = V_T + V_V = 6,44 + 0,65 = 7,09 \text{ l} \quad (4.20)$$

$V_B$  – bendras dekanterio mišinio tūris, l;

$V_T$  – tolueno tūris dekanteryje, l;

$V_V$  – vandens tūris dekanteryje, l.

Reikalingas minimalus dekanterio tūris:

$$V_{dek} = \frac{V_B \cdot 3}{2} \approx \frac{7,09 \cdot 3}{2} = 10,64 \text{ l} \quad (4.21)$$

$V_{dek}$  – dekanterio talpos tūris, l.

Reikalingas tolueno ir vandens išsisluoksniavimo laikas apskaičiuojamas [6]:

$$T = 0,1 \cdot \frac{\mu_t}{SG_v - SG_t} \cdot 60 = 0,1 \cdot \frac{0,59}{1 - 0,87} \cdot 60 \approx 27,23 \text{ min} \quad (4.22)$$

$T$  – išsisluoksniavimo laikas, min;

$\mu_t$  – tolueno klampa, mPa·s;

$SG_v$  ir  $SG_t$  – atitinkamai vandens ir tolueno specifinis tankis pagal vandenį, bedimensis.

### 4.3.3. Purkštuvinės džiovyklos skaičiavimai

Purkštuvinėje džiovykloje tiekiamas srautas atomizatoriuje išskaidomas į mažo skersmens lašelius, todėl smarkiai padidėja džiovinamo paviršiaus plotas ir pagreitėja lakiojo komponento išgarinimo greitis. Purkštuvinės džiovyklos džiovinimo procese galima išskirti 4 etapus: atomizavimo, kontaktavimo su džiovinamuoju šiltu dujų srautu, lakiojo komponento išgarinimo ir produkto surinkimo.

Džiovinamas srautas susideda iš gryno PEG 4000 ir tolueno. Tolueno kiekis sraute yra 40 % masės. PEG 4000 džiovinama masė yra 32 kg.

Tolueno masė:

$$m_{tol-in} = \frac{32 \cdot 0,4}{(1 - 0,4)} \approx 21,33 \text{ kg}$$

Bendras džiovinamo srauto kiekis:

$$m_{srauto-in} = 21,33 + 32 = 53,33 \text{ kg}$$

Tolueno kiekis PEG 4000 po džiovinimo yra 0,5 %. Tolueno kiekis išeinančiame sraute:

$$m_{tol-out} = \frac{32 \cdot 0,005}{(1 - 0,005)} \approx 0,16 \text{ kg}$$

Bendras išdžiovinto srauto kiekis:

$$m_{srauto-out} = 0,16 + 32 = 32,16 \text{ kg}$$

Numatytas į purkštuvinę džiovyklą tiekiamo srauto masės debitas:

$$G_{srauto-in} = \frac{m_{srauto-in}}{t_{proc}} = \frac{53,33}{1080} \approx 0,0494 \text{ kg/s} \quad (4.23)$$

$G_{srauto-in}$  – ieinančio džiovinamo srauto masės debitas, kg/s;

$t_{proc}$  – laikas, per kurį į džiovyklą pateks visas džiovinamas srautas, s.

PEG 4000 srauto masės debitas (pagal 4.21):

$$G_{PEG4000-in} = \frac{53,33}{1080} \approx 0,0296 \text{ kg/s}$$

Išgarinamo tolueno masės debitas:

$$G_{tol-išg} = \frac{(m_{tol-in} - m_{tol-out})}{1080} \approx 0,0196 \text{ kg/s} \quad (4.24)$$

$G_{tol-išg}$  – išgarinamo tolueno masės debitas, kg/s.

Džiovinimui reikalingo azoto dujų srauto masės debitas:

$$G_{N2-in} = \frac{G_{tol-išg}}{(Y_o - Y_i)} = \frac{0,0196}{(0,0386 - 0)} \approx 0,5077 \text{ kg/s}$$

Džiovyklos šilumos balansas [7]:

$$\Delta H_{sauso N2} + \Delta H_{tol garų} + \Delta H_{garinimo} + \Delta H_{skysto tol} + \Delta H_{sauso PEG4000} = 0 \quad (4.25)$$

$$\Delta H_{sauso N2} = G_{N2-in} \cdot c_{N2} \cdot (T_{azoto-in} - T_{azoto-out}) \quad (4.26)$$

$$\Delta H_{tol garų} = G_{tol-in} \cdot c_{tolg} \cdot (T_{azoto-in} - T_{azoto-out}) \quad (4.27)$$

$$\Delta H_{garinimo} = G_{tol-išg} \cdot \Delta H_{vap_{tol}} \quad (4.28)$$

$$\Delta H_{skysto tol} = G_{tol-out} \cdot c_{tol} \cdot (T_{PEG4000-in} - T_{PEG4000-out}) \quad (4.29)$$

$$\Delta H_{sauso PEG4000} = G_{PEG4000-in} \cdot c_{PEG4000} \cdot (T_{PEG4000-in} - T_{PEG4000-out}) \quad (4.30)$$

$c_{N2}$ ,  $c_{tol}$ ,  $c_{tolg}$  ir  $c_{PEG4000}$  – atitinkamai azoto, tolueno, tolueno garų ir PEG 4000 specifinė šiluminė talpa, kJ/(kg·K);

$\Delta H_{vap_{tol}}$  – tolueno garinimo šiluma, kJ/kg.

Numatoma džiovinti pašildytu sausu azoto dujų srautu. Azotas džiovyklą palieka 323,15 K (50 °C). PEG4000 ir tolueno srauto, kuris patenka į džiovyklą, temperatūra 293,15 K (20 °C), o išdžiovinto produkto srauto temperatūra 313,15 K (40 °C). Iš džiovyklos šilumos balanso apskaičiuojama pradinė džiovinančio sauso azoto srauto temperatūra:

$$0,5077 \cdot 1,04 \cdot (T_{azoto-in} - 323,15) + \frac{21,33}{1080} \cdot 1,125 \cdot (T_{azoto-in} - 323,15) - 0,0196 \cdot 397,13 + \frac{0,16}{1080} \cdot 1,707 \cdot (293,15 - 313,15) + 0,0296 \cdot 0,0062 \cdot (293,15 - 313,15) = 0$$

Lygtis išspręsta, pasitelkus MS Office Excel funkciją „Solver“ ir gauta pradinė džiovinančio sauso azoto srauto temperatūra :

$$T_{azoto-in} \approx 337,39 K \approx 64,24 ^\circ C$$

Pasirenkama, kad purkštuvinės džiovyklos atomizatorius yra dviejų srautų purkštuvinis atomizatorius. Šiame atomizatoriuje srautas išskaidomas į atomizatorių tiekiant suspaustas džiovinimui naudojamas dujas. Šiuo atomizatoriumi pasiekama, kad gauto produkto dalelių dydis yra 10 – 50 μm. Atomizuoto srauto lašelių dydis apskaičiuojamas pagal Geng Wang'o koreliaciją [7]:

$$d_{50} = 0,1 \cdot \rho_{N_2}^{-0,325} \cdot \left( \frac{G_{srauto-in}}{G_{srauto-in} \cdot \frac{G_{srauto-in}}{F} + G_{N_2-in} \cdot \frac{G_{N_2-in}}{F}} \right)^{0,55} \\ = 0,1 \cdot 5,225^{-0,325} \cdot \left( \frac{0,0296}{0,0296 \cdot \frac{0,0296}{1,56 \cdot 10^{-6}} + 0,5077 \cdot \frac{0,5077}{1,56 \cdot 10^{-6}}} \right)^{0,55} \quad (4.31) \\ \approx 1,26 \cdot 10^{-5} m \approx 12,64 \mu m$$

$d_{50}$  – atomizuoto srauto lašelio dydžio mediana, m;

$\rho_{N_2}$  – azoto dujų srauto tankis, kg/m<sup>3</sup>;

$F$  – atomizatoriaus angos skerspjūvio plotas, m<sup>2</sup>.

Priimta, kad vykdomas džiovinimas 5 bar azoto srautu. Atomizatoriaus angos skersmuo 0,0025 m.

Priimama, kad produkto dalelės džiovinimo laikas 25 s. Įrenginio tūris apskaičiuojamas pagal dujų tūrinį debitą [7]:

$$V_{PD} = \frac{G_{N_2-in}}{\rho_{N_2}} \cdot 25 = \frac{0,5077}{5,225} \cdot 25 \approx 2,42 m^3 \quad (4.32)$$

Įrenginio matmenys [7]:

$$D_{PD} = \left( \frac{V_{PD}}{1,47} \right)^{1/3} = \left( \frac{2,42}{1,47} \right)^{1/3} \approx 1,18 m \quad (4.33)$$

$$H_{PD} = \frac{V_{PD} \cdot 4}{\pi \cdot D_{PD}} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot D_{PD} = \frac{1,18 \cdot 4}{\pi \cdot 1,18} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,18 \approx 1,19 \text{ m} \quad (4.34)$$

$D_{PD}$  – įrenginio skersmuo, m;

$H_{PD}$  – įrenginio aukštis, m.

#### 4.3.4. Reaktoriaus parinkimas ir skaičiavimai

Reaktoriaus talpa nustatoma pagal naudojamų medžiagų bendrą tūrį sintezės ciklui.

Mišinio tūris apskaičiuotas, naudojantis formule:

$$V_B = \frac{m_x}{\rho_x} \quad (4.35)$$

$m_x$  – komponento x masė, kg.

$$V_B = \frac{7.76}{1092.6} + \frac{2.59}{1180} + \frac{0.29}{1017} + \frac{0.17}{1300} + \frac{0.18}{1261} + \frac{0.14}{725,5} + \frac{48.84}{944} \approx 0.061163 \text{ m}^3$$

Reaktoriaus minimalus tūris apskaičiuojamas pagal (4.19) formulę:

$$V_{reaktoriaus} = \frac{0.061163 \cdot 3}{2} \approx 0,09304 \text{ m}^3 \approx 93,04 \text{ l}$$

Pagal tūrį ir konstrukcines medžiagas parenkamas gamintojo „Pure-Flo“ reaktorius [8].

4.4. lentelė. „Pure-Flo“ nerūdijančio plieno reaktoriaus duomenys.

Gamintojas	Pure-Flo
Talpa	30 gal/113,56 l
Matmenys	508 x 508 mm
Medžiaga	Nerūdijantis plienas 304L
Reaktoriaus darbinis slėgis ir temperatūra	~1,52 bar, -28,9 – 176,7 °C
Marška	10,34 bar esant -28,9 – 176,7 °C temperatūrai
Viršutinės angos	76,2 (du), 152,4 (su permatomu stiklu); 50,8 (du); 38,1 (keturi) ir 101,6 mm skersmens
Šoninės angos	38,1; 38,1; 9,5 mm skersmens
Apatinė anga	38,1 mm skersmens



4.3 pav. „Pure-Flo“ nerūdijančio plieno reaktorius [8].

Bendras reaktoriaus mišinio tankis:

$$\rho_{bendr} = i_x \cdot \rho_x \quad (4.36)$$

$$i_x = \frac{V_x}{V_B} \quad (4.37)$$

$\rho_{bendr}$  – bendras mišinio tankis,  $\text{kg/m}^3$ ;

$i_x$  – komponento x tūrio dalis mišinyje;

$\rho_x$  – komponento x tankis,  $\text{kg/m}^3$ ;

$V_x$  – komponento x tūris mišinyje,  $\text{m}^3$ ;

$V_B$  – komponentų bendras tūris,  $\text{m}^3$ .

Panaudojus (4.35) ir (4.36) lygtis, apskaičiuojame:

$$\begin{aligned} \rho_{bendr} = & \frac{0,006468}{0,061163} \cdot 1092,6 + \frac{0,002915}{0,061163} \cdot 1180 + \frac{0,000287}{0,061163} \cdot 1017 + \frac{0,000133}{0,061163} \cdot 1300 \\ & + \frac{0,000142}{0,061163} \cdot 1261 + \frac{0,000198}{0,061163} \cdot 725,5 + \frac{0,051741}{0,061163} \cdot 944 \approx 969,33 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Pradinė mišinio temperatūra 20 °C. Mišinio temperatūra pakeliama iki 80 °C. Reikalingas šilumos kiekis pakelti mišinio temperatūrai yra apskaičiuojamas:

$$Q = 32 \cdot 0,006236 \cdot (59 - 20) + 32 \cdot 188,406 + 32 \cdot 2,1353 \cdot (80 - 59) + 2,59 \cdot 1,799 \cdot (80 - 20) + 0,29 \cdot 2,2204 \cdot (80 - 20) + 0,17 \cdot 0,1860 \cdot (80 - 20) + 0,18 \cdot 2,4096 \cdot (80 - 20) + 0,14 \cdot 2,1388 \cdot (80 - 20) + 48,84 \cdot 2,06 \cdot (80 - 20) \approx 8858,86 \text{ kJ}$$

Šildančiuoju agentu pasirinkta terminė silikoninė alyva Dynalene 600, pasižyminti mažu toksiškumu, dideliu terminiu stabilumu, yra bekvapė, ją lengva transportuoti siurbliais [9]. Šildančiojo agento pradinė temperatūra 171 °C, galutinė temperatūra 85 °C. Reikalingas šildančiojo agento kiekis apskaičiuojamas pagal (4.11) lygtį:

$$m_{\text{šild.agento}} = \frac{8858,86}{1,556 \cdot (80 - 20)} \approx 66,20 \text{ kg}$$

Alyvos tūris apskaičiuojamas pagal (4.12) lygtį:

$$V_{\text{vandens garų}} = \frac{66,20}{810} \approx 0,08173 \text{ m}^3 \approx 81,73 \text{ l}$$

Šildant šildantįjį agentą gamtinėmis dujomis, reikalingas gamtinių dujų kiekis apskaičiuojamas:

$$m_{\text{gamtinių dujų}} = \frac{8858,86}{54000} = 0,16 \text{ kg}$$

Šilumos perdavimo koeficientas dėl maišymo:

$$\lambda_m = 0,62 \cdot \left( \frac{0,17^2 \cdot 24000 \cdot 969,33}{0,0217} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left( \frac{1779,6 \cdot 0,0217}{0,183} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot (1)^{0,14} \cdot \frac{0,183}{0,508} \approx 21906,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Bendras šiluminis laidumas:

$$\lambda_s = \left( \frac{1}{5000} + \frac{1}{5000} + \frac{0,02}{16} + \frac{1}{21906,27} \right)^{-1} \approx 589,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Tada, šildymo trukmė:

$$t = \frac{7,76 \cdot 6,236 + 2,58 \cdot 1799 + 0,29 \cdot 2220 + 0,17 \cdot 185,9 + 0,18 \cdot 2410 + 0,14 \cdot 2139 + 48,84 \cdot 2060}{589,7 \cdot 0,743} \cdot \ln \left( \frac{171 - 80}{171 - 20} \right) \approx 123 \text{ s} \approx 2,06 \text{ min}$$

Pasirenkama propelerinė maišyklė. Maišymo greitis 300 aps/min. Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{969,33 \cdot 5 \cdot 0,17^2}{0,0217} \approx 6399$$

Pagal Reinoldso kriterijų randamas propelerinės maišyklės galios skaičius, kuris lygus 2,8.

Tuomet, maišikliui sukti reikalinga variklio galia:

$$P = 2,8 \cdot 969,33 \cdot 5^3 \cdot 0,17^5 \approx 47,23 \text{ W}$$

Priemus 20 % atsargos koeficientą, variklio sunaudojama galia:



$$P = 47,23 \cdot 1,2 \approx 56,68 \text{ W}$$

#### 4.3.5. Maišymo talpų parinkimas ir skaičiavimai

Maišymo talpoje MT1 vyksta polimero gryninimo procesas, kurio metu labai sumažėja produkto tirpumas ir iškrenta mišinyje nuosėdų pavidalu, o reakcijos metu susidarę ir nesureagavę junginiai lieka tirpale.

Maišymo talpos mišinio tūris :

$$V_B = 258,78 + 17,25 \approx 276,03 \approx 0,276 \text{ m}^3$$

Minimalus talpos tūris:

$$V_{MT1} = \frac{276,03 \cdot 3}{2} \approx 414 \text{ l}$$

Pagal minimalų talpos tūrį parenkama atitinkama nerūdijančio plieno talpa.

Mišinio tankis:

$$\rho_{bendr} = \frac{0,259}{0,276} \cdot 786 + \frac{0,017}{0,276} \cdot 1038,4 \approx 801,8 \text{ kg/m}^3$$

Pasirenkama propelerinė maišyklė. Maišymo greitis 300 aps/min. Pasirinktas indo skersmuo 0,99 m. Maišyklės skersmuo 0,33 m. Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{801,8 \cdot 5 \cdot 0,33^2}{0,0019} \approx 224598$$

Pagal Reinoldso kriterijų randamas propelerinės maišyklės galios skaičius, kuris lygus 2,8.

Tuomet, maišikliui sukti reikalinga variklio galia:

$$P = 2,8 \cdot 801,8 \cdot 5^3 \cdot 0,33^5 \approx 1098,2 \text{ W}$$

Priemus 20 % atsargos koeficientą, variklio sunaudojama galia:

$$P = 1098,2 \cdot 1,2 \approx 1318 \text{ W} \approx 1,318 \text{ kW}$$

Maišymo talpoje MT1 vyksta polimero nufiltruotų nuosėdų tirpinimas *N,N'*-dimetilformamide.

Mišinio tūris yra 17,25 l. Tuomet minimalus talpos tūris:

$$V_{MT2} = \frac{17,25 \cdot 3}{2} \approx 25,9 \text{ l}$$

Pasirenkama propelerinė maišyklė. Maišymo greitis 1000 aps/min. Pasirinktas indo skersmuo 0,35 m. Maišyklės skersmuo 0,12 m. Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{1028,3 \cdot 16,67 \cdot 0,12^2}{0,00087} \approx 270810$$

Pagal Reinoldso kriterijų randamas propelerinės maišyklės galios skaičius, kuris lygus 2,6.

Tuomet, maišikliui sukti reikalinga variklio galia:

$$P = 2,6 \cdot 1028,3 \cdot 16,67^3 \cdot 0,12^5 \approx 276,94 \text{ W}$$

Priemus 20 % atsargos koeficientą, variklio sunaudojama galia:

$$P = 276,94 \cdot 1,2 \approx 332 \text{ W} \approx 0,332 \text{ kW}$$

#### 4.3.6. Filtruojamosios centrifūgos parinkimas ir skaičiavimai

Filtruojamojoje centrifūgoje vykdomas polimero nuosėdų atskyrimas nuo tirpalo. Filtravimas vykdomas per perforuotą centrifūgos vidinį būgną.

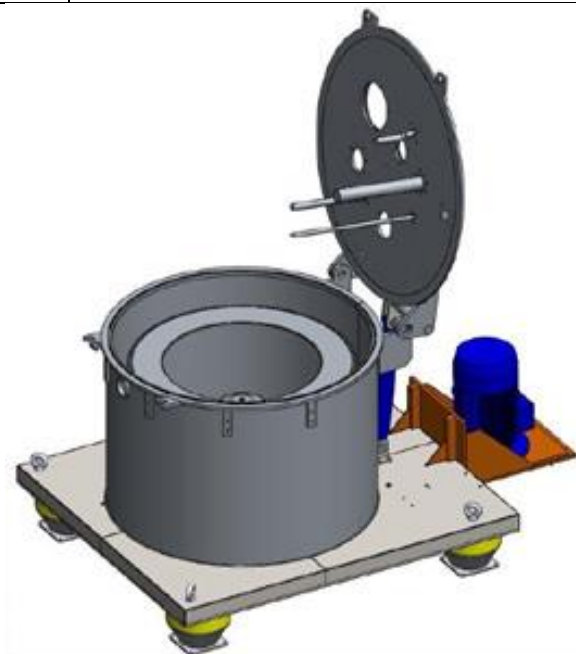
Pasirenkamas periodinis filtravimo procesas. Centrifūgos darbinis tūris:

$$V_{FT} = 276,03 \text{ l}$$

Pagal tūrį parenkama RINA 200F1250 filtruojamoji centrifūga [10].

4.5. lentelė. RINA 200F1250 filtruojamosios centrifūgos duomenys.

Gamintojas	RIERA NADEU, S.A.
Būgno talpa	390 l
Matmenys	2000 x 2565 x 2420 mm
Medžiaga	Nerūdijantis plienas 304L
Nominali apkrova	487,5 kg
Filtravimo paviršius	245,44 dm <sup>2</sup>
Sukimosi greitis	1050 aps./min
Būgno aukštis	625 mm
Būgno skersmuo	1250 mm



4.4 pav. RINA 200F1250 filtruojamosios centrifūga [10].

RINA 200F1250 filtruojamoji centrifūga pakraunama iš viršaus ir nufiltruotas tirpalas pašalinamas iš apatinės angos. Nufiltruoto produkto surinkimas vykdomas pašalinus filtravimo dangalą nuo būgno, kai būgnas visiškai sustojęs.

### 4.3.7. Garintuvo parinkimas

Garintuve atliekamas nufiltruoto tirpalo koncentravimas pašalinant izopropanolį, kuris bus panaudojamas tolimesniam produkto gryninimui. Numatyta, kad garintuve garinimo metu izopropanolio bus pašalinta 80 % tūrio bendro kiekio. Pašalintas izopropanolio kiekis:

$$V_{g-izopr} = \frac{276,03 \cdot 80}{100} \approx 220,8 \text{ l}$$

Po trijų produkto gryninimo ciklų bendras surinktas filtrato tūris būtų  $276,03 \cdot 3 = 828,09 \text{ l}$ . Pagal šį tūrį parenkamas „PKG Equipment Inc.“ 250 galonų garintuvas [11].

4.6. lentelė. „PKG Equipment Inc.“ 250 galonų garintuvo duomenys.

Gamintojas	PKG Equipment Inc.
Būgno talpa	946 l
Matmenys	2260.6 x 1346.2 x 1651 mm
Modelis	#40-250G
Garinimo greitis	~ 151 l/h
Dujų išėjimo anga	254 mm
Šilumos perdavimas	464224575 J
Įrenginio svoris	408 kg

### 4.3.8. Vakuuminės džioviklos parinkimas

Vakuuminėje džiovikloje D2 vykdomas izopropanolio pašalinimas iš nufiltruoto produkto. Priimta, kad tirpiklio kiekis nufiltruotame produkte yra 20 % nuo nufiltruoto produkto masės. Tuomet, izopropanolio kiekis ir bendras nufiltruoto produkto kiekis apskaičiuojamas:

$$m_{izopr-pr} = \frac{m_c(PEG4000) \cdot 20}{(100 - 20)} = \frac{8 \cdot 20}{(100 - 20)} = 2 \text{ kg} \quad (4.38)$$

$m_{izopr-pr}$  - izopropanolio kiekis nufiltruotame produkte, kg.

Bendra nufiltruoto produkto masė:

$$m_{pr} = 2 + 8 = 10 \text{ kg}$$

Nufiltruoto produkto tūris:

$$V_B = \frac{8}{1200} + \frac{2}{786} \approx 0.00895 \text{ m}^3 \approx 8,95 \text{ l}$$

Pagal džiovinamo nufiltruoto produkto tūrį parenkama Condry® TDC 25 vakuuminė džiovikla [12].

4.7. lentelė. Condry® TDC 25 vakuuminės džiovyklos duomenys.

Gamintojas	Condry®
Modelis	TDC 25
Vidinis skersmuo	440 mm
Šildomasis paviršius	0,7 m <sup>2</sup>
Darbinis tūris	25 l
Maišomas tūris	45 l
Maksimalus maišymo greitis	110 1/min
Variklo galia	3 kW



4.5 pav. Condry® TDC 25 vakuuminės džiovykla [12].

Džiovinimas Condry® TDC 25 vakuuminėje džiovykloje vyksta 6 etapais:

1. Džiovykla užpildoma azoto dujomis.
2. Į džiovyklą tiekama džiovinama medžiaga.
3. Vykdomas džiovinimas, sudarant vakuumą viso proceso metu, šildant norima temperatūra ir maišant.
4. Produktas atvėsinaamas.
5. Produktas iškraunamas pro apatinę iškrovimo angą.
6. Džiovyklos plovimas ir paruošimas kitam džiovinimo etapui.

#### 4.3.9. Vamzdinių šilumokaičių skaičiavimai

Vamzdiniuose šilumokaičiuose vykdoma susidarančių garų kondensacija.

Šilumokaičio šiluminis perdavimo koeficientas, kai fluidas kondensuojamas horizontaliame šilumokaityje ant šilumokaityje esančių vamzdžių, vykstant laminariai kondensacijai, kai horizontalių šilumokaičio vamzdelių išdėstymas yra trikampinis [6]:

$$h_c = 0,951 \cdot k \cdot \left( \frac{\rho_L^2 \cdot 9,81 \cdot n \cdot L}{\mu \cdot W} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{1}{N_r} \right)^{1/6} \quad (4.39)$$

$h_c$  – šilumos perdavimo koeficientas, W/(m<sup>2</sup>·K);

$k$  – šaldančio agento šiluminis laidumas, W/(m·K);

$\rho_L$  – šaldančio agento tankis, kg/m<sup>3</sup>;

$n$  – vamzdelių skaičius šilumokaityje;

$L$  – vamzdelių ilgis, m;

$\mu$  – šaldančio agento klampa, Pa·s;

$W$  – kondensato masės debitas, kg/s.

$$N_r = \frac{1,155 \cdot D_s}{s} \quad (4.40)$$

$D_s$  – vamzdelio skersmuo, m;

$s$  – atstumas tarp vamzdelių centrų, m.

Šilumos srautas apskaičiuojamas:

$$Q_s = h_c \cdot A \cdot LMTD \quad (4.41)$$

$Q_s$  – šilumos srautas, W;

$A$  – šilumos perdavimo paviršius, m<sup>2</sup>;

$LMTD$  – logaritminis temperatūrų skirtumas.

Logaritminis temperatūrų skirtumas priešsroviniam šilumokaičiui [7]:

$$LMTD = \frac{(Tc_{out} - Tl_{in}) - (Tc_{in} - Tl_{out})}{\ln(Tc_{out} - Tl_{in}) - \ln(Tc_{in} - Tl_{out})} \quad (4.42)$$

$Tc_{in}$  ir  $Tc_{out}$  – atitinkamai kondensuojamo komponento virimo ir galutinė sukondensuoto srauto temperatūra, °C/K;

$Tl_{in}$  ir  $Tl_{out}$  – atitinkamai šaldančiojo agento pradinė ir galutinė temperatūra, °C/K;

Priimami VŠ1 šilumokaičio duomenys:

$$n = 45; L = 0,6 \text{ m}; W = 0,0031 \frac{\text{kg}}{\text{s}}; D_s = 0,18 \text{ m}; s = 0,023 \text{ m}; Tc_{in} = 111 \text{ }^\circ\text{C}; Tc_{out} = 20 \text{ }^\circ\text{C}; Tl_{in} = 10 \text{ }^\circ\text{C}; Tl_{out} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A = \pi \cdot D_s \cdot L \cdot n \quad (4.43)$$

Šilumokaičio VŠ1 šiluminis perdavimo koeficientas:

$$h_c = 0,951 \cdot 0,58 \cdot \left( \frac{999,7^2 \cdot 9,81 \cdot 45 \cdot 0,6}{0,0013 \cdot 0,0031} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{0,023}{1,155 \cdot 0,18} \right)^{\frac{1}{6}} \approx 374,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Vamzdiniame šilumokaityje VŠ1 vykdomas tolueno garų kondensavimas. Priimami VŠ1 šilumokaičio duomenys:

$$n = 45; L = 0,6 \text{ m}; W = 0,0031 \frac{\text{kg}}{\text{s}}; D_s = 0,18 \text{ m}; s = 0,023 \text{ m}; T_{c_{in}} = 111 \text{ }^\circ\text{C}; T_{c_{out}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}; Tl_{in} = 10 \text{ }^\circ\text{C}; Tl_{out} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

Šilumokaičio VŠ1 šiluminis perdavimo koeficientas:

$$h_c = 0,951 \cdot 0,58 \cdot \left( \frac{999,7^2 \cdot 9,81 \cdot 45 \cdot 0,6}{0,0013 \cdot 0,0031} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{0,023}{1,155 \cdot 0,18} \right)^{\frac{1}{6}} \approx 374,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Šilumos srautas apskaičiuojamas:

$$Q_s = 374,36 \cdot \pi \cdot 0,18 \cdot 0,6 \cdot 45 \cdot \frac{(20 - 10) - (111 - 60)}{\ln(20 - 10) - \ln(111 - 60)} \approx 15182 \text{ W}$$

Vamzdiniame šilumokaityje VŠ2 vykdomas  $N,N'$ -dimetilformamido garų kondensavimas.

Priimami VŠ1 šilumokaičio duomenys:

$$n = 45; L = 1 \text{ m}; W = 0,0181 \frac{\text{kg}}{\text{s}}; D_s = 0,18 \text{ m}; s = 0,023 \text{ m}; T_{c_{in}} = 152 \text{ }^\circ\text{C}; T_{c_{out}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}; Tl_{in} = 10 \text{ }^\circ\text{C}; Tl_{out} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

Šilumokaičio VŠ1 šiluminis perdavimo koeficientas:

$$h_c = 0,951 \cdot 0,58 \cdot \left( \frac{999,7^2 \cdot 9,81 \cdot 45 \cdot 1}{0,0013 \cdot 0,0181} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{0,023}{1,155 \cdot 0,18} \right)^{\frac{1}{6}} \approx 213,89 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Šilumos srautas apskaičiuojamas:

$$Q_s = 213,89 \cdot \pi \cdot 0,18 \cdot 1 \cdot 45 \cdot \frac{(20 - 10) - (152 - 60)}{\ln(20 - 10) - \ln(152 - 60)} \approx 21228 \text{ W}$$

Vamzdiniame šilumokaityje VŠ3 vykdomas izopropanolio garų kondensavimas. Priimami VŠ1 šilumokaičio duomenys:

$$n = 45; L = 3,5 \text{ m}; W = 0,0328 \frac{\text{kg}}{\text{s}}; D_s = 0,18 \text{ m}; s = 0,023 \text{ m}; T_{c_{in}} = 82,5 \text{ }^\circ\text{C}; T_{c_{out}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}; Tl_{in} = 10 \text{ }^\circ\text{C}; Tl_{out} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

Šilumokaičio VŠ1 šiluminis perdavimo koeficientas:

$$h_c = 0,951 \cdot 0,58 \cdot \left( \frac{999,7^2 \cdot 9,81 \cdot 45 \cdot 3,5}{0,0013 \cdot 0,0328} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \left( \frac{0,023}{1,155 \cdot 0,18} \right)^{\frac{1}{6}} \approx 235,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Šilumos srautas apskaičiuojamas:

$$Q_s = 235,70 \cdot \pi \cdot 0,18 \cdot 3,5 \cdot 45 \cdot \frac{(20 - 10) - (82,5 - 60)}{\ln(20 - 10) - \ln(82,5 - 60)} \approx 34157 \text{ W}$$

#### 4.3.10. Išcentrinių siurblių/kompresorių skaičiavimai

Išcentrinis siurbliu S1 transportuojamas sukondensuotas toluenas į sandėlį.

Siurblio sudaromas slėgis, reikalingas srautui transportuoti, apskaičiuojamas:

$$\Delta p_{siurblio} = \Delta p_{pak} + \Delta p_{gr} + \Delta p_{pap} + \Delta p_{tr} + \Delta p_{vk} \quad (4.44)$$

$\Delta p_{siurblio}$  – siurblio sudaromas slėgis, Pa;

$\Delta p_{pak}$  – slėgis dėl aukščių skirtumo tarp siurblio ir transportuojamos vietos; Pa;

$\Delta p_{gr}$  – slėgis dėl fluido greičio, Pa;

$\Delta p_{pap}$  – slėgis dėl reikalingo slėgio vamzdyno gale, Pa;

$\Delta p_{tr}$  – slėgio nuostoliai dėl trinties, Pa;

$\Delta p_{vk}$  – slėgio nuostoliai dėl vietinių kliūčių, Pa.

$$\Delta p_{pak} = \rho \cdot 9,81 \cdot H \quad (4.45)$$

$\rho$  – fluido tankis, kg/m<sup>3</sup>;

$H$  – aukščių skirtumas, m.

$$\Delta p_{gr} = \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \quad (4.46)$$

$w$  – fluido srauto greitis, m/s.

$$w = \frac{V_s \cdot 4}{\pi \cdot d^2} \quad (4.47)$$

$V_s$  – fluido srauto tūrinis debitas, m<sup>3</sup>/s;

$d$  – transportavimui naudojamo vamzdžio skersmuo, m.

$$\Delta p_{tr} = \zeta \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \quad (4.48)$$

$L$  – vamzdyno ilgis, m;

$\zeta$  – trinties koeficientas, kuris gaunamas iš Moody diagramos, pagal  $\frac{\Delta e}{d}$  ( $\Delta e$  – santykinis šiurkštumas) ir Reinoldso kriterijų:

$$Re = \frac{w \cdot d \cdot \rho}{\mu} \quad (4.49)$$

$$\Delta p_{vk} = \sum \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \quad (4.50)$$

$\sum \xi$  – suminis vietinių kliūčių koeficientas.

S1 siurblio skaičiavimų pradiniai duomenys:

$$V_s = 0,001 \frac{m^3}{s}; \Delta p_{pap} = 500000 \text{ Pa}; d = 0,021 \text{ m}; \rho = 870 \frac{kg}{m^3}; \mu = 0,00056 \text{ Pa} \cdot s, \Delta e = 0,000002 \text{ m}; L = 20 \text{ m}; H = -2 \text{ m}$$

Srauto greitis:

$$w = \frac{0,001 \cdot 4}{\pi \cdot 0,021^2} \approx 3,12 \text{ m/s}$$

Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{3,12 \cdot 0,021 \cdot 870}{0,00056} \approx 101441$$

Pagal Re ir  $\frac{\Delta e}{d} = 0,00009$ ,  $\zeta = 0,017$

$$\Delta p_{tr} = 0,017 \cdot \frac{20}{0,021} \cdot \frac{3,12^2 \cdot 870}{2} \approx 68779 \text{ Pa}$$

Priimant, kad vietinės kliūtys yra 2 90° alkūnės ir viena rutulinė sklendė, tai:

$$\sum \xi = 1,58$$

Tai:

$$\Delta p_{vk} = 1,58 \cdot \frac{3,12^2 \cdot 870}{2} \approx 6690 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{gr} = \frac{3,12^2 \cdot 870}{2} \approx 4234 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{pak} = 870 \cdot 9,81 \cdot (-2) = -17052 \text{ Pa}$$

Siurblio išvystomas slėgis:

$$\Delta p_{siurblio} = -17052 + 6690 + 500000 + 68779 + 6690 \approx 562650 \text{ Pa}$$

Išvystomas siurblio aukštis:

$$H_{siurblio} = \frac{\Delta p_{siurblio}}{\rho \cdot 9,81} = \frac{562650}{870 \cdot 9,81} \approx 65,9 \text{ m} \quad (4.51)$$

$H_{siurblio}$  – išvystomas siurblio aukštis, m.

Siurblio galia:

$$N_{siurblio} = \frac{V_s \cdot \Delta p_{siurblio}}{1000 \cdot \eta} = \frac{0,001 \cdot 562650}{1000 \cdot 0,9} \approx 0,67 \text{ kW} \quad (4.52)$$

$N_{siurblio}$  – siurblio galia, kW.

S2 siurblio skaičiavimų pradiniai duomenys:

$$V_s = 0,0021 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}; \Delta p_{pap} = 500000 \text{ Pa}; d = 0,051 \text{ m}; \rho = 1041,9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \mu = 0,0012 \text{ Pa} \cdot \text{s}, \Delta e = 0,000002 \text{ m}; L = 20 \text{ m}; H = 1 \text{ m}$$

PEG4000 medžiagos koncentracija sraute pagal tūrį  $C_v = 0,52$ . Priėmus, kad dalelių dydis 1000  $\mu\text{m}$ , iš Durand'o limituojančio nusėdimo greičio grafiko pagal dalelių dydį ir medžiagos dalelių srauto koncentraciją pagal tūrį limituojantis nusėdimo greičio faktorius  $F_L=1,44$ . Limituojantis nusėdimo greitis  $V_L$  apskaičiuojamas:

$$V_L = F_L \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot d \cdot (SG - 1)} = 1,44 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,051 \cdot (1,38 - 1)} \approx 0,89 \text{ m/s} \quad (4.53)$$

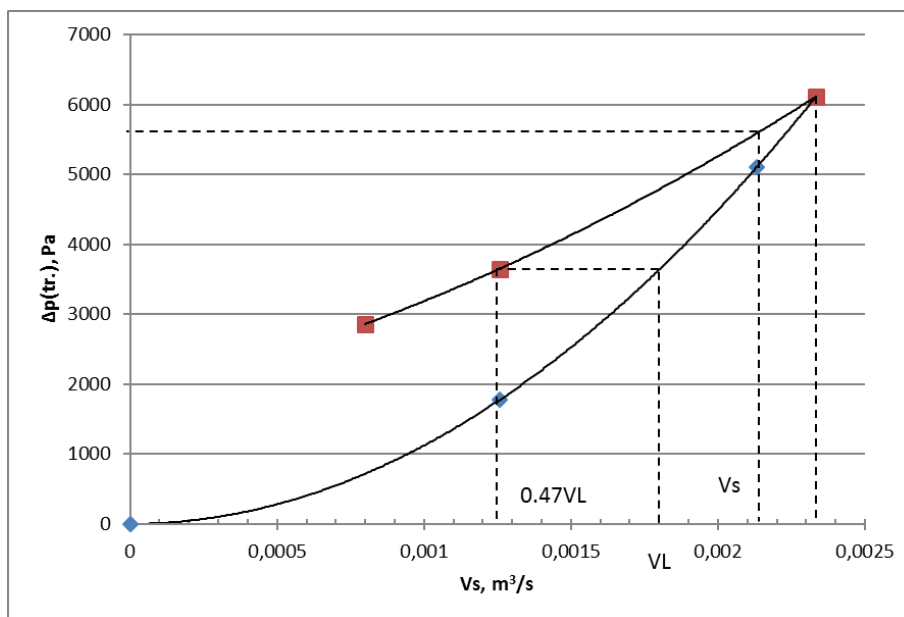
$SG$  – specifinis srauto tankis pagal tolueną, bedimensinis dydis.

Limituojantis nusėdimo tūrinis debitas  $Q_L$ :

$$Q_L = \frac{V_L \cdot \pi \cdot d^2}{4} = \frac{0,89 \cdot \pi \cdot 0,051^2}{4} \approx 0,0018 \text{ m}^3\text{s} \quad (4.54)$$



Apskaičiavus tolueno slėgio nuostolius dėl trinties prie 3 skirtingų tūrinių debitų, kai vamzdyne teka tik toluenas, gauname slėgio nuostolių priklausomybę nuo srauto tūrinio debito. Pagal šią kreivę gaunama heterogeninės sistemos slėgio nuostolių priklausomybė nuo tūrinio heterogeninio srauto debito [13].



4.6. pav. Heterogeninės sistemos slėgio nuostolių priklausomybė nuo tūrinio heterogeninio srauto debito.

Iš gautos priklausomybės gauname, kad esant 0,0021 m<sup>3</sup>/s srauto debitui, slėgio nuostoliai dėl trinties yra 5600 Pa.

Srauto greitis:

$$w = \frac{0,0021 \cdot 4}{\pi \cdot 0,051^2} \approx 1,05 \text{ m/s}$$

Priimant, kad vietinės kliūtys yra 2 90° alkūnės ir viena rutulinė sklendė, tai:

$$\sum \xi = 1,58$$

Tai:

$$\Delta p_{vk} = 1,58 \cdot \frac{1,05^2 \cdot 1041,9}{2} \approx 911 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{gr} = \frac{1,05^2 \cdot 1041,9}{2} \approx 577 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{pak} = 1041,9 \cdot 9,81 \cdot (1) \approx 10211 \text{ Pa}$$

Siurblio išvystomas slėgis:

$$\Delta p_{siurblio} = 10211 + 577 + 500000 + 5600 + 911 \approx 517299 \text{ Pa}$$

Išvystomas siurblio aukštis:

$$H_{siurblio} = \frac{517299}{1041,9 \cdot 9,81} \approx 50,6 \text{ m}$$

Siurblio galia:

$$N_{siurblio} = \frac{0,0021 \cdot 517299}{1000 \cdot 0,9} \approx 1,23 \text{ kW}$$

Praskiestos transportavimo sistemos slėgio nuostoliai apskaičiuojami [14]:

$$\Delta p_{kompresoriaus} = \Delta p_{acc} + \Delta p_{lift} + \Delta p_{bends} + \Delta p_{air} + \Delta p_{solids} \quad (4.55)$$

$\Delta p_{kompresoriaus}$  – kompresoriaus sudaromas slėgis, Pa;

$$\Delta p_{air} = \frac{\zeta \cdot \rho_g \cdot L \cdot w_g}{2 \cdot d} \quad (4.56)$$

$w_g$  – dujų srauto greitis, m/s.

$\rho_g$  – dujų tankis, kg/m<sup>3</sup>.

$$\Delta p_{acc} = \mu \cdot w \cdot \rho_g \cdot w_g \quad (4.57)$$

$$\Delta p_{bends} = \frac{B \cdot (1 + \mu) \cdot \rho_g \cdot w^2}{2 \cdot d} \quad (4.58)$$

$B$  – užsilenkimo faktorius (0,5).

$$\Delta p_{lift} = \rho_d \cdot (1 - \varepsilon) \cdot H \cdot 9,81 \quad (4.59)$$

$\rho_d$  - dalelių tankis, kg/m<sup>3</sup>;

$\varepsilon$  - dujų srauto tūrinė dalis bendrame transportuojame sraute.

$$\Delta p_{solids} = \frac{\mu \cdot \lambda_z \cdot \rho_g \cdot L \cdot w^2}{2 \cdot d} \quad (4.60)$$

Yang'o koreliacija trinties koeficientui  $\lambda_z$  rasti [14]:

$$\lambda_z = 0,02925 \cdot \frac{(1 - \varepsilon)}{\varepsilon^3} \cdot \left( \frac{(1 - \varepsilon) \cdot w_g}{\sqrt{9,81 \cdot d}} \right)^{-1,15} \quad (4.61)$$

Srautų greičiai:

$$w_g = \frac{0,0034 \cdot 4}{\pi \cdot 0,23^2} \approx 0,082 \text{ m/s}$$

$$w = \frac{0,00018 \cdot 4}{\pi \cdot 0,23^2} \approx 0,004 \text{ m/s}$$

Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{0,082 \cdot 0,23 \cdot 870}{0,000018} \approx 6146$$

Pagal  $Re$  ir  $\frac{\Delta e}{d} = 0,000007$ ,  $\zeta = 0,032$

$$\Delta p_{air} = \frac{0,032 \cdot 5,761 \cdot 10 \cdot 0,004}{2 \cdot 0,23} \approx 7,6 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{acc} = 0,000018 \cdot 0,082 \cdot 5,761 \cdot 0,004 \approx 3,6 \cdot 10^{-8} \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{bends} = \frac{0,5 \cdot (1 + 0,000018) \cdot 5,761 \cdot 0,004^2}{2 \cdot 0,23} \approx 0,0001 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{lift} = 1200 \cdot (1 - 0,95) \cdot 5 \cdot 9,81 \approx 2943 \text{ Pa}$$

$$\lambda_z = 0,02925 \cdot \frac{(1 - 0,95)}{0,95^3} \cdot \left( \frac{(1 - 0,95) \cdot 0,004}{\sqrt{9,81 \cdot 0,23}} \right)^{-1,15} \approx 1,50$$

$$\Delta p_{solids} = \frac{0,000018 \cdot 1,5 \cdot 5,761 \cdot 10 \cdot 0,004^2}{2 \cdot 0,46} \approx 6,3 \cdot 10^{-8} \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{kompresoriaus} = 7,6 \cdot 10^{-5} + 2943 + 3,6 \cdot 10^{-8} + 0,0001 + 6,3 \cdot 10^{-8} \approx 2943 \text{ Pa}$$

Išvystomas kompresoriaus aukštis:

$$H_{siurblio} = \frac{2943}{65,5 \cdot 9,81} \approx 4,58 \text{ m}$$

Siurblio galia:

$$N_{siurblio} = \frac{(0,021 + 0,0011) \cdot 2943}{1000 \cdot 0,9} \approx 0,012 \text{ kW}$$

S4 siurblio skaičiavimų pradiniai duomenys:

$$V_s = 0,0057 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}; \Delta p_{pap} = 500000 \text{ Pa}; d = 0,051 \text{ m}; \rho = 1038,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \mu$$

$$= 0,00087 \text{ Pa} \cdot \text{s}; \Delta e = 0,000002 \text{ m}; L = 9 \text{ m}; H = 1 \text{ m}$$

Srauto greitis:

$$w = \frac{0,0057 \cdot 4}{\pi \cdot 0,051^2} \approx 2,84 \text{ m/s}$$

Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{2,84 \cdot 0,051 \cdot 1038,4}{0,00087} \approx 171313$$

Pagal Re ir  $\frac{\Delta e}{d} = 0,00003$ ,  $\zeta = 0,017$

$$\Delta p_{tr} = 0,017 \cdot \frac{9}{0,051} \cdot \frac{2,84^2 \cdot 1038,4}{2} \approx 12581 \text{ Pa}$$

Priimant, kad vietinės kliūtys yra 3 90° alkūnės ir viena rutulinė sklendė, tai:

$$\sum \xi = 2,33$$

Tai:

$$\Delta p_{vk} = 2,33 \cdot \frac{2,84^2 \cdot 1038,4}{2} \approx 9732,87 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{gr} = \frac{2,84^2 \cdot 1038,4}{2} \approx 4177 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{pak} = 1038,4 \cdot 9,81 \cdot 1 = 10176 \text{ Pa}$$

Siurblio išvystomas slėgis:

$$\Delta p_{siurblio} = 10176 + 4177 + 500000 + 12581 + 9732,87 \approx 536667 \text{ Pa}$$

Išvystomas siurblio aukštis:

$$H_{siurblio} = \frac{536667}{1038,4 \cdot 9,81} \approx 52,7 \text{ m}$$

Siurblio galia:

$$N_{siurblio} = \frac{0,0057 \cdot 536667}{1000 \cdot 0,9} \approx 3,43 \text{ kW}$$

S5 siurblio skaičiavimų pradiniai duomenys:

$$V_s = 0,0115 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}; \Delta p_{pap} = 500000 \text{ Pa}; d = 0,051 \text{ m}; \rho = 944 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \mu = 0,00087 \text{ Pa} \cdot \text{s}, \Delta e = 0,000002 \text{ m}; L = 17 \text{ m}; H = 1 \text{ m}$$

Srauto greitis:

$$w = \frac{0,0115 \cdot 4}{\pi \cdot 0,051^2} \approx 5,67 \text{ m/s}$$

Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{5,67 \cdot 0,051 \cdot 944}{0,00079} \approx 342626$$

Pagal Re ir  $\frac{\Delta e}{d} = 0,00003$ ,  $\zeta = 0,015$

$$\Delta p_{tr} = 0,015 \cdot \frac{17}{0,051} \cdot \frac{5,67^2 \cdot 944}{2} \approx 76248 \text{ Pa}$$

Priimant, kad vietinės kliūtys yra 3 90° alkūnės ir dvi rutulinės sklendės, tai:

$$\sum \xi = 2,41$$

Tai:

$$\Delta p_{vk} = 2,41 \cdot \frac{5,67^2 \cdot 944}{2} \approx 36607 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{gr} = \frac{5,67^2 \cdot 944}{2} \approx 15190 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{pak} = 1038,4 \cdot 9,81 \cdot 1 = 9251 \text{ Pa}$$

Siurblio išvystomas slėgis:

$$\Delta p_{siurblio} = 76248 + 9251 + 500000 + 15190 + 36607 \approx 637296 \text{ Pa}$$

Išvystomas siurblio aukštis:

$$H_{siurblio} = \frac{637296}{944 \cdot 9,81} \approx 68,8 \text{ m}$$

Siurblio galia:

$$N_{siurblio} = \frac{0,0115 \cdot 637296}{1000 \cdot 0,9} \approx 8,14 \text{ kW}$$

S6 siurblio skaičiavimų pradiniai duomenys:

$$V_s = 0,0092 \frac{m^3}{s}; \Delta p_{pap} = 500000 Pa; d = 0,064 m; \rho = 801,8 \frac{kg}{m^3}; \mu = 0,0019 Pa \cdot s, \Delta e = 0,000002 m; L = 6 m; H = 1 m$$

Srauto greitis:

$$w = \frac{0,0092 \cdot 4}{\pi \cdot 0,064^2} \approx 2,91 m/s$$

Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{2,91 \cdot 0,064 \cdot 801,8}{0,0019} \approx 76089$$

Pagal Re ir  $\frac{\Delta e}{d} = 0,00002, \zeta = 0,017$

$$\Delta p_{tr} = 0,015 \cdot \frac{6}{0,064} \cdot \frac{2,91^2 \cdot 801,8}{2} \approx 5436 Pa$$

Priimant, kad vietinės kliūtys yra 3 90° alkūnės ir viena rutulinė sklendė, tai:

$$\sum \xi = 2,33$$

Tai:

$$\Delta p_{vk} = 2,33 \cdot \frac{2,91^2 \cdot 801,8}{2} \approx 7884 Pa$$

$$\Delta p_{gr} = \frac{2,91^2 \cdot 801,8}{2} \approx 3384 Pa$$

$$\Delta p_{pak} = 801,8 \cdot 9,81 \cdot 1 = 7857 Pa$$

Siurblio išsvystomas slėgis:

$$\Delta p_{siurblio} = 3384 + 7857 + 500000 + 5436 + 7884 \approx 524561 Pa$$

Išsvystomas siurblio aukštis:

$$H_{siurblio} = \frac{524561}{801,8 \cdot 9,81} \approx 66,7 m$$

Siurblio galia:

$$N_{siurblio} = \frac{0,0092 \cdot 524561}{1000 \cdot 0,9} \approx 5,36 kW$$

S7 siurblio skaičiavimų pradiniai duomenys:

$$V_s = 0,0009 \frac{m^3}{s}; \Delta p_{pap} = 500000 Pa; d = 0,076 m; \rho = 786 \frac{kg}{m^3}; \mu = 0,0020 Pa \cdot s, \Delta e = 0,000002 m; L = 7 m; H = 1 m$$

Srauto greitis:

$$w = \frac{0,0009 \cdot 4}{\pi \cdot 0,076^2} \approx 0,20 m/s$$

Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{0,20 \cdot 0,051 \cdot 786}{0,002} \approx 5929$$

Pagal Re ir  $\frac{\Delta e}{d} = 0,00003$ ,  $\zeta = 0,036$

$$\Delta p_{tr} = 0,036 \cdot \frac{7}{0,076} \cdot \frac{0,20^2 \cdot 786}{2} \approx 53 Pa$$

Priimant, kad vietinės kliūtys yra 2 90° alkūnės ir viena rutulinė sklendė, tai:

$$\sum \xi = 1,58$$

Tai:

$$\Delta p_{vk} = 1,58 \cdot \frac{0,20^2 \cdot 786}{2} \approx 25 Pa$$

$$\Delta p_{gr} = \frac{4,54^2 \cdot 786}{2} \approx 16 Pa$$

$$\Delta p_{pak} = 786 \cdot 9,81 \cdot 1 = 7703 Pa$$

Siurblio išvystomas slėgis:

$$\Delta p_{siurblio} = 7703 + 53 + 500000 + 25 + 16 \approx 507797 Pa$$

Išvystomas siurblio aukštis:

$$H_{siurblio} = \frac{507797}{786 \cdot 9,81} \approx 65,86 m$$

Siurblio galia:

$$N_{siurblio} = \frac{0,0009 \cdot 507797}{1000 \cdot 0,9} \approx 0,58 kW$$

S8 siurblio skaičiavimų pradiniai duomenys:

$$V_s = 0,00018 \frac{m^3}{s}; \Delta p_{pap} = 500000 Pa; d = 0,051 m; \rho = 786 \frac{kg}{m^3}; \mu = 0,0020 Pa \cdot s, \Delta e = 0,000002 m; L = 40 m; H = 1 m$$

Srauto greitis:

$$w = \frac{0,00018 \cdot 4}{\pi \cdot 0,076^2} \approx 0,09 m/s$$

Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{0,09 \cdot 0,00018 \cdot 786}{0,0020} \approx 1779$$

Pagal Re ir  $\frac{\Delta e}{d} = 0,00002$ ,  $\zeta = 0,036$

$$\Delta p_{tr} = 0,036 \cdot \frac{7}{0,076} \cdot \frac{0,09^2 \cdot 786}{2} \approx 92 Pa$$

Priimant, kad vietinės kliūtys yra 2 90° alkūnės ir viena rutulinė sklendė, tai:

$$\sum \xi = 1,58$$

Tai:

$$\Delta p_{vk} = 1,58 \cdot \frac{0,09^2 \cdot 786}{2} \approx 5 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{gr} = \frac{0,09^2 \cdot 786}{2} \approx 3 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{pak} = 786 \cdot 9,81 \cdot 1 = 7703 \text{ Pa}$$

Siurblio išvystomas slėgis:

$$\Delta p_{siurblio} = 92 + 5 + 500000 + 3 + 7703 \approx 507802 \text{ Pa}$$

Išvystomas siurblio aukštis:

$$H_{siurblio} = \frac{507802}{786 \cdot 9,81} \approx 65,86 \text{ m}$$

Siurblio galia:

$$N_{siurblio} = \frac{0,00018 \cdot 507802}{1000 \cdot 0,9} \approx 0,12 \text{ kW}$$

S9 siurblio skaičiavimų pradiniai duomenys:

$$V_s = 0,0029 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}; \Delta p_{pap} = 500000 \text{ Pa}; d = 0,051 \text{ m}; \rho = 1038,4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \mu = 0,00087 \text{ Pa} \cdot \text{s}; \Delta e = 0,000002 \text{ m}; L = 15 \text{ m}; H = 1 \text{ m}$$

Srauto greitis:

$$w = \frac{0,0029 \cdot 4}{\pi \cdot 0,051^2} \approx 1,42 \text{ m/s}$$

Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{1,42 \cdot 0,051 \cdot 1038,4}{0,00087} \approx 85657$$

Pagal Re ir  $\frac{\Delta e}{d} = 0,00003$ ,  $\zeta = 0,012$

$$\Delta p_{tr} = 0,012 \cdot \frac{15}{0,51} \cdot \frac{1,42^2 \cdot 1038,4}{2} \approx 3700 \text{ Pa}$$

Priimant, kad vietinės kliūtys yra 2 90° alkūnės ir viena rutulinė sklendė, tai:

$$\sum \xi = 1,58$$

Tai:

$$\Delta p_{vk} = 1,58 \cdot \frac{1,42^2 \cdot 1038,4}{2} \approx 1650 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{gr} = \frac{1,42^2 \cdot 1038,4}{2} \approx 1044 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{pak} = 1038,4 \cdot 9,81 \cdot 1 = 10176 \text{ Pa}$$

Siurblio išvystomas slėgis:

$$\Delta p_{siurblio} = 10176 + 1044 + 500000 + 3700 + 1650 \approx 516571 \text{ Pa}$$

Išvystomas siurblio aukštis:

$$H_{siurblio} = \frac{516571}{1038,4 \cdot 9,81} \approx 50,7 \text{ m}$$

Siurblio galia:

$$N_{siurblio} = \frac{0,0029 \cdot 516571}{1000 \cdot 0,9} \approx 1,65 \text{ kW}$$

S10 siurblio skaičiavimų pradiniai duomenys:

$$V_s = 0,00074 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}; \Delta p_{pap} = 500000 \text{ Pa}; d = 0,064 \text{ m}; \rho = 786 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \mu = 0,0020 \text{ Pa} \cdot \text{s}, \Delta e = 0,000002 \text{ m}; L = 15 \text{ m}; H = 1,5 \text{ m}$$

Srauto greitis:

$$w = \frac{0,00074 \cdot 4}{\pi \cdot 0,064^2} \approx 0,23 \text{ m/s}$$

Reinoldso kriterijus:

$$Re = \frac{23,2 \cdot 0,064 \cdot 786}{0,002} \approx 5692$$

Pagal Re ir  $\frac{\Delta e}{d} = c, \zeta = 0,036$

$$\Delta p_{tr} = 0,036 \cdot \frac{15}{0,51} \cdot \frac{0,23^2 \cdot 786}{2} \approx 181 \text{ Pa}$$

Priimant, kad vietinės kliūtys yra 3 90° alkūnės ir viena rutulinė sklendė, tai:

$$\sum \xi = 2,33$$

Tai:

$$\Delta p_{vk} = 2,33 \cdot \frac{0,23^2 \cdot 786}{2} \approx 49 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{gr} = \frac{0,23^2 \cdot 786}{2} \approx 21 \text{ Pa}$$

$$\Delta p_{pak} = 786 \cdot 9,81 \cdot 1,5 = 11554 \text{ Pa}$$

Siurblio išvystomas slėgis:

$$\Delta p_{siurblio} = 11554 + 21 + 500000 + 181 + 49 \approx 511805 \text{ Pa}$$

Išvystomas siurblio aukštis:

$$H_{siurblio} = \frac{511805}{786 \cdot 9,81} \approx 66,38 \text{ m}$$

Siurblio galia:

$$N_{siurblio} = \frac{0,00074 \cdot 511805}{1000 \cdot 0,9} \approx 0,47 \text{ kW}$$



#### 4.3.11. Ciklonų parinkimas

Ciklonai naudojami nusodinti pneumatiniu būdu transportuojamas daleles į jų dozavimo talpas. Pagal transportuojamo srauto debitą parenkamas „Nederman“ C – 2005 ciklonas [15].

4.8. lentelė. „Nederman“ C – 2005 ciklono duomenys.

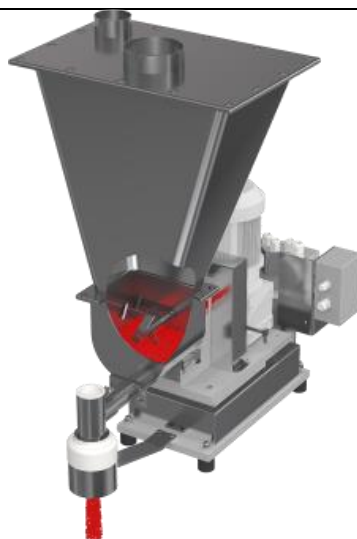
Gamintojas	Nederman
Modelis	C – 2005
Skersmuo	609,6 mm
Aukštis	2108,2 mm
Tiekiamo srauto debitas	0.94 m <sup>3</sup> /s
Įeinančio srauto vamzdžio skersmuo	228,6 mm
Variklo galia	5 HP

#### 4.3.12. Sraigtinių dozatorių parinkimas

Įvertinus, dozuojamus kietų medžiagų kiekius, parenkamas „Brabender“ sraigtinis dozatorius [18].

4.9. lentelė. „Brabender“ sraigtinio dozatoriaus duomenys [18].

Gamintojas	Nederman
Modelis	DDW-MD5(6)-DSR67-35(60)[110]
Maksimalus tiekimo greitis (naudojant spiralinį sraigą)	3743 dm <sup>3</sup> /h
Sraigto judėjimo maksimalus greitis	270 aps./min (100 Hz)
Variklo galia	0,37 kW



4.6 pav. „Brabender“ sraigtinio dozatorius [18].

#### 4.4. Statybiniai sprendimai

##### 4.4.1. Bendrieji duomenys

4.10. lentelė. Bendrieji projektuojamo sklypo duomenys.

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 (žalioji plotas) 1.4. automobilių stovėjimo vietų skaičius 1.5. sanitarinės (apsaugos) zonos plotis	ha m <sup>2</sup> m <sup>2</sup> vnt. m	0,55 1153 1795 14 500
2	<b>II. PASTATAI</b> 2.1. paskirties rodikliai ( gamybos (kitos veiklos), paslaugų apimtys, aptarnaujamų žmonių skaičius, kiti rodikliai) 2.2. bendrasis plotas: 2.2.1. pagrindinis 2.2.2. pagalbinis 2.3. pastato tūris 2.4. aukštų skaičius 2.5. pastato aukštis	  m <sup>2</sup> m <sup>2</sup> m <sup>2</sup> m <sup>3</sup> vnt. m	   476 587 6378 1 10

##### 4.4.2. Statinio konstrukcinė sandara

Projektuojamas pastatas yra stačiakampio formos. Pastatas turi vienerius pakeliamus vartus su įmontuotomis durimis. Naudojami gaisro metu automatiškai atsidarantys langai. Laikanti konstrukcija yra 50x50 cm gelžbetoninės kolonos. Naudojamos metalinės santvaros. Pastato išorinėms sienoms naudojamas IzoWall daugiasluoksnės plokštės su polistirolo užpildu (svoris 11,4 kg/m<sup>3</sup>, šilumos laidumo koeficientas 0,16 W/(m<sup>2</sup>K), ugnies plitimas – NRO, atsparumas intesyviam lietuvi – A klasė (pilnas sandarumas esant 1200 Pa), akustinės izoliacijos koeficientas Rw 23 dB)) [16]. Stogo dangai naudojamos PolDeck TD daugiasluoksnės stogo dangos plokštės su poliuretano užpildu (šilumos perdavimo koeficientas 0,13 W/(m<sup>2</sup>K)) [17].

#### 4.4.3. Bendrųjų statinio (pastato) inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai

Polietilenglikolio 4000 gryninimas atliekamas virinimo talpoje. Purkštuvinėje džiovykloje vykdomas PEG 4000 džiovinimas. Kietos medžiagos transportuojamos pneumatiniu būdu. Medžiagos dalelės nusodinamos ciklonuose. Kietos ir skystos medžiagos dozuojamos iš dozavimo talpų į reaktorių, naudojant atitinkamai dozuojančius sraiginius transporterius ir debitomačius. Reaktoriuje vykdoma polimero (produkto) sintezė. Rinkimo talpose atitinkamai renkamas nusitiliuotas *N,N'*-dimetilformamidas iš reaktoriaus ir izopropanolis iš garintuvo. Maišymo talpose atitinkamai vykdomas polimero gryninimo ir tirpinimo procesai. Naudojant filtruojamąją centrifugą, atfiltruojamas polimeras nuo filtrato. Garintuve nugarinamas izopropanolis. Vakuuminėje džiovykloje vykdomas polimero džiovinimas.

#### 4.5. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

Gaminama produkcija – formą „menančiomis“ savybėmis pasižymintis polimeras. Gamybą sudaro polietilenglikolio (PEG 4000) gryninimas, naudojant tolueną, polimero sintezė, kuriai atlikti naudojamas PEG 4000, *N,N'*-dimetilformamidas (DMF), 4,4'-metilendifenildiizocianatas (MDI), butan-1,4-diolis, trietilaminas, glicerolis ir 2,2-di(hidroksimetil)propioninė rūgštis (DMPA). Po polimero sintezės, vykdomas polimero gryninimas, naudojant izopropanolį. Detalus gamybos technologijos aprašas pateiktas inžinerinės dalies technologinės linijos aprašyme (4.1. skyriuje).

##### 4.5.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė

Atikus SSGG analizę nustatytos projekto stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės.

4.11. lentelė. SSGG (SWOT) analizė.

<b>Stiprybės:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Naujas produktas</li><li>• Nedidelė panašios produkcijos įvairovė</li></ul>	<b>Silpnybės:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Gamyboje naudojami dideli lakių organinių medžiagų kiekiai</li></ul>
<b>Galimybės:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Didėjanti „išmaniųjų“ medžiagų paklausa</li><li>• Gamybos plėtimas</li><li>• Naujų produktų kūrimas ir realizavimas</li></ul>	<b>Grėsmės:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Sudėtingas projekto įgyvendinimas dėl produkto gamybos technologijos</li></ul>

Kuriamas naujas produktas, rinkoje panašių produktų įvairovė maža, o „išmaniųjų“ medžiagų paklausa didėja, tačiau šiuo metu paklausa nėra didelė. Todėl būtų tikslinga kurti pilotinės gamybos cechą, kuris vėliau galėtų būti pritaikytas didesnei gamybai.

#### 4.5.2. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas.

4.12. lentelė. Technologinių įrengimų vertė.

Eil. Nr.	Įrengimo pavadinimas	Vertė, tūkst. Eur.
1.	Virinimo talpa	8.00
2.	Purkštuvinė džiovykla	8.00
3.	Dozavimo talpos	4.00
4.	Maišymo talpos	3.00
5.	Reaktorius	9.00
6.	Filtruojamoji centrifūga	7.00
7.	Garintuvas	10.00
8.	Vakuuminė džiovykla	8.00
9.	Vamzdiniai šilumokaičiai	10.00
10.	Išcentriniai siurbliai	20.00
11.	Ciklonai	9.00
12.	Sraigtiniai dozatoriai	9.00
13.	Įranga vamzdynams įrengti ir kita	4.00
Iš viso:		109.00

Pagal galimas rinkos kainas įvertinama technologiniams procesams įgyvendinti reikalingų įrengimų vertė.

Sklypo ir projektuojamo statinio sąmatos kaštai nurodomi 4.13 lentelėje.

4.13. lentelė. Statybos kainos įvertinimas.

Eil. Nr.	Objekto, darbų ir išlaidų pavadinimas	Sąmatinė kaina, tūkst. Eur.			Viso, tūkst. Eur.
		Statybos ir montavimo darbų	Įrenginių, baldų, inventoriaus	Kitos išlaidos	
1.	Statybos teritorijos paruošimo išlaidos				
1.1	Sklypo kaina	70.00	5.00	-	75.00
1.2	Aikštelės paruošimo išlaidos	5.00	5.00	-	10.00

4.13. lentelės tęsinys.

2.	Statybos objektai ir darbai				
2.1	Gamybinis korpuso statybos išlaidos	200.00	8.00	-	208.00
2.2	Kitų objektų statybos darbų išlaidos	30.00	5.00	-	35.00
3.	Kitos išlaidos	-	-	10.00	10.00
	Viso (ilgalaikio turto)	305.00	23.00	10.00	338.00

Sklypo kaina įvertinta, priėmus, kad skypas bus kaimo, užmiesčio vietovėje.

#### 4.5.3. Gamybos kaštai

Pagal naudojamų medžiagų balansą (žr. 4.2 skyriuje) apskaičiuojamos išlaidos pagrindinėms žaliavoms (kintamieji tiesioginiai gamybos kaštai).

4.14. lentelė. Pagrindinių žaliavų išlaidos.

Eil. Nr.	Medžiagos (žaliavos) pavadinimas	Gamybos apimtis, kg	Medžiagų sunaudojimo norma gaminiui, kg	Medžiagos kaina, Eur./kg	Medžiagos poreikis metams, kg	Medžiagų kaštai viso, tūkst. Eur.
1.	PEG 4000	1008.00	7.76	5.00	977.91	4.89
2.	MDI		2.59	1.50	326.29	0.49
3.	Butan-1.4-diolis		0.29	4.00	36.72	0.15
4.	DMPA		0.17	8.00	21.86	0.17
5.	Glicerolis		0.18	4.00	22.51	0.09
6.	Trietilaminas		0.14	6.00	18.14	0.11
7.	DMF		48.84	8.00	6154.28	49.23
8.	Izopropanolis		609.94	0.90	10000.00	9.00
9.	Toluenas		21.68	0.70	200.00	0.14
10.	Azotas		0.75	2.08	94.50	0.20
	Iš viso:		692.35	-	17852.22	64.47

Izopropanolis, DMF, azotas ir toluenas yra pagalbinės medžiagos gamybos procese. Kitos medžiagos yra pagrindinės. Medžiagų kaina įvertinta pagal galimas rinkos kainas.

Technologinių procesų išlaidos elektros energijai, vandeniui bei gamtinėms dujoms pateikiamas atitinkamai 4.15, 4.16 ir 4.17 lentelėse. Sunaudojama elektros energija įvertinama pagal gamyboje naudojamų įrenginių galingumą, o vanduo ir gamtinės dujos – pagal technologinės dalies skaičiavimus ir įrenginių charakteristikas.

4.15. lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai.

Eil. Nr.	Įrenginio pavadinimas	Įrengimų skaičius, vnt.	Variklio galia, kW	Darbo valandų skaičius metuose, h	Elektros energijos poreikis, kWh	1 kWh kaina, Eur.	Išlaidos elektros energijai, Eur.
1.	Virinimo talpos maišyklė	1	0.1	252	25.2	0.11	2.77
2.	Reaktoriaus maišyklė	1	0.1	1008	100.8	0.11	11.09
3.	MT1 maišyklė	1	1.5	252	378	0.11	41.58
4.	MT2 maišyklė	1	0.5	252	126	0.11	13.86
5.	Filtruojamoji centrifūga	1	2	113.4	226.8	0.11	24.95
6.	Garintuvas	1	1	378	378	0.11	41.58
7.	Vakuuminė džiovyklė	1	3	63	189	0.11	20.79
8.	Išcentriniai siurbliai	6	0.5	63	189	0.11	20.79
9.	Išcentriniai siurbliai	4	2.0	63	504	0.11	55.44
	Viso:	-	19.2	2444.4	2116.8	0.11	232.85

4.16. lentelė. Tiesioginės išlaidos vandeniui.

Eil. Nr.	Gamybos apimtis, kg	Vandens sąnaudos 8 kg produkto, m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> vandens kaina, Eur.	Išlaidos vandeniui, tūkst. Eur.
1.	1008.00	0.5	2.07	0.13

4.17. lentelė. Tiesioginės išlaidos gamtinėms dujoms.

Eil. Nr.	Gamybos apimtis, kg	Gamtinių dujų sąnaudos 8 kg produkto, m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup> gamtinių dujų kaina, Eur.	Išlaidos gamtinėms dujoms, tūkst. Eur.
1.	1008.00	1.50	0.40	0.08

Darbuotojų pareigos, jų skaičius, išlaidos atlyginimams nurodomas 4.18 lentelėje.

4.18. lentelė. Išlaidos darbo užmokeščiui.

Eil. Nr.	Profesija	Darbuotojų skaičius	Mėnesinis darbo užmokestis, Eur.	Pagrindinis fondas, Eur.	Atskaitymai soc. draudimui, Eur.	Metinės išlaidos atlyginimams, Eur.
1.	Gamybos darbinikai					
2.	Pagalbiniai darbuotojai	2	380.00	9120.00	2825.38	11945.38
	Operatoriai	3	380.00	13680.00	4238.06	17918.06
	Iš viso:	5	-	22800.00	7063.44	29863.44
3.	Inžinieriai/ technologai	2	650.00	15600.00	4832.88	20432.88
4.	Administracijos darbuotojai	2	380.00	9120.00	2825.38	11945.38
	Viso:	9	-	47520.00	14721.70	62241.70

Netiesioginiai gamybos kaštai elektros energijai, vandeniui, šildymui, amortizacijai nurodomi 4.19, 4.20, 4.21 ir 4.22 lentelėse.

4.19. lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui.

Eil. Nr.	Išlaidų pavadinimas	Sunaudojimas per parą, l/1 dirb.	Poreikis metams, m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup> vandens kaina, Eur	Išlaidos vandeniui, tūkst. Eur
1.	Šaltam vandeniui	40.00	90.72	2.07	0.19
		Sunaudojimas per parą, l/1 dirb.	Poreikis metams, m <sup>3</sup>	išlaidos 1 m <sup>3</sup> vandens pašildyti	Išlaidos vandeniui, tūkst. Eur
2.	Šiltam vandeniui	40.00	90.72	4.00	0.36
	Viso:	-	-	-	0.55

4.20. lentelė. Netiesioginės išlaidos šildymui.

Eil. Nr.	Išlaidų pavadinimas	Šildomas plotas, m <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> ploto šildymo kaina, Eur./mėn.	Šildymo sezonas, mėn.	Išlaidos šildymui per metus, tūkst. Eur.
1.	Patalpų šildymas	1063	0.53	6	3.38
2.	Eksploatacinės išlaidos	-	-	-	0.40
	Viso:	-	-	-	3.78

4.21. lentelė. Netiesioginės išlaidos apšvietimui (elektros energijai).

Eil. Nr.	Išlaidų pavadinimas	Patalpų plotas	Apšvietimo norma, W/m <sup>2</sup>	Energijos kiekis patalpoms apšviesti, kWh	1 kWh kaina, Eur.	Išlaidos apšvietimui per metus, tūkst. Eur.
1.	Patalpų apšvietimas	1063	10	22769	0.11	2.50
2.	Eksploatacinės išlaidos	-	-	-	-	1.00
	Viso:	-	-	-	-	3.50

4.22. lentelė. Netiesioginės išlaidos amortizacijai.

Eil. Nr.	Ilgalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, tūkst. Eur.	Normatyvinė eksploataavimo trukmė	Nusidėvėjimo suma, tūkst. Eur. metams
1.	Pastatai	253.00	25.00	9.11
2.	Įrengimai	80.00	10.00	7.20
	Viso:	-	-	16.31

Pagal apskaičiuotus kaštus gaunami gamybos kaštai, kurie pateikiami 4.23 lentelėje.

4.23. lentelė. Gamybos kaštai.

Eil. Nr.	Kaštų rūšys	Gamybos kaštai, tūkst. Eur.
Brandos stadijoje		
1.	Produkcijos gamybos planas, kg	1008.00
2.	Energijos, vandens ir dujų sunaudojami išteklių technologijai	0.44



4.23. lentelės tęsinys.

3.	Gamybos darbininkų darbo užmokestis	22.80
4.	Atskaitymai socialiniam ir sveikatos draudimui	7.06
5.	Gamybinės netiesioginės išlaidos	24.14
6.	Medžiagos	64.47
7.	Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur	118.92
8.	1 kg produkcijos gamybinė savikaina, Eur	117.97
Pirmaisiais projekto gyvavimo metais		
9.	Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur	136.75
10.	1 kg produkcijos gamybinė savikaina, Eur	135.67
N-siais projekto gyvavimo metais		
11.	Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur	118.92
12.	1 kg produkcijos gamybinė savikaina, Eur	117.97

Kaštai pagrindinėms medžiagoms, naudojamiems ištekliams, gamybinių darbininkų darbo užmokesčiui, socialiniam ir sveikatos draudimui nurodyti 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21 ir 4.22 lentelėse. Gamybos kaštus sudaro medžiagų, energetinių išteklių, gamybos darbininkų darbo užmokesčio ir socialinio draudimo, gamybos netiesioginių išlaidų kaštai. Iš gamybos kaštų duomenų apskaičiuojama 1 kg produkto gamybinė savikaina. Numatoma, kad pirmaisiais projekto metais reikės 15 % didesnių gamybos kaštų, nes reikės apmokyti darbuotojus.

#### 4.5.4. Veiklos kaštai

Veiklos kaštai įvertinami 4.24. lentelėje.

4.24. lentelė. Veiklos kaštai.

Eil. Nr.	Išlaidų rūšys	Suma, tūkst. Eur.
1.	Pardavimų sąnaudos:	
1.1	Reklama ir skelbimai	0.60
1.2	Prekių išvežimas	14.00
2.	Bendrosios ir administracinės sąnaudos:	
2.1	Administracijos darbuotojų ir inžinierių/technologų darbo užmokestis	24.72
2.2	Atskaitymai socialiniam ir sveikatos draudimui	7.66

4.24. lentelės tęsinys.

2.3	Energija	1.00
2.4	Amortizaciniai atskaitymai	1.00
2.5	Paslaugos	2.00
2.6	Komandiruotės	3.00
2.7	Mokesčiai ir rinkliavos	-
	Viso:	53.98

Reklamos kaštai įvertinami pagal skelbimų internete kainas. Prekių išvežimas atliekamas smulkių siuntų įmonių. Administracijos darbuotojų ir inžinierių/technologų darbo užmokestis ir atsiskaitymai sveikatos ir socialiniam draudimui nurodyti 4.18 lentelėje. Numatomos paslaugos – cheminių atliekų utilizavimo paslaugos.

#### 4.5.5. Finansinės ir investicinės sąnaudos

Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas pateikiamas 4.25 lentelėje.

4.25. lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos grąžinimo planas.

Eil. Nr.	Rodikliai	Projekto gyvavimo metai					
		1	2	3	4	5	6
1.	Kredito (paskolos) suma, tūkst. Eur.						
1.1.	ilgalaikė	619894.99	-	-	-	-	-
1.2.	trumpalaikė	-	-	-	-	-	-
2.	Metinė palūkanų norma, %:						
2.1.	ilgalaikės paskolos	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
2.2.	trumpalaikės	-	-	-	-	-	-
3.	Palūkanos, Eur.:						
3.1	ilgalaikės	30994.75	30994.75	30994.75	30994.75	30994.75	30994.75

4.25. lentelės tęsinys.

3.2	trumpalaikės	-	-	-	-	-	-
	Viso:	30994.75	30994.75	30994.75	30994.75	30994.75	30994.75
4.	Ilgalaikio kredito padengimas (grąžinimas), tūkst. Eur.	122.13	158.31	158.31	158.31	158.31	50.51

Numatoma, kad banko paskolos suma su palūkanomis bus gražinta per 6 metus. Ilgalaikio kredito padengimo suma nustatoma pagal grynąjį pelną, kuris nurodytas 4.27 lentelėje.

#### 4.5.6. Produkcijos kainos skaičiavimas

Produkcijos kaina apskaičiuojama remiantis gamybos išlaidomis, veiklos sąnaudomis, investicinėmis veiklos sąnaudomis ir planuojamu rentabilumu (žr. 4.26 lentelė).

4.26. lentelė. Produkcijos kainos apskaičiavimas.

Eil. Nr.	Produkcija	Gamybinė savikaina, Eur.	Veiklos sąnaudos, Eur.	Investicinės veiklos sąnaudos, Eur.	Pilnoji savikaina, Eur.	Pelnas		Viso Eur.
						%	Eur./vnt.	
1.	1 kg polimero	117.97	53.55	30.75	202.27	100.00	202.27	404.54

Gamybinė produkcijos savikaina, veiklos sąnaudos, investicinės veiklos sąnaudos nurodytos 4.23, 4.24 ir 4.25 lentelėse. Numatoma, kad pelnas sudarys 100 procentų pilnosios savikainos, kadangi bus gaminama inovatyvi medžiaga, pasižyminti specifinėmis savybėmis.

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

Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita pateikiama 4.27 lentelėje.

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

Eil. Nr.	Rodiklis	Projekto gyvavimo metai	
		1	2
1.	Pardavimo apimtis, kg	907.20	1008.00
2.	Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	136.75	118.92
3.	Bendras pelnas (nuostolis)	246.30	288.86

4.27. lentelės tęsinys.

4.	Veiklos sąnaudos	53.98	53.98
5.	Veiklos pelnas (nuostolis)	192.32	234.88
6.	Finansinė ir investicinė veikla		
6.1.	Pajamos	-	
6.2.	Sąnaudos	30.99	30.99
7.	Pelnas (nuostolis) prieš apmokestinimą	161.33	203.89
8.	Pelno mokestis	24.20	30.58
9.	Grynasis pelnas (nuostolis)	137.13	173.31

Parduodamos produkcijos gamybos kaštai, veiklos sanaudos, finansinės ir investicinės veiklos sanaudos nurodytos 4.23, 4.24, 4.25 lentelėse. Bendrasis pelnas: pardavimo apimties ir produkcijos kainos sandauga. Produkcijos kaina 2-aisiais projekto metais nurodyta 4.26 lentelėje. Produkcijos kaina pirmaisiais projekto metais apskaičiuojama pagal 4.23 lentelėje nurodytą produkcijos savikainą pirmaisiais projekto metais. Pelno mokestis skaičiuojamas, kai pelno mokesčio dalis nuo veiklos pelno yra 15 %.

Finansinės būklės pakitimų ataskaita pateikiama 4.28 lentelėje.

4.28. lentelė. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita.

Eil. Nr.	Rodikliai	Projektiniais metais	2, n-siais metais
1.	<b>Pinigų srautai iš įmonės veiklos</b>		
1.1.	Grynasis pelnas (nuostolis), tūkst. Eur.	137.13	173.31
1.2.	Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą, tūkst. Eur.	-	-
1.3.	Finansinės ir investicinės veiklos sąnaudų eliminavimas, tūkst. Eur.	122.13	158.31
	<b>Grynieji pinigų srautai iš įmonės veiklos, tūkst. Eur.</b>	15.00	15.00
2.	<b>Bendri metiniai pinigų srautai, tūkst. Eur.</b>	15.00	15.00

Grynasis pelnas ir investicinių ir finansinių veiklos sąnaudų eliminavimo kaštai nurodyti 4.25 ir 4.27 lentelėse.

#### 4.5.8. Lūžio taško skaičiavimas

Lūžio taškas parodo, kiek produkcijos reikia pagaminti ir parduoti, kad atsipirktų įmonės gamybos kaštai. Lūžio taško skaičiavimo rezultatai pateikiami 4.29 lentelėje.

4.29. lentelė. Lūžio taško apskaičiavimas.

Eil. Nr.	Rodikliai	Produktas
1.	Pastoviųjų kaštų suma, tūkst. Eur.	850.01
2.	Produkcijos 1 kg kaina, Eur.	404.54
3.	Produkcijos kintamieji kaštai, tūkst. Eur.	0.06
4.	Lūžio taškas, produkcijos kg	2498.93
5.	Pardavimų planas, kg	1008

Pastovieji kaštai: išlaidos gamybinių darbininkų atlyginimams, socialiniam ir sveikatos draudimui, gamybinės netiesioginės išlaidos, veiklos sanaudos, ilgalaikio kredito padengimo sanaudos, iš banko paimto kredito suma. Gaminio kintamieji kaštai: kaštai žaliavoms ir energijos, vandens ir dujų sunaudojamų išteklių technologijai kaštai kilogramui produkcijos. Iš rezultatų matoma, kad pirmaisiais, antraisiais bei trečiaisiais projekto metais įmonė veiks iš banko paskolos lėšų.

#### 4.5.9. Trumpalaikio turto vertės skaičiavimas

Produkcijos apimtis ir gaunamos pajamos pateikiamas 4.30 lentelėje.

4.30. lentelė. Produkcijos apimtis ir gaunamos pajamos.

Eil. Nr.	Rodikliai	Gamybos Įsisavinimo koeficientas	Produkcija
1.	Produkcijos gamybos (pardavimo) apimtis brandos stadijoje, kg	1	
2.	1 kg produkcijos kaina, Eur.	-	404.54
3.	Realizacinės pajamos brandos stadijoje, tūkst. Eur.	1	407.78
4.	Realizacinės pajamos pirmaisiais projekto gyvavimo metais, tūkst. Eur.	0.9	367.00

Numatoma, kad produkcijos realizavimo koeficientas pirmaisiais projekto gyvavimo metais bus 0,7.

#### 4.5.10. Projekto investicijos

Projekto kaštai ir investicijos pateikiami 4.31 lentelėje.

4.31. lentelė. Projekto investicijos.

Eil. Nr.	Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
	Struktūra	tūkst. Eur.	Struktūra	tūkst. Eur.
1.	Ilgalaikiam turtui įsigyti, tarp jo gamybos priemonėms	109.00	1. Akcininkų nuosavybė; akcinis kapitalas, rezervai	-
2.	Trumpalaikiam turtui įsigyti, tarp jo žaliavoms ir pagrindinėms medžiagoms	64.91	2. Paskolos: ilgalaikės, trumpalaikės	619.89
3.	Statybos, montavimo darbų kaštai	338.00	3. Lėšos, kurias įmonei laikinai skolingi tiekėjai	-
4.	Kiti kaštai	107.99		-
	Viso kaštų:	619.89	Viso šaltinių:	619.89

Numatoma, kad visas projektui reikalingas investicijas suteiks bankas. Ilgalaikiam turtui, trumpalaikiam turtui įsigyti, statybos bei montavimo darbų ir kiti kaštai nurodyti 4.12 – 4.22 lentelėse.

#### 4.5.11. Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai

Pagrindiniai projekto ekonominiai rodikliai pateikiami 4.32 lentelėje.

4.32. lentelė. Projekto finansiniai ekonominiai rodikliai.

Eil. Nr.	Rodikliai	Baziniais metais	Projekte	Pokytis
1.	Produkcijos pardavimo apimtis, kg	907.20	1008.00	100.80
2.	Realizacinės pajamos, tūkst. Eur.	383.06	407.78	24.72
3.	Įmonės personalas, žmonėmis:	9	9	0
3.1.	Iš jų gamybos darbininkai	7	7	0
4.	Darbo našumas, tūkst. Eur.:	42.56	45.31	2.75
4.1.	Administracijos darbuotojų	9.46	10.07	0.61
4.2.	Gamybos darbuotojų	33.10	35.24	2.14
5.	Vidutinis metinis darbo užmokestis, Eur.:			
5.1.	Administracijos darbuotojų	12360.00	12360.00	0.00

4.32. lentelės tęsinys.

5.2.	Gamybos darbuotojų	17026.93	17026.93	0.00
6.	Gamybos kaštai, tūkst. Eur.	136.75	118.92	-17.84
7.	1 kg produkcijos pilnoji savikaina, Eur.	219.97	202.27	-17.70
8.	Grynasis pelnas, tūkst. Eur.	137.13	173.31	36.18
9.	Papildomas pelnas, gautas įgyvendinus projektinius sprendimus	-	-	-
10.	Investicijų apimtis, tūkst. Eur.	619.89	-	-
11.	Produkcijos (veiklos) rentabilumas, %	84.58	117.93	33.34
12.	Apyvartos rentabilumas, %	117.97	171.46	53.49
13.	Kapitalo rentabilumas, %	130.10	164.43	34.32
14.	Jų apyvartų skaičius	1	1	0.00
15.	Apyvartos trukmė, dienos	252	252	0.00
16.	Projekto investicijų atsipirkimo trukmė, metais	6	-	-
17.	Projekto grynoji esamoji vertė, tūkst. Eur	225.30	-	-
18.	Vidinė pelno norma, %	15.26	-	-

Realizacinės pajamos: produkcijos pardavimo apimtys ir produkcijos kainos sandauga. Darbo našumas realizacinių pajamų ir darbuotojų skaičiaus santykis. Produkcijos veiklos rentabilumas, apyvartos rentabilumas, kapitalo rentabilumas apskaičiuojami pagal 4.62, 4.63 ir 4.64 lygtis:

$$R_{prod} = (P \cdot 100)/(GK + VS) \quad (4.62)$$

$$R_{ap} = (P \cdot 100)/B_{pard} \quad (4.63)$$

$$R_k = (P \cdot 100)/(PF + AL) \quad (4.64)$$

$R_{prod}$  – produkcijos rentabilumas, %;

$R_{ap}$  – apyvartos rentabilumas, %;

$R_k$  – kapitalo rentabilumas, %;

$P$  – pelnas prieš apmokestinimą tūkst. Eur;

$GK$  ir  $VS$  – atitinkamai paroduodamos produkcijos gamybos kaštai ir veiklos sąnaudos, tūkst. Eur;

$B_{pard}$  – padavimų apimtis, tūkst. Eur;

$PF$  ir  $AL$  – atitinkamai pagrindinių priemonių ir apyvartinių lėšų vertė (šiuo atveju priimama, kad apyvartinių lėšų nėra), tūkst. Eur.

Projekto grynoji esamoji vertė yra skirtumas tarp būsimų pinigų dabartinės vertės ir investicijos sąnaudų. Vidinė pelno norma parodo diskonto normą, kuriai esant investicijos grynoji dabartinė vertė lygi nuliui. [24].

#### 4.6. Aplinkosauginis vertinimas

Aplinkosauginis vertinimas plačiąja prasme yra produkcijos viso būvio ciklo vertinimas (nuo žaliavų išgavimo iki atliekų šalinimo). Tačiau, pilnas būvio ciklo vertinimas reikalauja daug laiko ir resursų. Todėl atliekamas gamybinės veiklos poveikio vertinimas aplinkai. Tyrimo apimtis – produkcijos gamyba nuo pradinių žaliavų iki išgryninto produkto.

Naudojami žaliavų kiekiai ir kiti duomenys pateikiami 4.33 lentelėje.

4.33. lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavas.

Žaliavos pavadinimas	Kiekis naudojant objektą, t/metus	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklavimas	
		Pavojingumo frazės kodas (-ai)	Piktogramos ir signalinio žodžio kodas (-ai)
PEG 4000	0.98	-	-
MDI	0.33	Carc. 2; Acute Tox. 4; STOT RE 2; Eye Irrit. 2; STOT SE 3; Skin Irrit. 2; Resp. Sens. 1; Skin Sens. 1	GHS08; GHS07; Dgr
Butan-1,4-diolis	0.04	Xn, R22	GHS07
DMPA	0.02	Skin Irrit. 2; Eye Irrit. 2A; Eye Irrit. 2A	GHS07, Wng
Glicerolis	0.02	Skin Irrit. 2; Eye Irrit. 2	Wng
Trietilaminas	0.02	Flam. Liq. 2; Acute Tox. 4; Skin Corr. 1A	GHS02; GHS05; GHS07; Dgr
DMF	6.15	Repr. 1B; Acute Tox. 4; Eye Irrit. 2	GHS08; GHS07; Dgr



4.33. lentelės tęsinys.

Izopropanolis	10.00	F; R11; Xi; R36; R67	F; Xi; R: 11-36-67; S: (2-)-7- 16-24/25-26
Toluenas	0.20	Flam. Liq. 2; Repr. 2; Asp. Tox. 1; STOT RE 2; Skin Irrit. 2; STOT SE 3	GHS02; GHS08; GHS07; Dgr

Naudojami cheminių medžiagų kiekiai nurodyti technologinės dalies skaičiavimuose. Pavojaus frazės kodai ir piktogramos, bei signalinio žodžio kodai gauti, remiantis medžiagų saugos duomenų lapais ir Europos parlamento ir tarybos reglamentu dėl cheminių medžiagų ir mišinių klasifikavimo, ženklavimo ir pakavimo (CLP reglamentu) [19].

Duomenys apie naudojamus išteklius pateikiami 4.34 lentelėje.

4.34. lentelė. Duomenys apie naudojamus išteklius.

Energetinėms reikmėms naudojami ištekliai		
Pavadinimas	Kiekis per metus	Šaltiniai
Gamtinės dujos	189 m <sup>3</sup>	ESO
Elektros energija	13677.30 kWh	ESO

Žemiau esančioje lentelėje pateikiami aplinkosauginio vertinimo duomenys apie objekto veiklos sąlygojamą fizikinę ir biologinę taršą.

4.35. lentelė. Konkrečios veiklos sąlygojama fizikinė ir biologinė tarša.

Taršos rūšis	Taršos šaltinio pavadinimas	Taršos šaltinių skaičius	Taršos šaltinio atskleidžiamas taršos lygis	Priemonės taršai mažinti
Triukšmas	Išcentrinis siurbys/kompresorius	10	75 dB	Ausų apsaugos priemonės
	Virinimo talpa	1	70 dB	Ausų apsaugos priemonės
	Purkštuvinė džiovykla	1	75 dB	Ausų apsaugos priemonės
	Maišymo talpos	2	75 dB	Ausų apsaugos priemonės
	Reaktorius	1	70 dB	Ausų apsaugos priemonės

4.35. lentelės tęsinys.

	Filtruojamoji centrifūga	1	66 dB	Ausų apsaugos priemonės
	Garintuvas	1	70 dB	Ausų apsaugos priemonės
	Vakuuminė džiovykla	1	75 dB	Ausų apsaugos priemonės
	Sraigtiniai dozatoriai	4	70 dB	Ausų apsaugos priemonės

Taršos rūšis ir taršos šaltinio skleidžiamas taršos lygis įvertinamas pagal naudojamus technologinius įrenginius. Nurodomas leistinas triukšmo lygis gamybinėse patalpose ir teritorijose yra 87 dB [20].

4.36. lentelė. Atliekos ir jų tvarkymas [33].

Technologinis procesas	Atliekos pavadinimas	Atliekų kiekis, t/metus	Atliekų agregatinė būseną	Atliekos kodas pagal atliekų sąrašą	Atliekų pavojingumas	Atliekų saugojimo objekte laikymo sąlygos	Atliekų saugojimo objekte didžiausias kiekis	Numatomi atliekų tvarkymo būdai
Buitinės atliekos	Popierius	-	Kieta	20 01 01	Nepavojingos	Kambario temperatūroje	100 kg	Atliekų transportavimas pedirbimui
Antrinės žaliavos	Plastikinės pakuotės	-	Kieta	15 01 02	Nepavojingos	Kambario temperatūroje	100 kg	Atliekų transportavimas pedirbimui
Izopropano lio talpa DT8	Izopropanolis	10	Skysta	07 02 03	Pavojingos	Kambario temperatūroje	10	Organinių medžiagų utilizavimas

4.36. lentelės tęsinys.

Panaudoto tolueno talpa sandėlyje	Toluenas	0,20	Skysta	07 02 03	Pavojingos	Kambario temperatūroje	0,20	Organinių medžiagų utilizavimas
Vakuuminė džiovykla	DMF		Skysta	07 02 03	Pavojingos	Kambario temperatūroje		Organinių medžiagų utilizavimas
Garintuvas	Organinių tirpiklių, nesureagavusių pradinių medžiagų ir tirpių reakcijos produktų mišinys	6,24	Skysta	07 02 08	Pavojingos	Kambario temperatūroje	6,24	Organinių medžiagų utilizavimas

Gamybinio proceso metu netiesiogiai susidaro buitinės atliekos (popieriaus, kartono) ir antrinės žaliavos (plastikinės pakuotės). Garintuve po izopropanolio garinimo proceso susidaro organinių tirpiklių, nesureagavusių pradinių medžiagų ir tirpių reakcijos produktų mišinys. Izopropanolis ir toluenas po technologinio proceso yra regeneruojami juos nudistiliuojant. Jų grynumas sekamas matuojant gauto distiliato tankį. Grynumui sumažėjus iki 95 procentų, gautas distiliatas yra utilizuojamas. Produkcijos džiovinimas vykdomas vakuuminėje džiovykloje, kurios metu yra pašalinamas DMF, kuris yra sukondensuojamas ir utilizuojamas.

4.37. lentelė. Naudojamo vandens balansas.

Vandens tiekimo šaltinis	Vandens naudojimo sritys	Didžiausias paros debitas, m <sup>3</sup> /d	Vidutinis metinis kiekis, m <sup>3</sup>	Taupymo ir apsaugos priemonės
Vandentiekis	Šilumos perdavimo procesuose	0,3	37,8	-

Sunaudojamo vandens kiekis įvertintas, remiantis technologinės dalies skaičiavimais.

4.38. lentelė. Nuotekų ir teršalų balansas.

Nuotekų susidarymo šaltiniai	Didžiausias paros nuotekų kiekis, m <sup>3</sup> /d	Vidutinis metinis nuotekų kiekis, m <sup>3</sup>	Teršalo pavadinimas	Teršalo kiekis, t/m
Siurbliai, reaktorius, garintuvas, virinimo talpa, maišymo talpos	0,05	6,90	Organinės medžiagos	6,20
Dekanteris	0,006	0,76	Toluenas	0,76

Vandens ir organinių medžiagų mišinio nuotekos susidaro vykdamas įrenginių plovimo operacijas. Technologinio proceso metu dekanteryje atskirtas vanduo turi nedidelį kiekį tolueno, kuris yra pašalinamas, naudojant vandens valymo įrenginius.

4.39. lentelė. Aplinkos oro tarša.

Proceso (taršos šaltinio) pavadinimas	Teršalo pavadinimas	Išmetamų dujų temperatūra, °C	Išmetamų dujų tūrio debitas, m <sup>3</sup> /s	Teršalų išmetimo trukmė, val./m
Virinimo talpa	Toluenas	~110	-	-
Garintuvas	Izopropanolis	~82	-	-
Reaktorius	DMF	~152	-	-
Purkštuvinė džiovykla	Tolueno garų ir azoto dujų mišinys	~50	-	-

Įvertinus galimus gamybinių procesų taršos šaltinius, didžiausias taršos šaltinis yra susidarančios organinių tirpiklių, nesureagavusių pradinių medžiagų ir tirpių reakcijos produktų mišinio nuotekos. Numatomas šių nuotekų utilizavimas perduodant jas atliekų utilizavimo įmonėms. Atliekant PEG 4000 džiovinimą, naudojant purkštuvinę džiovyklą, yra pašalinamas toluenas.

## 4.7. Darbuotojų sauga ir sveikata

### 4.7.1. Projektuojamo objekto charakteristika

Įmonė statoma gamybinės veiklos zonoje, sanitarinės apsaugos zonos plotis 500 m [31]. Įmonėje bus sintetintas formą „menantis“ polimeras. Naudojamos medžiagos: PEG 4000, 4,4'-metilendifenildiizocianatas, butan-1,4-diolis, 2,2-di(hidroksimetil)propioninė rūgštis, glicerolis, trietilaminas, N,N'-dimetilformamidas, izopropanolis, toluenas.

#### 4.7.2. Profesinės rizikos vertinimas

Profesinės rizikos vertinimas atliekamas ištirti esamą ar galimą profesinę riziką, numatyti jos prevencines ar mažinimo priemones [21]. Profesinės rizikos vertinimo rezultatai pateikiami žemiau esančioje lentelėje.

4.40. lentelė. Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas.

Rizikos veiksnys, keliantis pavojų profesinei saugai ir sveikatai	Rizikos veiksnio atsiradimo ar veikimo vieta	Rizikos veiksnio dydis (lygis), matavimo vienetas	Rizikos veiksnio leidžiamas dydis (lygis), ribinė vertė, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis	Prevencijos priemonių būtinumas
Išsiskiriantys lakių organinių junginių garai: tolueno, DMF, Izopropanolio; dulkės: MDI, DMPA	Virinimo talpa, reaktorius, garintuvas	-	IPRD atitinkamai: 50 ppm; 15 ppm; 150 ppm;  0.005 ppm; -	1-4 val	Respiratoriai, apsauginiai akiniai
Triukšmas	Siurbliai, maišyklių varikliai, garintuvas, džiovyklos	70,6 dB	85 dB	8 val	Ausų apsaugos priemonės (nebūtinos)
Karšti paviršiai	Virinimo talpa, reaktorius, garintuvas, džiovyklos	-	40 °C	8 val	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės

4.40. lentelės tęsinys.

Sprogimo pavojus, gaisras	Virinimo talpa, reaktorius, garintuvas, džiovyklos, siurbliai	-	-	8 val	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės
Darbo sudėtingumas	Virinimo talpa, reaktorius, siurbliai, džiovyklos	-	-	8 val	Darbuotojų apmokymas, stažuotės

Vykdamas pakrovimo, iškrovimo operacijas gali išsiskirti lakių organinių medžiagų garai, organinių medžiagų dulkės. Tam numatytos asmeninės apsauginės priemonės, kurios nurodytos 4.40 lentelėje. Triukšmo lygis, kurį gali sukelti veikiantys įrenginiai yra įvertintas, remiantis 4.43 lentelės duomenimis. Technologinių procesų metu įrenginių paviršiai gali įkaisti, todėl yra numatytos asmeninės apsaugos priemonės. Darbo atlikimas gali būti sudėtingas, todėl numatytas detalus darbuotojų supažindinimas su procesu, jo valdymu. Numatomos darbuotojų stažuotės.

Pagal naudotas medžiagas nustatomi patalpų, pastatų sprogimo ir gaisro kategorijos. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai nurodyti, remiantis medžiagų saugos duomenų lapų duomenimis.

Remiantis medžiagų saugos duomenų lapais, medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai nurodyti 4.41 lentelėje.

4.41. lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai.

Medžiagos pavadinimas	Sunaudojama per gamybos ciklą, kg	Pliūpsnio temperatūra, °C	Sprogumo ribos		Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C	Užsidegimo temperatūra, °C
			apatinė	viršutinė		
PEG 4000	7.76	229	-	-	-	-
MDI	2.59	113	-	-	-	-
Butan-1,4-diolis	0.29	115	-	-	-	385
DMPA	0.17	220	-	-	-	-
Glicerolis	0.18	193	-	-	-	400

4.41. lentelės tęsinys.

Trietilaminas	0.14	-15	8 proc	1,2 proc	249	-
DMF	48.84	58	16	2,2	445	-
Izopropanolis	203.40	11,7	12	2	456	-
Toluenas	21.90	5	7	1	480	-

Pastatų ir patalpų kategorijos nurodytos 4.42 lentelėje.

4.42. lentelė. Pastatų, patalpų kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų, pavojingų vietų zonos [22].

Objekto, kuriam suteikiama kategorija, klasifikuojama pavojinga vieta, pavadinimas	Požymis, nulemiantis kategoriją, pavojingos vietos zoną	Kategorija, pavojingos vietos zona
Gamybinės patalpos	Izopropanolio pliūpsnio temperatūra, kuri yra žemesnė nei 28 °C	A <sub>sg</sub>
Administracinės, personalo, bendro naudojimo patalpos	Nėra organinių medžiagų garų ar kitų degių organinių junginių, karštų paviršių, nesikaupia elektrostatinis krūvis	E <sub>g</sub>
Pastatas	A <sub>sg</sub> kategorijos patalpų plotas viršija 25 % pastato ploto	A <sub>sg</sub>

Patalpos ir įrenginių pavojingumo kategorijos įvertintos, remiantis daugiausiai naudojamomis medžiagos pavojingumo rodikliais. Gamybinės patalpas, pagal sprogo aplinkos susidarymo dažnumą ir jos išsilaikymo trukmę, galima priskirti 2 zonai, esant normaliai darbo eigai, neturi arba gali labai mažai išsiskirti lakių organinių medžiagų garų.

### 4.7.3. Saugi gamyba

Pagal elektros įrenginių eksploatavimo patalpos pagal elektros srovės pavojingumą gamybinės patalpos yra normalios (nepavojingos) patalpos [23].

Kadangi yra galimas lakiųjų organinių tirpiklių kiekis ore, gamybinės patalpas galima priskirti prie potencialiai sprogių ir degių patalpų. Pagal sprogiųjų mišinių kategorijas, patalpos oro mišinys priskiriamas prie II C kategorijos (pramoninės dujos ir garai, dulkių bei plaušelių oro mišiniai), nes yra mažai tikėtina, kad gali susidaryti sprogioji atmosfera, o jei susidarytų, tai trumpam laikui. Todėl gesinančio tarpelio plotis yra iki 0,5 mm.

Reaktoriui, virinimo talpai, garintuvui aukščiausia leidžiamoji paviršiaus temperatūra nustatoma pagal potencialiai galinčio užsiliepsnoti junginio savaiminio užsidegimo temperatūrą

(4.41. lentelė). Kadangi, gali susidaryti atitinkamai DMF, tolueno ir izopropanolio garai, tuomet aukščiausia leidžiamoji paviršiaus temperatūra reaktoriui yra 300 °C, virinimo talpai 450 °C ir garintuvui 450 °C.

#### 4.7.4. Darbo higiena

Gamybos operatorių, pagalbinių darbininkų darbo sunkumo kategorija yra vidutinio sunkumo fizinis II b kategorijos darbas. Administracijos darbuotojų, technologų/inžinierių darbo sunkumo kategorija yra lengvo fizinio I b kategorijos darbas. Pagal nustatytas darbo sunkumo kategorijas Lietuvos higienos normose HN 69:2003 numatyta, kad oro temperatūra patalpose turi būti gamybinėse patalpose šaltuoju laikotarpiu 18 – 20 °C, o šiltuoju – 21 – 23 °C [25]. Kadangi gamybinių patalpų zonose vykdomas judėjimas, įprastas stebėjimas ir nereikalaujama didelio regos tikslumo, pagal Lietuvos higienos normas HN 98:2014, apšvietos norma yra 200 liuksų [26].

Būtina nustatyti technologiniame procese naudojamų kenksmingų cheminių medžiagų ribinius dydžius, aprašyti jų poveikio darbuotojo sveikatai ypatumus, bei parinkti atitinkamas asmenines apsaugos priemones. Šie duomenys nurodyti 4.43 lentelėje.

4.43. lentelė. Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai ir numatytos asmeninės apsauginės priemonės [27, 28].

Cheminė medžiaga	Ilgalaikio poveikio ribinis dydis	Trumpalaikio poveikio ribinis dydis	Neviršytinas ribinis dydis	Poveikio sveikatai ypatumų žymenys	Asmeninės apsaugos priemonės
PEG 4000	-	-	-	-	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės, apsauginiai akiniai, respiratoriai
MDI	0,005 ppm	-	0,01 ppm	Ū J	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės, apsauginiai akiniai, respiratoriai



4.43. lentelės tęsinys.

Butan- 1,4-diolis	-	-	-	-	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės, apsauginiai akiniai, respiratoriai
DMPA	-	-	-	-	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės, apsauginiai akiniai, respiratoriai
Glicerolis	-	-	-	-	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės, apsauginiai akiniai, respiratoriai
Trietilami nas	8,4 mg/m <sup>3</sup> ; 2 ppm	12,6 mg/m <sup>3</sup> ; 3 ppm	-	O	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės, apsauginiai akiniai, respiratoriai
DMF	15 mg/m <sup>3</sup> ; 5 ppm	30 mg/m <sup>3</sup> ; 10 ppm	-	R O	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės, apsauginiai akiniai, respiratoriai
Izopropan olis	350 mg/m <sup>3</sup> ; 150 ppm	600 mg/m <sup>3</sup> ; 250 ppm	-	-	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės, apsauginiai akiniai, respiratoriai
Toluenas	192 mg/m <sup>3</sup> ; 50 ppm	384 mg/m <sup>3</sup> ; 100 ppm	-	R O	Apsauginiai drabužiai, apsauginės pirštinės, apsauginiai akiniai, respiratoriai

Čia: J – jautrinantis poveikis; O – medžiaga į organizmą gali prasiskverbti pro nepažeistą odą; R – reprodukcijai toksiškas poveikis; Ū – ūmus poveikis.

Gamybinėse patalpose naudojami draudžiamieji ženklai, draudžiantys rūkyti ir naudoti atvirą ugnį, gesinti vandeniu, eiti pašalinams. Naudojami išpėjamieji ženklai, kurie išpėja apie degiąją medžiagą, toksiinę medžiagą, kenskingą arba dirginančią medžiagą. Naudojami

įpareigojantys ženklai, kurie įpareigoja naudoti apsauginius akinius, dėvėti apsauginius šalmsus, vilkėti apsauginius drabužius, mėvėti apsaugines pirštines. [32].

Pagal įrenginius, kurie skleidžia garsą technologinių procesų metu, buvo apskaičiuotos kasdienio operacijos triukšmo lygio vertės ir apskaičiuota bendroji kasdienio triukšmo ekspozicijos vertė. Šie rezultatai pateikiami 4.44 lentelėje.

4.44. lentelė. Darbo vietos triukšmo lygių ir operacijų trukmės duomenys

Įrenginio pavadinimas	Ekvivalentus garso lygis operacijos metu $L_{Aeqi}$ , dBA	Bendroji operacijos trukmė per pamainą $t_i$ , val. : min.	Kasdienio operacijos triukšmo (ekspozicijos) lygio vertė, $L_{EX,8hi}$ , dBA
Išcentrinis siurbys/kompresorius	75	0.5	63.0
Virinimo talpa	70	2	64.0
Purkštuvinė džiovykla	75	0.3	60.7
Maišymo talpos	75	0.5	63.0
Reaktorius	70	8	69.5
Filtruojamoji centrifūga	66	0.9	56.5
Garintuvas	70	3	65.7
Vakuuminė džiovykla	75	0.5	63.0
Sraigtiniai dozatoriai	70	0.3	55.7
Bendroji kasdienio triukšmo ekspozicijos vertė $L_{EX,8h}$			70.6

Kadangi apskaičiuotoji bendroji kasdienio triukšmo vertė 70.6 dBA yra mažesnė nei higienos normose numatyta vertė (87 dBA), todėl nėra būtina naudoti triukšmo mažinimo priemonės [20]. Triukšmo vertinimo nuostatai

#### 4.7.5. Gaisrinė sauga



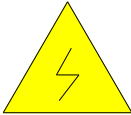
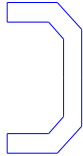
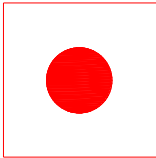


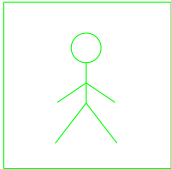
Gaisro atveju yra parengti evakuacijos keliai, naudojami langai, kurie gaisro metu atsiveria. Kadangi gamybinės patalpos pavojingumo sprogumo ir gaisro atveju kategorija yra  $A_{sg}$ , jose būtina pakabinti priešgaisrinės saugos instrukcijas. Kadangi, gali kauptis degių organinių medžiagų garai gamybinėse patalpose, būtina naudoti kibirkščiavimo nesukeliančią avalynę, statinio elektros krūvio nekaupiančius drabužius. Dėl galimo sprogios aplinkos susidarymo įrengiami vėdinimo įrenginiai. Numatoma naudoti automatines perspėjimo apie gaisrą ir gaisro gesinimo sistemas.[22, 29, 30].

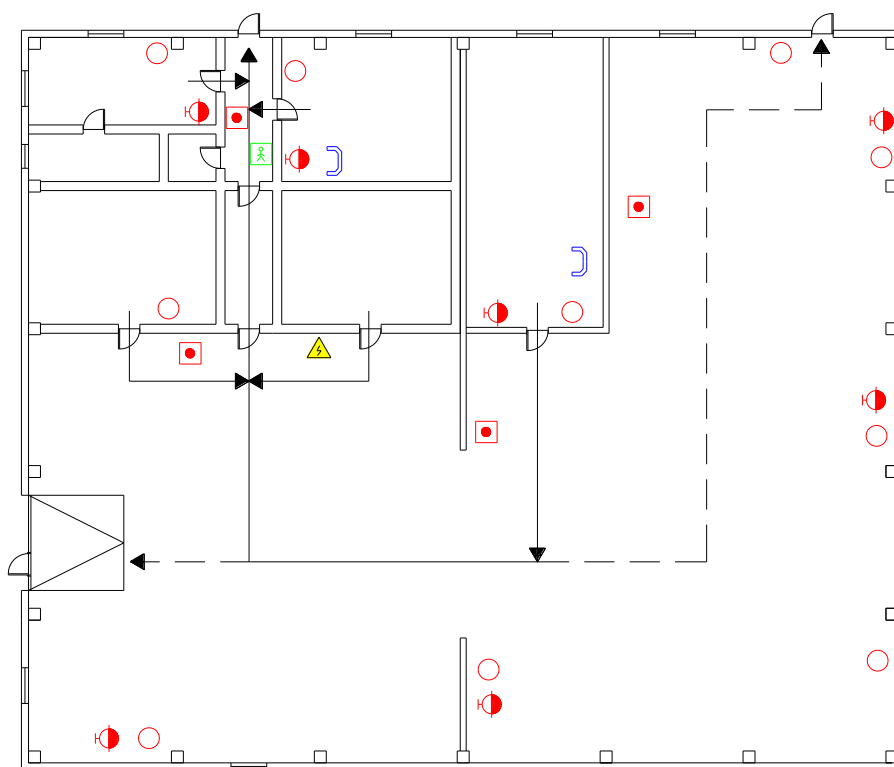
Galimi kietų organinių medžiagų, organinių skysčių ir jų garų gaisrai. Šiems gaisrams gesinti parenkami gesintuvai su ABC tipo ugnį gesinančia medžiaga. Gaisrui gesinti įrengiamas priešgaisrinis vandentiekis. Pastatų viduje įrengiami gaisriniai čiaupai.

Kadangi gamybinės patalpos pavojingumo sprogumo ir gaisro atveju kategorija yra  $A_{sg}$ , nešiojamų gesintuvų skaičius  $100 \text{ m}^2$  yra du su 6 kg ABC tipo ugnį gesinančia medžiaga. Prie gesintuvų būtinas nedegus audeklas. Projektuojamo gamybinio pastato plane nurodytas gamybinės patalpos plotas yra  $476 \text{ m}^2$ . Tuomet, gamybinėje patalpoje turi būti dešimt gesintuvų su 6 kg ABC tipo ugnį gesinančia medžiaga. [29].

Pastato evakuacijos planas pateikiamas 4.7. paveiklėlyje. Sutartiniai ženklai ir jų reikšmės pateikiamas 4.45 lentelėje.

4.45. lentelė. Evakuacijos plano sutartiniai ženklai [29].

Ženklas	Reikšmė
	Gesintuvas
	Gaisrinis čiaupas
	Elektros skydelis
	Telefonas
	Gaisrinės signalizacijos mygtukas
	Pagrindinis evakuacijos kelias
	Atsarginis evakuacijos kelias
	Plano vieta



4.7. Pav. Pastato evakuācijas planas.

## Išvados

- Atlikus literatūros apžvalgą nuspręsta susintetinti tinklinės struktūros formą „menančiomis“ savybėmis galinčius pasižymėti pusiau kristalinius polimerus.
- Atlikus susintetintų medžiagų tyrimus ir apibendrinus gautus rezultatus, buvo nuspręsta pasirinkti P2 polimerą, kurio sintezei naudojamos medžiagos: PEG 4000,  $N,N'$  – dimetilformamidas,  $4,4'$  – metilendifenildiizocianatas, butan-1,4-diolis, trietilaminas, glicerolis ir 2,2-di(hidroksimetil)propioninė rūgštis.
- Suprojektuota ir nubraižyta pasirinkto formą „menančio“ polimero gamybos technologinė linija, atlikti medžiagų ir šilumos srautų balanso skaičiavimai, parinkti įrenginiai arba apskaičiuoti jų parametrai.
- Suprojektuotas ir nubraižytas formą „menančio“ polimero gamybos cecho statybos teritorijos planas, gamybinių patalpų planas, gamybinio pastato išilginis pjūvis, bei pateikti statybiniai sprendimai.
- Atlikti finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai.
- Atliktas gamybos proceso aplinkosauginis vertinimas.
- Atliktas darbuotojų profesinės rizikos vertinimas, saugios gamybos sprendimai, darbo higienos, gausrinės saugos sprendimai.

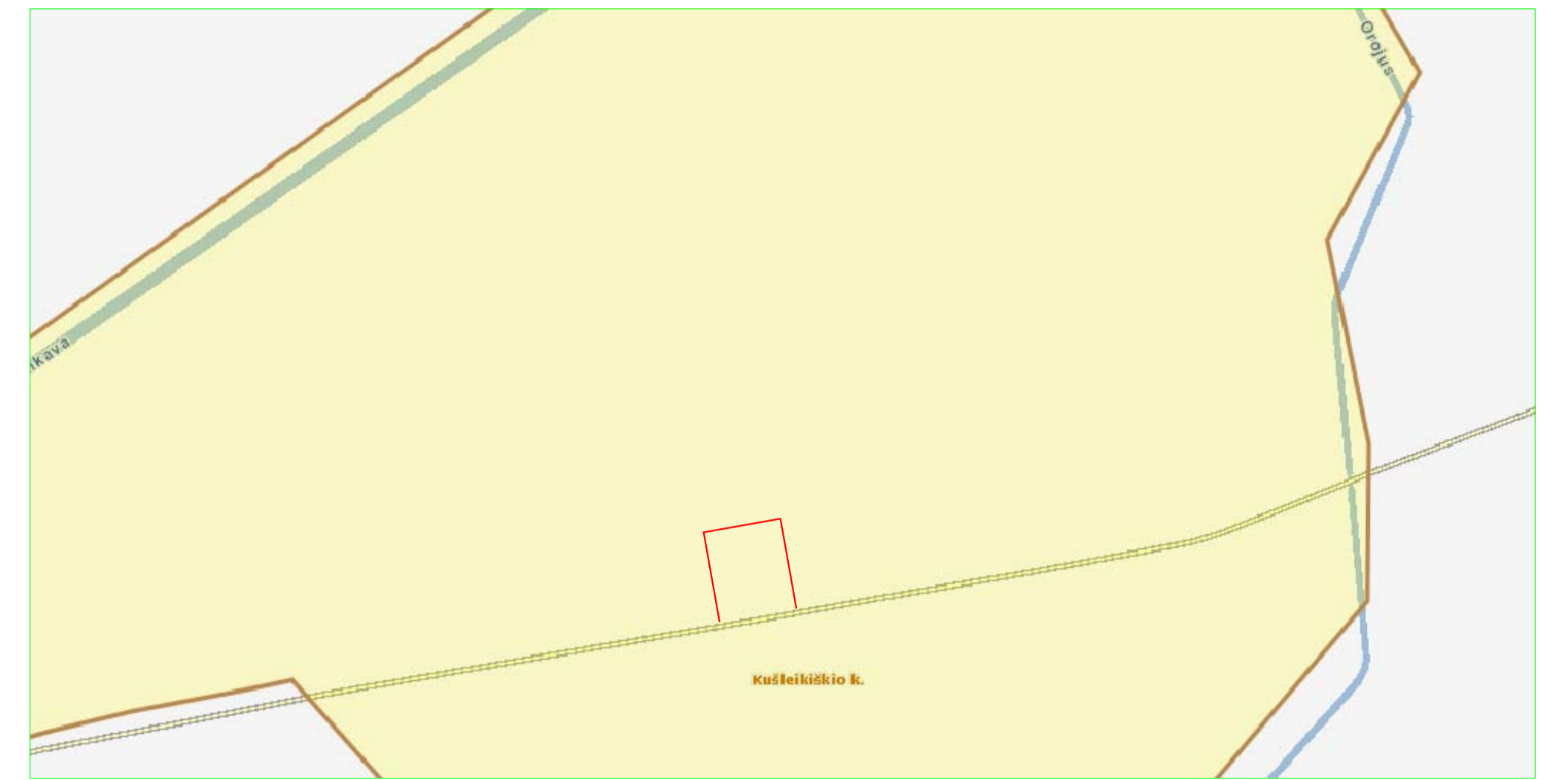
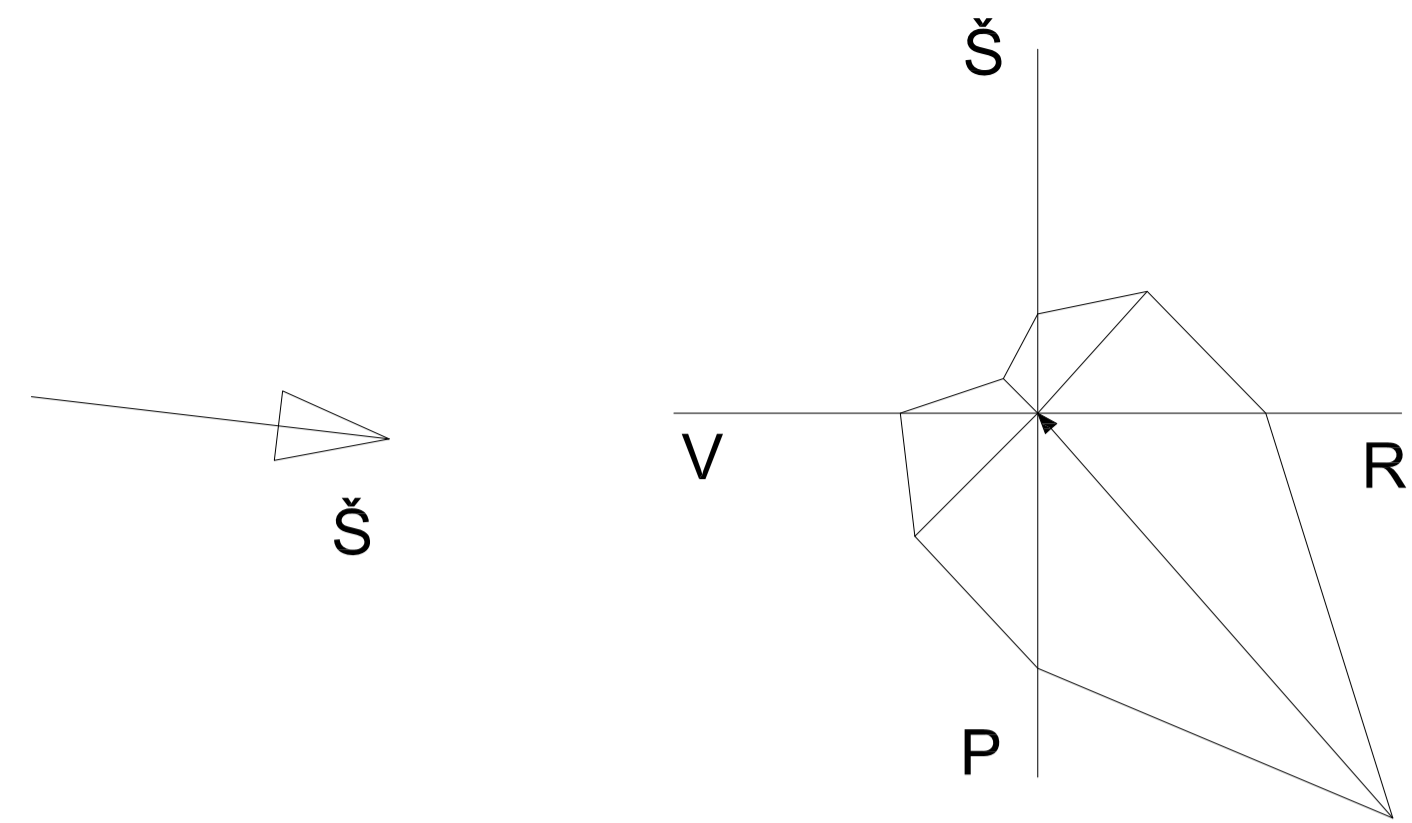
## Literatūros sąrašas

1. Liu, C.; Qin, H.; Mather, P.T. Review of progress in shape-memory polymers. *J. Mater. Chem.*, 2007, vol. 17, p. 1543 – 1558.
2. Hu, J.; Zhu, Y.; Huang, H.; Lu, J. Recent advances in shape-memory polymers: Structure, mechanism, functionality, modeling and applications. *Progress in polymer science*, 2012, vol. 37, p. 1720 – 1763.
3. Meng, H.; Li, G. A review of stimuli-responsive shape memory polymer composites. Elsevier, 2013, vol. 54, p. 2199 – 2221.
4. Hu, J. *Shape Memory Polymers: Fundamentals, Advances and Applications*. Shropshire: Smithers Rapra Technology Ltd, 2014.
5. [Žiūrėta 9-4-2017]. Prieiga: <http://www.phxequip.com/equipment.28229/26-gal-precision-stainless-inc-stainless-steel-reactor.aspx>.
6. Chohey, N. P. *Handbook of Chemical engineering calculations*, Third Edition. The McGraw-Hill Companies, 2004.
7. Green, D. W.; Perry, R. H. *Perry's chemical engineers' handbook*, 8th edition. The McGraw-Hill Companies Inc, 2008.
8. [Žiūrėta 10-4-2017]. Prieiga: <http://www.aaronequipment.com/usedequipment/reactors/stainless-steel-reactors/pureflo-43855002>.
9. [Žiūrėta 10-4-2017]. Prieiga: [https://www.dynalene.com/v/vspfiles/templates/210/datasheets/Dynalene\\_600\\_Technical\\_Data.pdf](https://www.dynalene.com/v/vspfiles/templates/210/datasheets/Dynalene_600_Technical_Data.pdf).
10. [Žiūrėta 10-4-2017]. Prieiga: <http://www.rieranadeu.com/en/rina200.php>.
11. [Žiūrėta 10-4-2017]. Prieiga: <http://www.pkgequipment.com/wastewater-evaporators.html>.
12. [Žiūrėta 10-4-2017]. Prieiga: <http://www.heinkelusa.com/products/dryers-and-mixers/conical-bottom-agitated-vacuum-dryer.aspx>.
13. [Žiūrėta 10-4-2017]. Prieiga: [www.pumpfundamentals.com/slurry/WeirSlurryPumpingHandbook.pdf](http://www.pumpfundamentals.com/slurry/WeirSlurryPumpingHandbook.pdf).
14. [Žiūrėta 10-4-2017] Prieiga: <https://www.aiche.org/sites/default/files/docs/webinars/JacobK-PneumaticConveyingPDFmin.pdf>.
15. [Žiūrėta 10-4-2017]. Prieiga: <http://www.nederman.com/en/products/product?product=207536#>.
16. [Žiūrėta 21-4-2017]. Prieiga: <http://www.mvsystem.lt/produktai/daugiasluoksnes-plokstes/sienines-izowall-daugiasluoksnes-plokstes/>

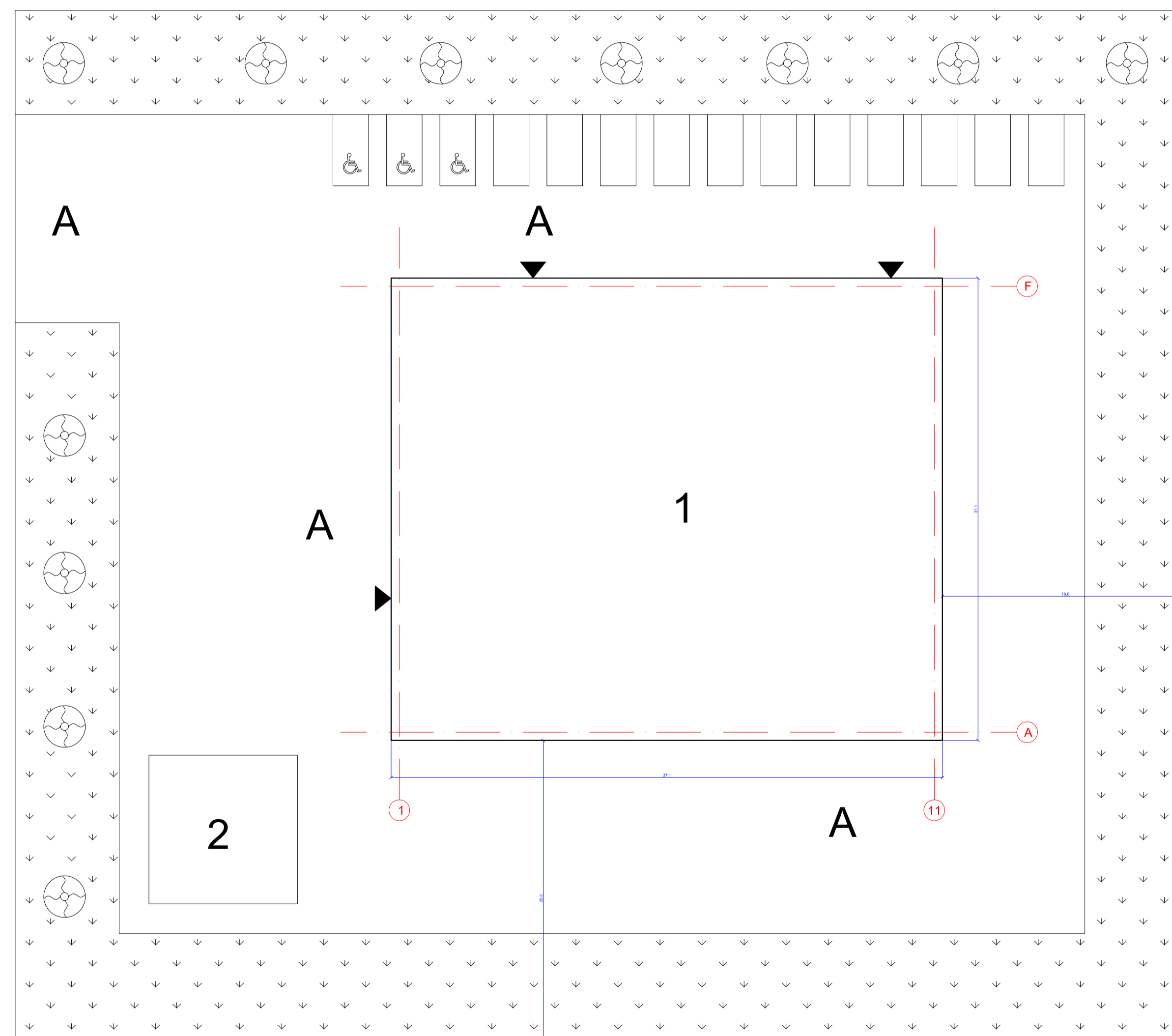
17. [Žiūrėta 21-4-2017]. Prieiga: <http://www.europanel.pl/lt/produktai/daugiasluoksnes-plokstes/stogo/pur-pir/poldeck-td-daugiasluoksne-stogo-plokste-pur/>
18. [Žiūrėta 5-5-2017]. Prieiga: <https://www.brabender-technologie.com/en/products/gravimetric-feeders/single-screw-loss-in-weight-feeder/>
19. Europos parlamento ir tarybos reglamentas (EB) Nr. 1272/2008. Dėl cheminių medžiagų ir mišinių klasifikavimo, ženklavimo ir pakavimo.
20. Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai. Valstybės žinios, 2005-04-26, Nr. 53-1804.
21. Profesinės rizikos vertinimo bendrieji nuostatai. Valstybės žinios, 2012-10-31, Nr. 126-6350.
22. Gaisrinės saugos pagrindiniai reikalavimai. Valstybės žinios, 2010-12-14, Nr. 146-7510.
23. Saugos eksploatuojant elektros įrenginius taisyklės. Valstybės žinios, 2010-04-07, Nr. 39-1878.
24. Valančius, Z.; Nizevičienė, D.; Viliūnienė, O.; Solnyškinienė, J.; Stasiulaitienė, I. Magistro baigiamojo darbo metodiniai nurodymai. Cheminės technologijos fakulteto Chemijos inžinerijos studijų programos magistrantams. Kaunas: Leidykla „Technologija“, 2013.
25. HN 69:2003. Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai. Valstybės žinios, 2004-03-26, Nr. 45-1485.
26. HN 98:2014 Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai. TAR, 2014-05-06, Nr. 5119.
27. HN 23:2011. Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai. Valstybės žinios, 2011-09-10, Nr. 112-5274.
28. Darbuotojų aprūpinimo asmeninėmis apsaugos priemonėmis nuostatai. Valstybės žinios, 2007-11-29, Nr. 123-5055.
29. Bendrosios priešgaisrinės saugos taisyklės. Valstybės žinios, 2005-02-24, Nr. 26-852.
30. Stacionariųjų gaisrų gesinimo sistemų projektavimo ir įrengimo taisyklės. TAR, 2016-01-06, Nr. 365.
31. Sanitarinių apsaugos zonų ribų nustatymo ir režimo taisyklės. Valstybės žinios, 2004-09-02, Nr. 134-4878.

32. Saugos ir sveikatos apsaugos ženklų naudojimo darbovietėse nuostatai. Valstybės žinios, 1999-12-08, Nr. 104-3014
33. Atliekų tvarkymo taisyklės. Valstybės žinios, 1999-07-21, Nr. 63-2065.
34. Towler, G.; Sinnott, R. Chemical engineering design. Elsevier Inc., 2008.





Situacijos planas. Mastelis 1:5000



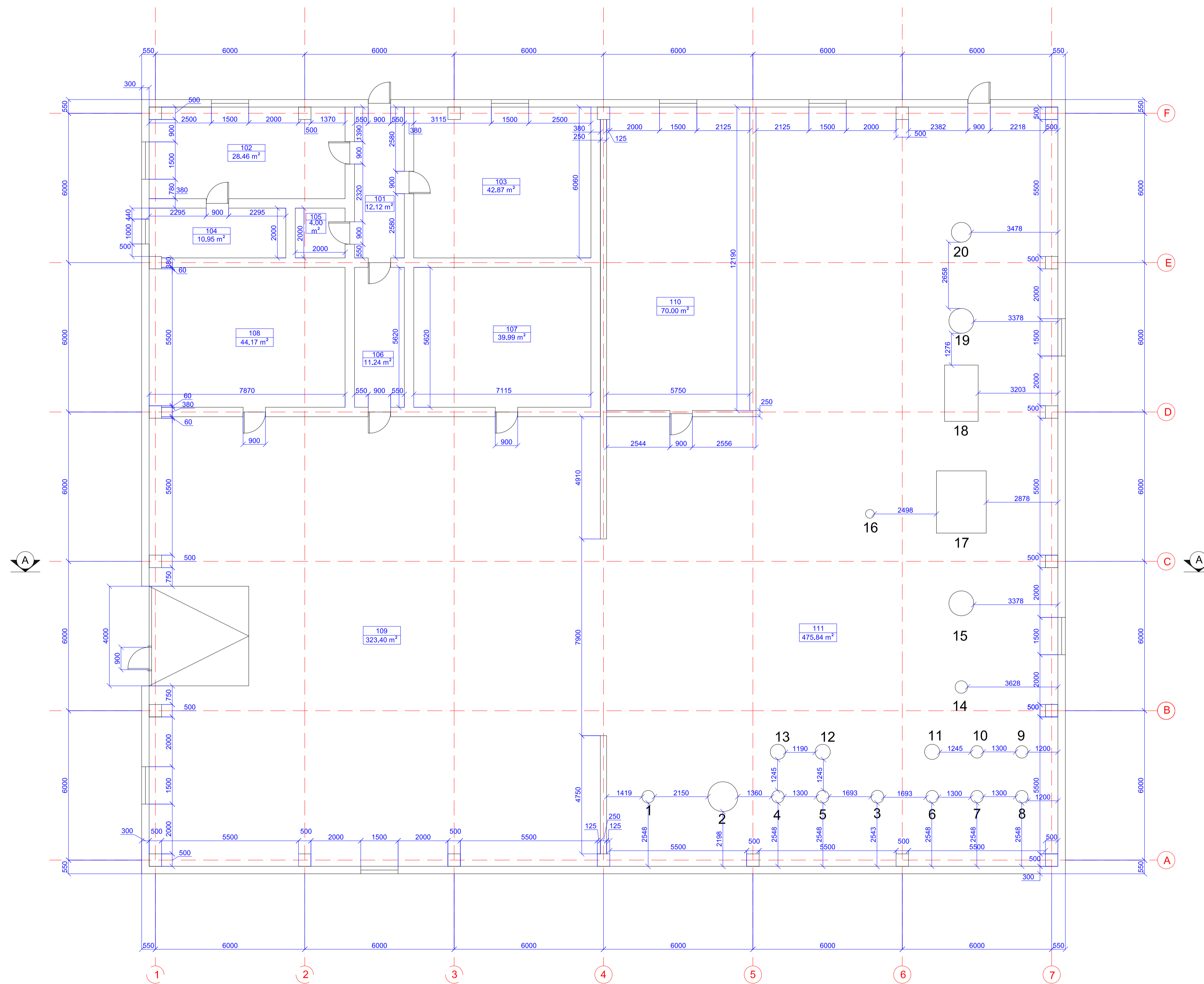
Sutartinis žymėjimas

- Medis
- Veja
- Įėjimas/išėjimas
- Asfaltas

Pastatų eksplikacija

Eil. Nr.	Pavadinimas
1	Projektuojamas pastatas
2	Vandens paruošimo ir valymo įrenginių pastatas

Grupė		KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis darbas	
TMC-5	Pareigos	V. Pavardė	Parašas	Data	Formą menančių polimerų gamybos cechą	
	Studentas	E. Mockus			Statybos teritorijos planas. Mastelis 1:250	
	Vadovas	Prof. G. Buika			Laida O	
	Konsultantė	O. Vilčionienė			Lapas Lapų	
Pr. etapas	MBD				2017-MBD-FMPGC-SP	1 4



### Patalpų eksplikacija

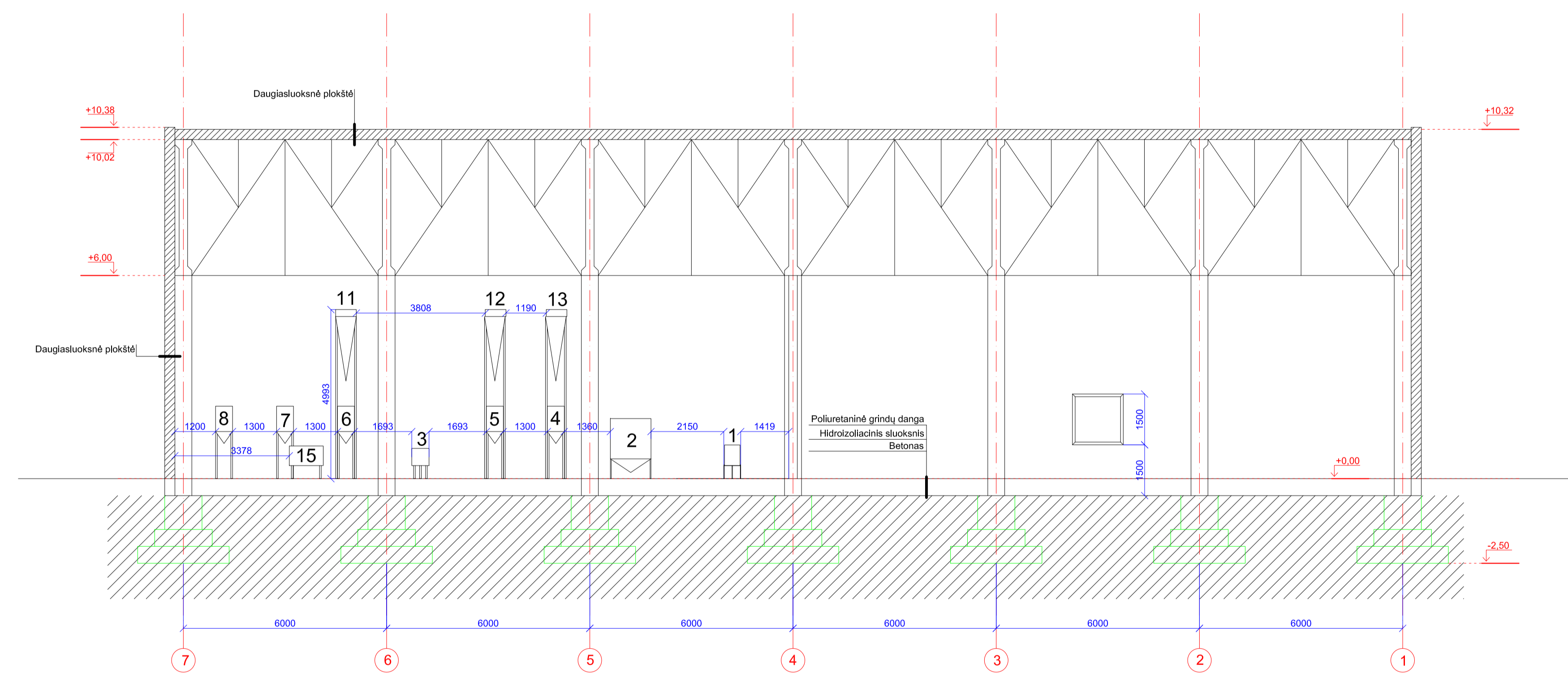
Eil. Nr.	Pavadinimas	Plotas, m <sup>2</sup>
101	Koridorius	12.12
102	Pasitarimų kambarys	28.46
103	Biuras	42.87
104	Kabinetas	10.95
105	Tualetas	4.00
106	Koridorius	11.24
107	Vandentiekis	39.99
108	Elektros skydinė	44.17
109	Sandėlys	323.40
110	Gamybos darbuotojų personalo kambarys	70.00
111	Gamybinės patalpos	475.84

### Įrenginių eksplikacija

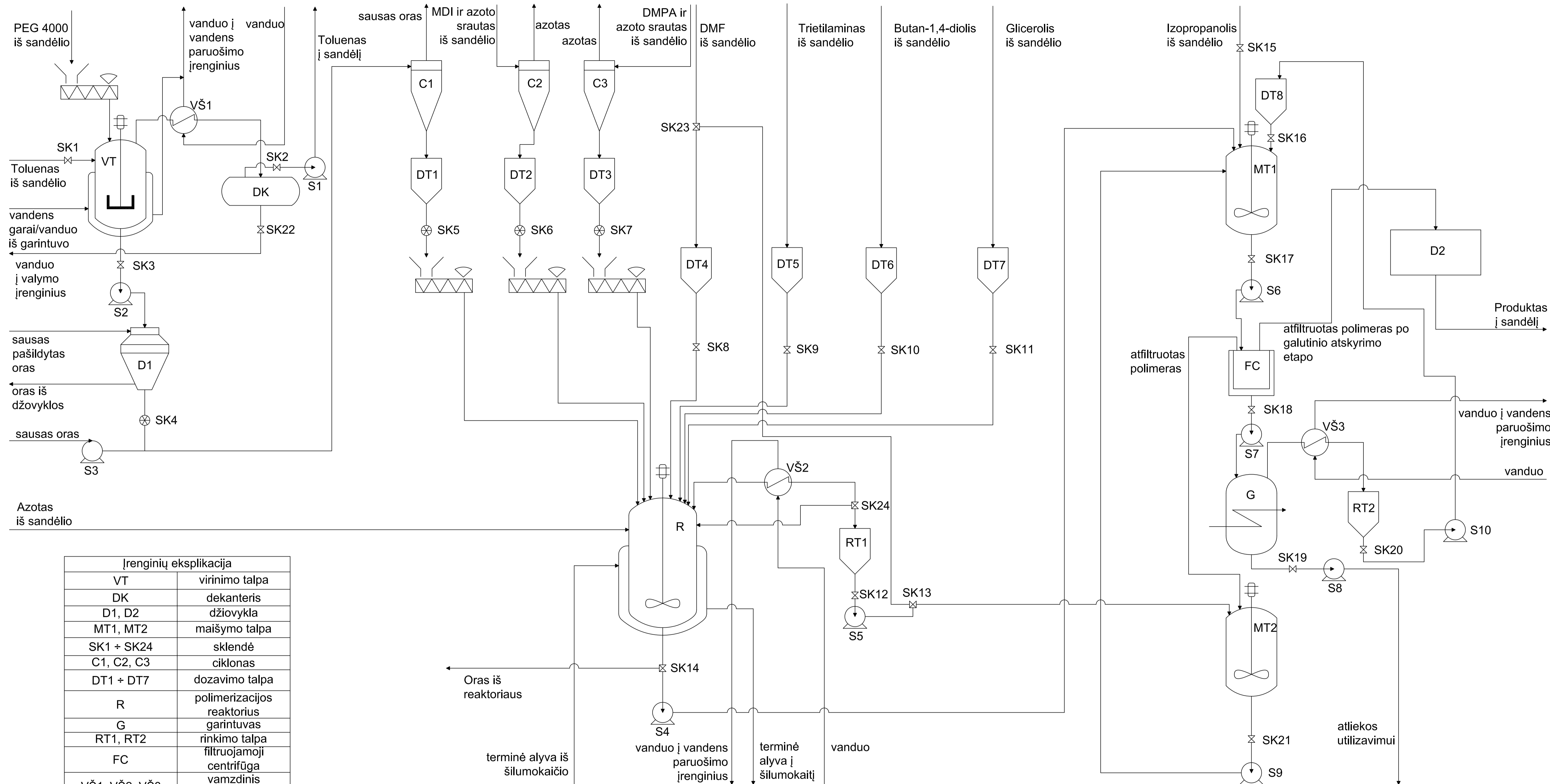
Eil. Nr.	Pavadinimas	Markė, tipas	Mato vnt.	Kiekis	Pastabos
1	Virinimo talpa VT	-	-	1	-
2	Purkštuvinė džiuvyklė D1	-	-	1	-
3	Reaktorius R	-	-	1	-
4	Dozavimo talpa DT1	-	-	1	-
5	Dozavimo talpa DT2	-	-	1	-
6	Dozavimo talpa DT3	-	-	1	-
7	Dozavimo talpa DT4	-	-	1	-
8	Dozavimo talpa DT5	-	-	1	-
9	Dozavimo talpa DT6	-	-	1	-
10	Dozavimo talpa DT7	-	-	1	-
11	Ciklonas C1	-	-	1	-
12	Ciklonas C2	-	-	1	-
13	Ciklonas C3	-	-	1	-
14	Rinkimo talpa RT1	-	-	1	-
15	Maišymo talpa MT1	-	-	1	-
16	Maišymo talpa MT2	-	-	1	-
17	filtruojamoji centrifuga FC	200F1250	-	1	-
18	Garintuvas G	#40-250G	-	1	-
19	Rinkimo talpa RT2	-	-	1	-
20	Vakuuminė džiuvyklė D2	TDC 25	-	1	-

Grupė		KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis darbas	
TMC-5	Pareigios	V. Pavardė	Parašas	Data	Formą menančių polimerų gamybos cechą	
	Studentas	E. Mockus			Projektuojamo pastato planas.	
	Vadovas	Prof. G. Buika			Mastelis 1:100	
	Konsultantė	O. Viliūnienė			Laida	O
Pr. etapas	MBD				Lapas	Lapų
					2017-MBD-FMPGC-PP	2 / 4

# A-A



Grupė		KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis darbas	
TMC-5	Pareigos	V. Pavardė	Parašas	Data	Formą menančių polimerų gamybos cechą	
	Studentas	E. Mockus			Projektuojamo pastato išilginis pjūvis	
	Vadovas	Prof. G. Buika			A-A. Mastelis 1:100	
	Konsultantė	O. Vilčiūnienė			Laida	O
Pr. etapas					Lapas	Lapų
MBD	2017-MBD-FMPGC-IP				3	4



Įrenginių eksplikacija	
VT	virinimo talpa
DK	dekanteris
D1, D2	džiovykla
MT1, MT2	maišymo talpa
SK1 + SK24	sklendė
C1, C2, C3	ciklonas
DT1 + DT7	dozavimo talpa
R	polimerizacijos reaktorius
G	garintuvas
RT1, RT2	rinkimo talpa
FC	filtruojamoji centrifūga
VŠ1, VŠ2, VŠ3	vamzdinis šilumokaitis
S1 + S10	siurblys

Grupė				KTU Cheminės technologijos fakultetas	Magistro baigiamasis darbas	
TMC-5	Pareigos	V. Pavardė	Parašas	Data	Formą menančių polimerų gamybos cechas	
	Studentas	E. Mockus				
	Vadovas	Prof. G. Buika				
					Formą menančių polimerų gamybos technologinė schema	Laida O
Pr. etapas					2017-MBD-FMPGC-TC	Lapas Lapų 4 4
MBD						