



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

# **Polietilentereftalato cheminio perdirbimo linijos įdiegimas į granulių gamybos procesą**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Kotryna Laučiškytė**

Projekto autorė

**Doc. Dr. Joana Bendoraitienė**

Vadovė

---

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

## **Polietilentereftalato cheminio perdirbimo linijos įdiegimas į granulių gamybos procesą**

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

### **Konsultantai:**

Statybinių sprendimų:

Lekt. dr. Odeta Viliūnienė

Ekonominių skaičiavimų:

Prof. dr. Irena Pekarskienė

Aplinkosauginio vertinimo:

Prof. dr. Gintaras Denafas

Darbuotojų saugos ir sveikatos:

Doc. dr. Dalia Nizevičienė

**Kotryna Laučiškytė**

Projekto autorė

**Doc. Dr. Joana Bendoraitienė**

Vadovė

**Doc. dr. Audrius Bučinskas**

Recenzentas

**Kaunas, 2021**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

Kotryna Laučiškytė

## **Polietilentereftalato cheminio perdirbimo linijos įdiegimas į granulių gamybos procesą**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Kotryna Laučiškytė

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:  
Cheminės technologijos fakulteto dekanas  
prof. K. Baltakys

Suderinta:  
Polimerų chemijos ir technologijos  
Joana Bendoraitienė

Dekano potvarkis Nr. ST18-F-02-03, 2021-04-15 d. 2021 m. balandžio mėn. 14 d.

**Baigiamojo magistro projekto užduotis**

Projekto tema Polietilentereftalato cheminio perdirbimo linijos įdiegimas į granulių gamybą.

Darbo tikslas ir uždaviniai

1. išanalizavus literatūros šaltinius parinkti tinkamiausią PET cheminio perdirbimo reakciją / rūšį;
2. atlikti eksperimentus su skirtingais katalizatoriais, parinkti tinkamiausią PET chemiam perdirbimui katalizatorių;
3. įdiegti „teoriškai“ cheminį perdirbimą į gamyklą, remiantis tiriamojo darbo rezultatais;
4. parinkti reikalingą, PET granulių gamyboje ir perdirbimo technologinėje linijoje naudojamą įrangą bei pateikti svarbiausias jos charakteristikas;
5. nubraižyti ir pateikti vieno gamyklos aukšto statybinius sprendimus bei sklypo planą;
6. atlikti aplinkosauginį vertinimą;
7. įvertinti darbuotojų saugos ir sveikatos aspektus;
8. atlikti amorfinių PET granulių gamybos ekonominius skaičiavimus.

Reikalavimai ir sąlygos

Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanų 2021 m. vasario 24 d. potvarkiu Nr. V25-02-03 patvirtintuose „Pirmosios pakopos Cheminė technologija ir inžinerija ir antrosios pakopos Chemijos inžinerija studijų programų baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodiniuose reikalavimuose“.

Vadovas / Vadovė

Doc. Dr. Joana Bendoraitienė

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau: Kotryna Laučiškytė  
(studento vardas, pavardė)

\_\_\_\_\_  
(parašas, data)

Laučiškytė, Kotryna. Polietilentereftalato cheminio perdirbimo linijos įdiegimas į granulių gamybą. Magistro baigiamasis projektas vadovė doc. dr. Joana Bendoraitienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: polietilentereftalatas, dihidroksietilitereftalatas, polimeras, monomas.

Kaunas, 2021. 93 p.

## Santrauka

Baigiamajame magistro projekte suprojektuota amorfinių polietilentereftalato granulių technologinė linija, kurios našumas 500 t / d. PET granulės užima svarbią vietą šių dienų pasaulinėje rinkoje, kadangi iš jų gaminami plastiko gaminiai, tokie kaip – įvairios pakuotės (pagrinde maisto pramonei, bet plačiai taikoma ir kitose srityse), buteliai gėrimų pramonei, plėvelės, granulės įeina į kai kurių sintetinių pluoštų sudėtį. Dėl didelių plastikų naudojamų mastų (kaip žinoma rinkoje yra begalė ir kitokių plastiko rūšių) plastikas yra perdirbimas. Yra keletas perdirbimo būdų – fizinis, terminis ir cheminis. Šiuo metu plačiausiai paplitęs yra fizinis plastiko perdirbimo būdas, kuris yra nesudėtingo mechanizmo, tačiau atsižvelgiant į tai, kad pakinta plastiko pirminės savybės, vis daugiau tyrimų atliekama bandant chemiškai perdirbti plastiką. Todėl darbe pateikti cheminio eksperimento, atlikto laboratorijoje rezultatai – PET amorfinio plastiko depolimerizacija iki monomero – BHET, aiškintasi kuris katalizatorius geriausiai tinka ir kokios sąlygos reikalingos įvykdyti eksperimentą.

Pagal gautus rezultatus parinktas katalizatorius – cinko acetatas, kuris geriausiai tiko reakcijai įvykdyti, nustatytos svarbios sąlygos tokios kaip: monomero gryninimo metu būtina produktą filtruoti karštą. Žinoma, kad BHET yra tirpus karštame vandenyje. Jam vėstant prasideda kristalizacija, todėl svarbu filtravimo metu naudoti filtrus su apvaskalais į kuriuos tiekiamas karštas vanduo. Atsižvelgiant į eksperimento sąlygas, pateikta PET amorfinio plastiko cheminio perdirbimo technologinė linija, kuri optimizavus procesą galėtų būti įdiegta į amorfinių PET granulių gamybos procesą, siekiant PET amorfinės granules gaminti su tam tikru procentu chemiškai perdirbo plastiko.

Baigiamajame projekte pateiktas amorfinių PET granulių gamybos proceso masės balansas, paskaičiuota koks kiekis reikalingas chemiškai perdirbti plastiko, parinkti įrenginiai ir pateiktos jų specifikacijos. Įvertinta PET amorfinio plastiko gamybos proceso aplinkosauginė veikla, darbuotojų saugos ir sveikatos klausimai, pateikti vieno aukšto statybiniai brėžiniai bei atlikti ekonominiai skaičiavimai.

Laučiškytė, Kotryna. Introduction of Polyethylene Terephthalate Chemical Recycling into Pellets Manufacture. Master's Final Degree Project supervisor assoc. prof. Joana Bendoraitienė; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: polyethylene terephthalate, bishydroxyethylterephthalate, polymer, monomer.

Kaunas, 2021. 93 pages.

### **Summary**

Technological line of the amorphous PET pellets manufacture process was designed in the final Master's project. The capacity of this process is 500 t / d. Amorphous PET pellets take an important place in today's world, such as in various packaging (for the food industry, but widely used in other fields as well) bottles of the beverage industry, films, pellets are included in some synthetic fibers composition. Because of the large scale of plastics usage (as is well known in the market, there are endless other types of plastics) plastics are recyclable. There are a few ways to recycle plastics: physical, thermal and chemical. Currently, the most widespread is the physical method of plastics recycling, which has a simple mechanism, but due to changes in the primary properties of plastic, more and more research is being done to try to chemically recycle plastic. Therefore, the results of the experiment in the laboratory is performed. It was performed depolymerization of PET amorphous plastic into monomer - BHET, are presented, which catalyst is suitable and what conditions are required to perform the experiment.

Based on the obtained results, the selected catalyst was zinc acetate, which was used for the reaction, and important conditions were determined, such as: during the purification of the monomer, it is necessary to filter the product which is still hot. It is known that BHET is soluble in hot water. As the solution cools crystallization begins, so it is important to use filters with jackets during filtration. Considering into the experimental conditions, the technological line of amorphous PET plastic chemical processing is theoretically provided. After optimization of this process could be implemented in the amorphous PET granule production process to produce PET amorphous pellets with a certain percentage of chemically processed plastic. The final project provide the mass balance of the amorphous PET pellets production process, calculates of theoretically required amount of chemically recycled plastic. It was selected the required equipment and provided their specifications.

It was rated the environmental performance of the PET amorphous plastic production process, were defined safety and health issues, were submitted the construction drawings of one floor of the building and calculations of economic

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>11</b>
<b>Santrumpų ir terminų sąrašas .....</b>	<b>12</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>13</b>
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>14</b>
1.1. Nepertraukiama polikondensacija – amorfinių PET granulių gamybos būdas .....	14
1.1.1. Žaliavos ir priedai.....	14
1.1.2. Žaliavų maišymas – pastos talpa .....	16
1.1.3. Esterifikacija.....	16
1.1.4. Pirmas esterifikacijos etapas.....	17
1.1.5. Antras esterifikacijos etapas .....	17
1.1.6. Polikondensacija.....	17
1.1.7. Pirmas polikondensacijos etapas .....	18
1.1.8. Antras polikondensacijos etapas.....	18
1.2. PET perdirbimas .....	20
1.2.1. Fizinis perdirbimas .....	21
1.2.2. Terminis (ketvirtinis) perdirbimas.....	22
1.2.3. Cheminis perdirbimas.....	23
<b>2. Tiriamoji (eksperimentinė dalis).....</b>	<b>26</b>
2.1. Medžiagos ir metodai .....	26
2.1.1. Naudojamos medžiagos.....	26
2.1.2. Naudojama įranga.....	28
2.1.3. Tyrimo metodika .....	29
2.2. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas .....	30
<b>3. Inžinerinė dalis.....</b>	<b>36</b>
3.1. Technologinė dalis.....	36
3.1.1. Amorfinių PET granulių gamyba .....	36
3.1.2. Medžiagų balansas.....	36
3.1.3. Įrenginiai, reikalingi amorfinių PET granulių gamybai .....	41
3.1.4. PET cheminis perdirbimas (rekomendacinė dalis).....	48
3.1.5. Įrenginiai, reikalingi PET cheminio perdirbimo procesui.....	51
3.2. Statybiniai sprendimai .....	52
3.2.1. Bendrieji duomenys.....	52
3.2.2. Sklypo planas.....	53
3.2.3. Projektuojamo pastato sprendimai .....	53
3.2.4. Statinio architektūrinė, konstrukcinė sandara.....	53
3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai .....	54
3.3.1. Projektavimo ir diegimo aplinkos analizė: ekonominių ir organizacinių problemų nustatymas .....	54
3.3.2. Ilgalaikis turtas .....	54
3.3.3. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinosios pajamos.....	56
3.3.4. Tiesioginiai gamybos kaštai .....	56

3.3.5. Reikalingos žaliavos .....	56
3.3.6. Darbo užmokestis .....	58
3.3.7. Išlaidos elektrai .....	59
3.3.8. Išlaidos energijai .....	59
3.3.9. Netiesioginiai kaštai .....	60
3.3.10. Darbo užmokestis .....	60
3.3.11. Vanduo .....	60
3.3.12. Patalpų šildymui .....	61
3.3.13. Apšvietimui .....	61
3.3.14. Amortizacija .....	61
3.3.15. Gamybos kaštai .....	63
3.3.16. Veiklos sąnaudos .....	65
3.3.17. Palūkanos ir paskola .....	66
3.3.18. Gaminių kainos .....	66
3.3.19. Pelno nuostolio ataskaita .....	67
3.3.20. Pinigų srautų ataskaita .....	67
3.3.21. Paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai .....	68
3.4. Aplinkosauginis vertinimas .....	72
3.4.1. Žaliavos ir energija .....	72
3.4.2. Tarša .....	72
3.4.3. Fizinė tarša .....	73
3.4.4. Atliekos ir jų tvarkymas .....	74
3.4.5. Vanduo ir jo tarša .....	74
3.4.6. Aplinkos oro tarša .....	75
<b>4. Darbuotojų sauga ir sveikata .....</b>	<b>76</b>
4.1. Projektuojamo objekto charakteristika .....	76
4.2. Profesinės rizikos vertinimas .....	77
7.2 lentelėje pateikiami sandėliuojamų medžiagų, reikalingų PET gamybai, gaisrinio pavojingumo rodikliai, o remiantis šios lentelės duomenimis pateikiama 7.3 lentelė. ....	80
4.3. Saugi gamyba .....	81
4.4. Darbo higiena .....	81
4.5. Gaisrinė sauga .....	85
<b>Išvados .....</b>	<b>88</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>89</b>
<b>Priedai .....</b>	<b>94</b>



## Lentelių sąrašas

1.1 lentelė. Žaliavos ir priedai amorfinio PET gamybai .....	14
2.1 lentelė. PET depolimerizacijai naudojamos medžiagos .....	26
2.2 lentelė. PET glikolizės eksperimentiniai duomenys .....	30
3.1 lentelė. Svarbiausių PET gamybos proceso parametrų suvestinė .....	36
3.2 lentelė. Gamybos režimas .....	41
3.3 lentelė. PET gamybos žaliavos ir jų kiekiai .....	41
3.4 lentelė. BHET darbo režimas .....	48
3.5 lentelė. PET gamybos žaliavos ir jų kiekiai .....	49
3.6 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai .....	52
3.7 lentelė. Statybiniai duomenys .....	53
3.8 lentelė. SWOT analizė .....	54
3.9 lentelė. Įrengimai .....	55
3.10 lentelė. Trumpalaikio turto poreikis .....	56
3.11 lentelė. Gamybos apimtis .....	56
3.12 lentelė. Reikalingos žaliavos .....	57
3.13 lentelė. Darbo užmokesčio skaičiavimas .....	59
3.14 lentelė. Elektros energijos poreikis .....	59
3.15 lentelė. Energijos poreikis .....	60
3.16 lentelė. Darbo užmokestis .....	60
3.17 lentelė. Vandens poreikis .....	61
3.18 lentelė. Patalpų šildymas .....	61
3.19 lentelė. Patalpų apšvietimas .....	61
3.20 lentelė. Ilgalaikio turto amortizacija .....	62
3.21 lentelė. Netiesioginių išlaidų suvestinė .....	62
3.22 lentelė. Gamybos kaštų suvestinė .....	64
3.23 lentelė. Veiklos sąnaudos .....	65
3.24 lentelė. Veiklos sąnaudos .....	66
3.25 lentelė. Palūkanos ir paskla .....	66
3.26 lentelė. Gaminių kainos .....	67
3.27 lentelė. Pelno nuostolio lentelė .....	67
3.28 lentelė. Pinigų srautų ataskaita .....	68
3.29 lentelė. Paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai .....	69
3.30 lentelė. Pagrindiniai rodikliai .....	69
3.31 lentelė. Parametrai reikalingi lūžio taško apskaičiavimui .....	69
3.32 lentelė. Projekto balansas .....	70
3.33 lentelė. Apibendrinami projekto finansiniai ir ekonominiai rodikliai .....	71
3.34 lentelė. Duomenys apie naudojamas žaliavas .....	72
3.35 lentelė. Duomenys apie energetinėms reikmėms naudojamus išteklius .....	72
3.36 lentelė. Konkrečios veiklos sąlygojama fizikinė .....	73
3.37 lentelė. Atliekos, atliekų tvarkymas .....	74
3.38 lentelė. Atliekos, atliekų tvarkymas 3.37 lentelės tęsinys .....	74
3.39 lentelė. Naudojamo vandens balansas .....	74
3.40 lentelė. Nuotekų ir teršalų balansas .....	75
3.41 lentelė. Aplinkos oro taša .....	75

<b>4.1 lentelė.</b> Profesinės rizikos veiksniai .....	78
<b>4.2 lentelė.</b> Gaisrinio pavojingumo rodikliai.....	80
<b>4.3 lentelė.</b> Patalpų kategorija pagal sprogimo ir gaisro pavojų, vietos zona .....	80
<b>4.4 lentelė.</b> Šiluminė aplinka .....	82
<b>4.5 lentelė.</b> Cheminių medžiagų ribiniai dydžiai .....	83
<b>4.6 lentelė.</b> Gaisro klasė ir medžiaga, kuri gesina gaisrą .....	85
<b>4.7 lentelė.</b> PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų siurblių specifikacijos.....	95
<b>4.8 lentelė.</b> PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų rotacinių vožtuvų suvestinė.....	97
<b>4.9 lentelė.</b> PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų šilumokaičių specifikacijų suvestinė .....	97
<b>4.10 lentelė.</b> PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų kondensatorių suvestinė .....	98
<b>4.11 lentelė.</b> PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų kompresorių suvestinė.....	98
<b>4.12 lentelė.</b> PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų ežektorių suvestinė .....	98
<b>4.13 lentelė.</b> PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų filtrų suvestinė .....	99
<b>4.14 lentelė.</b> PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų įrengimų suvestinė.....	100
<b>4.15. lentelė.</b> PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų įrengimų suvestinė .....	103

## Paveikslų sąrašas

<b>1.1 pav.</b> Polietilentereftalato struktūrinė formulė .....	14
<b>1.2 pav.</b> Esterifikacijos I reakcija.....	16
<b>1.3 pav.</b> Esterifikacijos II reakcija .....	17
<b>1.4 pav.</b> Polikondensacijos reakcija .....	18
<b>1.5 pav.</b> Amorfinių PET granulių gamybos linijos schema. ....	19
<b>1.6 pav.</b> Plastikų perdirbimo būdai [14].....	20
<b>1.7 pav.</b> PET skylimo reakcija ekstruzijos metu .....	22
<b>1.8 pav.</b> Cheminio perdirbimo būdai .....	23
<b>1.9 pav.</b> Šarminė hidrolizė .....	23
<b>1.10 pav.</b> PET rūgštinė hidrolizė.....	24
<b>1.11 pav.</b> PET alkoholizė .....	24
<b>1.12 pav.</b> PET glikolizė.....	25
<b>2.1 pav.</b> PET depolimerizacijos reakcija.....	29
<b>2.2 pav.</b> BHET išeiigos priklausomybė nuo kalcio aluminato katalizatoriaus kiekio, kai etilenglikolio ir PET kiekis atitinkamai yra 33,41 ml ir 15 g. ....	31
<b>2.3 pav.</b> Spektas, kai katalizatorius stibio oksidas .....	32
<b>2.4 pav.</b> Spektas, kai katalizatorius natrio karbonatas .....	33
<b>2.5 pav.</b> Spektas, kai katalizatorius cinko acetatas .....	34
<b>2.6 pav.</b> Spektas, kai katalizatorius kalcio aluminatas.....	35
<b>3.1 pav.</b> Išcentrinis siurblys.....	42
<b>3.2 pav.</b> Sraigtinis siurblys .....	43
<b>3.3 pav.</b> Krumpliaratinis siurblys .....	43
<b>3.4 pav.</b> Rotacinis vožtuvas.....	44
<b>3.5 pav.</b> Plokštelinis šilumokaitis.....	44
<b>3.6 pav.</b> Apvalkalinis šilumokaitis .....	45
<b>3.7 pav.</b> Maišymosi kondensatorius .....	45
<b>3.8 pav.</b> Rotacinis plokštelinis kompresorius.....	46
<b>3.9 pav.</b> Ežektorius.....	46
<b>3.10 pav.</b> Filtras.....	47
<b>3.11 pav.</b> Cheminio perdirbimo principinė schema .....	50
<b>3.12 pav.</b> Lūžio taškas.....	70
<b>4.1 pav.</b> Dviejų strypų žaibo apsaugos zona .....	81

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

BHET / DMT – dihidroksietiltereftalatas;

PET – polietilentereftalatas;

ppm – matavimo vienetai, 1 ppm = 1 µg / ml;

DEG – dietilenglikolis;

EG – etilenglikolis;

PTA – tereftalio rūgštis;

PIA – izoftalio rūgštis,

H<sub>2</sub>O – vanduo;

PIR – poliuretano izoliacinė plokštė.

## Įvadas

Polietilentereftalatas (PET) – vienas labiausiai paplitusių termoplastikų pasaulyje. Yra naudojamas maisto, gėrimų pramonėje, viena iš sintetinių pluoštų sudedamųjų dalių [1], ir yra vertinamas dėl šių savybių: yra lengvas, tvirtas, atitinka higienos normas, atlaiko smūgius [2]. Plastiką gaunamas polikondensacijos reakcijos metu reaguojant etilenglikoliui su tereftalio rūgštimi bei esant atitinkamam kiekiui katalizatoriaus [3].

Plastiko pramonės pradžia laikomas 20 amžiaus vidurys, kuomet du Jungtinių Valstijų chemikai iš DuPont korporacijos atlikinėjo tyrimus ieškodami polimerų, kurie galėtų būti panaudojami tekstilės pluoštams išgauti. 1970 metais buvo išrasta technologija – PET butelių išpūtimas, o 1973 metais dėl greito ir sklandaus įsitvirtinimo rinkoje butelis buvo užpatentuotas, ėmė greitai augti butelių paklausa visame pasaulyje. Pirmasis butelis pasaulyje buvo perdirbtas 1977 metais [2].

Butelius, kurie yra pagaminti iš amorfinių polietilentereftalato granulių galima perdirbti keliais būdais: 1) fiziniu būdu – kuomet plastiką perdirbamas į produktus, turinčius panašias savybes kaip ir pirminio plastiko; 2) terminiu būdu – šio proceso metu plastiką yra deginimas ir yra gaunama energija; 3) cheminiu būdu – kuomet perdirbto plastiko savybės nesiskiria nuo pirminio [4].

Vis didesnio pasaulio mokslininkų susidomėjimo sulaukia cheminis perdirbimo būdas, kadangi šiuo būdu perdirbtas plastikas – BHET monomeras turi nepakitusias savybes [5], tokias pat kaip pradinio produkto. Todėl tokiu būdu perdirbtus plastiko monomeras dozuojant atitinkamu santykiu su pirminėmis, grynomis medžiagomis [5], gaunamas nepriekaištingos kokybės plastikas.

**Projekto tikslas** – suprojektuoti ir modernizuoti amorfinių PET granulių gamybos technologinę liniją, kurios našumas 500 t / d.

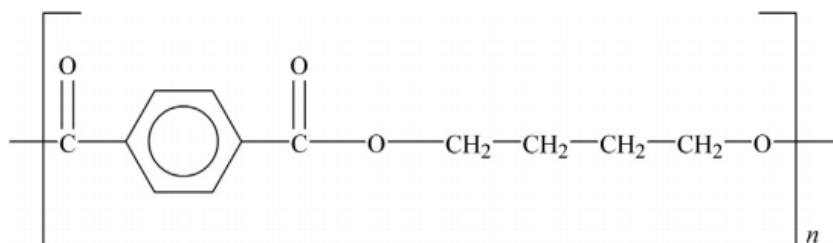
### **Projekto uždaviniai:**

1. išanalizavus literatūros šaltinius parinkti tinkamiausią PET cheminio perdirbimo būdą;
2. atlikus eksperimentinius tyrimus parinkti tinkamiausią PET cheminiam perdirbimui katalizatorių;
3. įdiegti cheminio perdirbimo technologinę liniją į plastiko gamybos procesą, remiantis tiriamojo darbo rezultatais bei nubraižyti principines technologines schemas;
4. parinkti reikalingą, PET granulių gamyboje ir perdirbimo technologinėje linijoje naudojamą įrangą bei pateikti svarbiausias jos charakteristikas;
5. nubraižyti ir pateikti vieno gamyklos aukšto statybinius sprendimus bei sklypo planą;
6. atlikti aplinkosauginį vertinimą;
7. įvertinti darbuotojų saugos ir sveikatos aspektus;
8. atlikti amorfinių PET granulių gamybos ekonominius skaičiavimus.

## 1. Literatūros apžvalga

### 1.1. Nepertraukiama polikondensacija – amorfinių PET granulių gamybos būdas

Polietilentereftalatas (PET) (1.1 pav.) – vienas iš labiausiai paplitusių linijinių termoplastikų pasaulyje [1]. Tai techninis plastikas [6] ir dažniausiai vadinamas tiesiog poliesteriu. Jis gali būti amorfinės bei pusiau kristalinės būsenos [7].



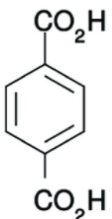
1.1 pav. Polietilentereftalato struktūrinė formulė

PET dažniausiai naudojamas maisto, gėrimų pramonėje [1], sintetinių pluoštų gamyboje, todėl yra taikomi griežti reikalavimai tiek galutiniam produktui, tiek ir pirminei žaliavai, tokie kaip: 1) cheminis stabilumas – atsparumas karščiui, šviesai, orui, cheminėms medžiagoms; 2) šiluminis stabilumas; 3) termo-mechaninis stabilumas – formos ir atsparumo aplinkos poveikiui kasdieniame naudojime [3]. Dėl plataus pritaikymo būtent šio termoplastiko atliekų kiekis susidaro didžiausias [1]. Linijiniai poliesteriai iš dikarboksirūgščių arba jų esterių ir diolių sintetinami heteropolikondensacijos būdu, o sintezės metu susidariusį mažamolekulinį produktą – vandenį – reikia šalinti [5]. Reakcija vykdoma 2 pakopomis – esterifikacija I, II ir polikondensacija I, II. Esterifikacijos metu grandinė polimerizuojasi iki 1–10 vienetų, o polikondensacijos metu polimerizacijos laipsnis išauga iki 100–110 vienetų [5].

#### 1.1.1. Žaliavos ir priedai

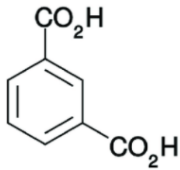
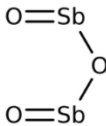
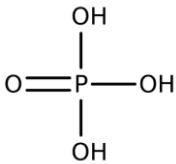
Remiantis Lietuvoje įsikūrusių PET gamyklų technologijomis, buvo sudarytas sąrašas pagrindinių žaliavų, reikalingų PET amorfinių granulių gamybai. Pateikiama 1.1 lentelė.

1.1 lentelė. Žaliavos ir priedai amorfinio PET gamybai

Pavadinimas	Santrumpa	Struktūrinė formulė	Paskirtis
Etilenglikolis	EG	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	Būtinasis esterifikacijos reakcijai vykdyti, reaguoja su TPA ir susidaro esteris [5].
Tereftalio rūgštis	TPA		Būtinasis esterifikacijos reakcijai vykdyti, reaguoja su DEG ir susidaro esteris [5].

1.1 lentelės tęsinys pateikiamas kitame puslapyje

1.1 lentelės tęsinys

Pavadinimas	Santrumpa	Struktūrinė formulė	Paskirtis
Izoftalio rūgštis	TIA		Tai tereftalio rūgšties izomeras, kurio nedidelis kiekis mišinyje pakeičia izoftalio rūgšties molekules, todėl produkto molekulė turi pakitusius kampus tarp atomų, kur įsiterpusios izoftalio r. molekulės, o tai sumažina PET stiklėjimo ir lydymosi temperatūras ir padidina kristalizacijos temperatūrą. Izoftalio r. taip pat sumažina polimero lydalo klampą, todėl efektyviau vyksta visos polikondensacijos procesas [5].
Stibio trioksidas	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Katalizatorius, kuris efektyviai didina polikondensacijos reakcijos greitį ir tai sąlygoja polimerizacijos laipsnio augimą bei neskatina temperatūrinio skilimo ir produkto spalvos pakitimo. Tiekiamas į esterifikacijos talpą II (3 kaskadą), kaip 1,3–1,5 % tirpalas pagal svorį etilenglikolyje, kad būtų pasiektą koncentracija, kurios amplitudė 250–350 ppm kaip stibio trioksido produkte [5].
Fosforo rūgštis	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>		Naudojamas tam, kad deaktyvuotų metalo jonus, kurių yra žaliavose, ant indo ar vamzdžių sienelių ir kurie gali paveikti spalvą bei šiluminį polimero stabilumą. Stabilizatoriaus tirpalas ruošiamas etilenglikolyje arba dozuoja 75 % fosforo rūgštis, kad pasiketi 2–10 ppm fosforo koncentraciją polimeriniame produkte. Dozuojamas į pastos reaktorių [5].
Mėlynas/Raudonas dažiklis		<sup>-1</sup>	Naudojamas keisti lydalo / PET formų / granuliu spalvą; dozuoja iki 2 ppm. 0,2–2,0 % etilenglikolyje ir dozuoja į esterifikacijos reaktorių II (4 kaskadą) [5].

<sup>1</sup> Konfidenciali informacija

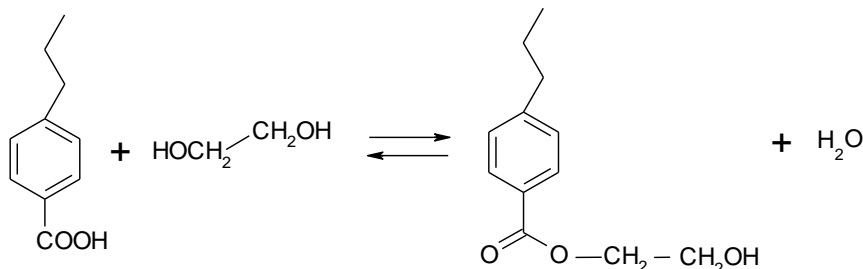
Pavadinimas	Santrumpa	Struktūrinė formulė	Paskirtis
Titano nitridas	TiN	$\text{Ti} \equiv \text{N}$	IR priedas pridedamas gaminant butelius, kadangi granulės naudojamos butelio išpūtimui. 6-10% dispersija etilenglikolyje ir dozuojamas į esterifikacijos reaktorių II (kaskadą) [5].

### 1.1.2. Žaliavų maišymas – pastos talpa

Tereftalio rūgštis [8], kartu su izoftalio rūgštimi ir etilenglikoliu [9] yra maišomi, moliniu santykiu 1,3 [5], pastos reaktoriuje iki „pastos“ konsistencijos, homogeninės masės [8]. Reaktoriuje sumontuota speciali, radialinė maišyklė – tai kelių lygių centrinis strypas, o ant to strypo yra sumontuotos statmenos plokštės [5]. Pasta turi būti nuolatos maišoma, kadangi ji yra tiksotropinė – tai reiškia, kad jei nustoja maišyti tereftalio ir izoftalio rūgšties milteliai nusėda [10]. Palaikoma atmosferinė temperatūra ir slėgis [8]. Tam, kad išvengtų PTA / PIA dulkingumo reaktoriuje yra įrengti purkštukai, per kuriuos purškiamas EG [5]. Pasta, sraigtiniais siurbliais [8] transportuojama į esterifikacijos reaktorių I [5].

### 1.1.3. Esterifikacija

Esterifikacijos reakcija vyksta reaguojant tereftalio rūgšties karboksilinei grupei su etilenglikolio hidroksigrupe [9] moliniu santykiu 1,5–1,7 [5]. Ši reakcija yra grįžtamoji, todėl norint perstumti



1.2 pav. Esterifikacijos I reakcija

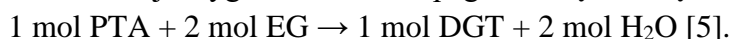
pusiausvyrą į produkto susidarymo pusę, reikia nuolat šalinti reakcijos metu išsiskiriantį vandenį. Reakcijos metu formuojasi šalutiniai produktai, tokie kaip: eteriai, dietilenglikolis. Konversijos laipsnis apskaičiuojamas pagal pateiktą lygtį 1.1. [5].

$$C = \frac{C_1}{C_0} . \quad (1.1)$$

Čia:  $C_1$  – sureagavusių karboksigrupių kiekis;

$C_0$  – bendras karboksigrupių kiekis.

Esterifikacijos lygtis išreiškiama pagal molių skaičių:



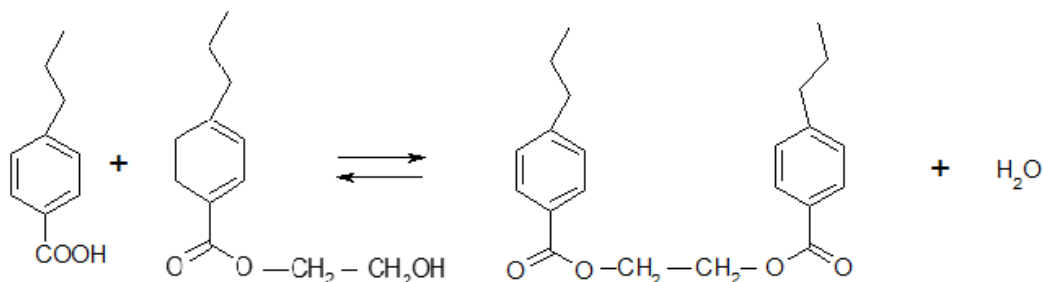


#### 1.1.4. Pirmas esterifikacijos etapas

Pirmas etapas vyksta esterifikacijos reaktoriuje I (1.5 pav., 2) esant 255–260<sup>0</sup>C temperatūrai ir 1,1–1,6 bar slėgiui, konversija 85–92 %. Pasta paduodama pro vamzdį, kuris sumontuotas išilgai reaktoriaus ašinės linijos ir taip ji tiesiogiai sąveikauja su maišyklės besisukančiomis mentėmis [5]. O maišyklė, propelerinio tipo [10], yra sumontuota reaktoriaus apačioje. Mišinį reikia pašildyti, kad būtų užtikrintas sklandus reakcijos vyksmas bei būtų išgarintas EG ir H<sub>2</sub>O todėl yra tiekiamas aukštatemperatūrnis šilumnešis. Toks EG ir H<sub>2</sub>O mišinys yra atskiriamas rektifikacijos kolonoje, kuri yra sujungta su esterifikacijos reaktoriumi I, o vandens garai yra nutraukiami, patenka į ežektorius ir panaudojami vakuumui polikondensacijos reaktoriuje sudaryti [5].

#### 1.1.5. Antras esterifikacijos etapas

Antras etapas vyksta esterifikacijos reaktoriuje II (1.5 pav., 3), kuris turi 4 konstrukcines kaskadas, esant 0,0–0,5 bar slėgiui ir 260–270<sup>0</sup>C temperatūrai. Šildoma yra aukštatemperatūrinis šilumnešiu, o susidarę garai kondensuojami purkštuviniame kondensatoriuje. Pasiekama konversija iki 98 %. Monomeras patenka į reaktorių per pirmą kaskadą, kuri sumontuota reaktoriaus viršuje. Šis reaktorius dirba prie mažesnio slėgio tam, kad būtų išlaikytas slėgio perkritis, užtikrinantis savaiminį monomero tekėjimą nepaisant statinio aukščio skirtumo bei dėl įmontuoto ant linijos lygio vožtuvo. Į 3 reaktoriaus kaskadą tiekiamas katalizatorius, o į 4 – dažai, IR-priedas [5].



1.3 pav. Esterifikacijos II reakcija

#### 1.1.6. Polikondensacija

Reakcija vyksta vakuume, kuomet prie-kondensatas – dimetiltereftalatas (esterifikacijos reaktoriaus II produktas) teka pro du nuosekliai sujungtus reaktorius, o produkte esanti laisvoji karboksigrupė reaguoja su EG. Polikondensacijos reakcijos metu polimero grandinė ilgėja ir konversijos laipsnis ir polimerizacijos laipsnis didėja [5].

Polimerizacijos laipsnis N išskaičiuojamas iš formulės 1.2.

$$N = \frac{M(P) - M(D)}{M(K) + M(D) - 2 \times M(H)} \quad (1.2)$$

Čia: M(P) – poliesteris

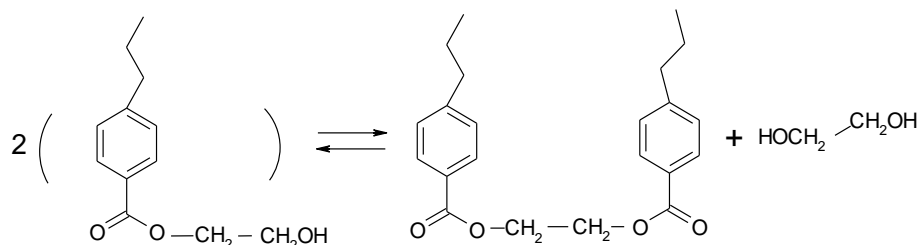
M(D) – diolis

M(K) – dikarboksilinė rūgštis

2×M(H) – vanduo

Kaip ir esterifikacijos, taip ir polikondensacijos reakcija yra pusiausvyrinė, todėl norint pastumti reakciją link produkto susidarymo, reikia nuolat šalinti diolį ir vandenį. Vandens ir diolio lengvam

pašalinimui yra sudaromos tokios sąlygos: palaikomas slėgis 0,2–0,3 bar, specialios maišyklės tam, kad atnaujinti paviršių ir sukurti plonyčius sluoksnelius, kad greičiau pasišalintų glikolis ir vanduo. Vandens išsiskyrimas šioje reakcijoje yra įrodymas, jog tarp esterifikacijos ir polikondensacijos reakcijų ribos yra difuzinės, o ne aiškiai apibrėžtos. Polimero lydalo klampa yra apie 150–180 Pa×s [5].



1.4 pav. Polikondensacijos reakcija

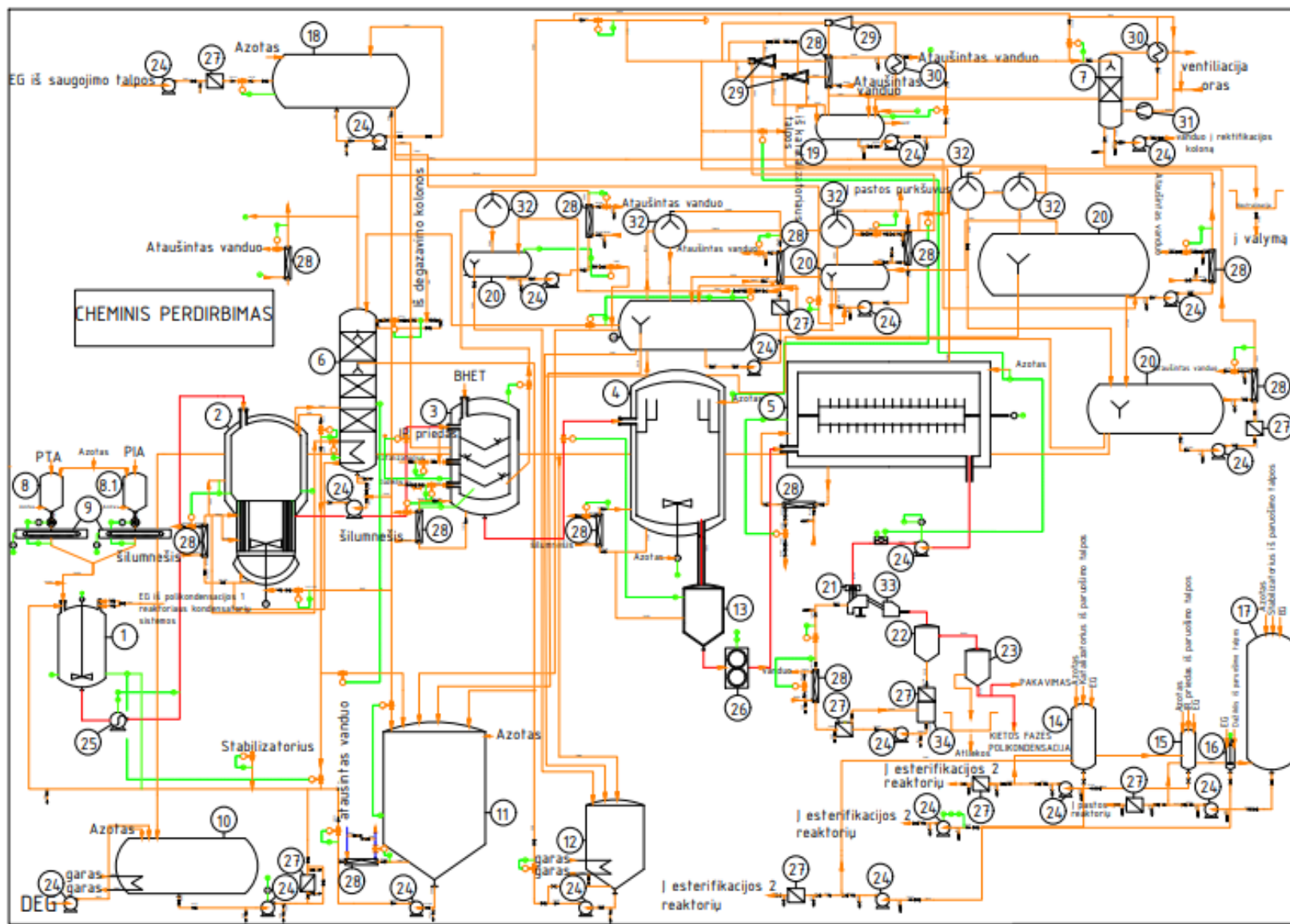
### 1.1.7. Pirmas polikondensacijos etapas

Prie-kondensatas, kurio polimerizacijos laipsnis yra 5–6 transportuojamas į polikondensacijos reaktorių I (1.5 pav., 4). Šis reaktorius sudarytas iš 3 pakopų: pirmos pakopos produktas kartu su išsiskiriančiais garais teka pro išsiliejimo vamzdį į antrą pakopą, iš antros – į trečią, o iš jos – į ketvirtą, kurioje yra mažiausiai išgarinamas EG ir polimero lipnumas didžiausias. Apatinėje dalyje yra maišyklė [5] – specialios konstrukcijos: labai panaši į inkarinę, bet „inkaras“ apverstas ir turi kelias sekcijas „šukų“ [3], kuri palaiko pastovią, vertikalią polimero apykaitą, maišymąsi. Reaktoriuje palaikomas 25–35 mbar vakuumas ir 270–280 °C temperatūra, šildoma aukštatemperatūriniu šilumnešiu, o vakuumas reguliuojamas ežektoriumi. Polimerizacijos laipsnis siekia 25–30, o susidaręs polimeras patenka į tarpinę talpą, [5] kadangi pirmo polikondensacijos reaktoriaus konstrukcija yra labai sudėtinga, tai pagal ją palaikomas reikiamas tūris [3].

### 1.1.8. Antras polikondensacijos etapas

Iš polikondensacijos I tarpinės talpos, krumpliaratiniais siurbliais pre-polimeras transportuojamas į II reaktorių (1.5 pav., 5). Šiame reaktoriuje palaikomas 0,8–2 mbar vakuumas ir 280–286 °C, o polimerizacijos laipsnis išauga iki 90–108, todėl EG iš polimero lydalo pašalinti yra kur kas sunkiau. Šis reaktorius yra turi specialios konstrukcijos maišyklę, kuri sudaryta iš porforuotų diskų, žiedų ir plokštelių, kad būtų užtikrintas ypatingai geras maišymasis. Reaktorius, kaip ir prieš tai buvę reaktoriai, šildomas aukštatemperatūriniu šilumnešiu, o vakuumas reguliuojamas ežektoriais. Polimero lydalas toliau patenka į pjaustyklės, kur yra formuojamos amorfinės granulės [5].

Pateikiama PET gamybos technologinė schema (1.5 pav.):



1.5 pav. Amorfinių PET granulių gamybos linijos schema.

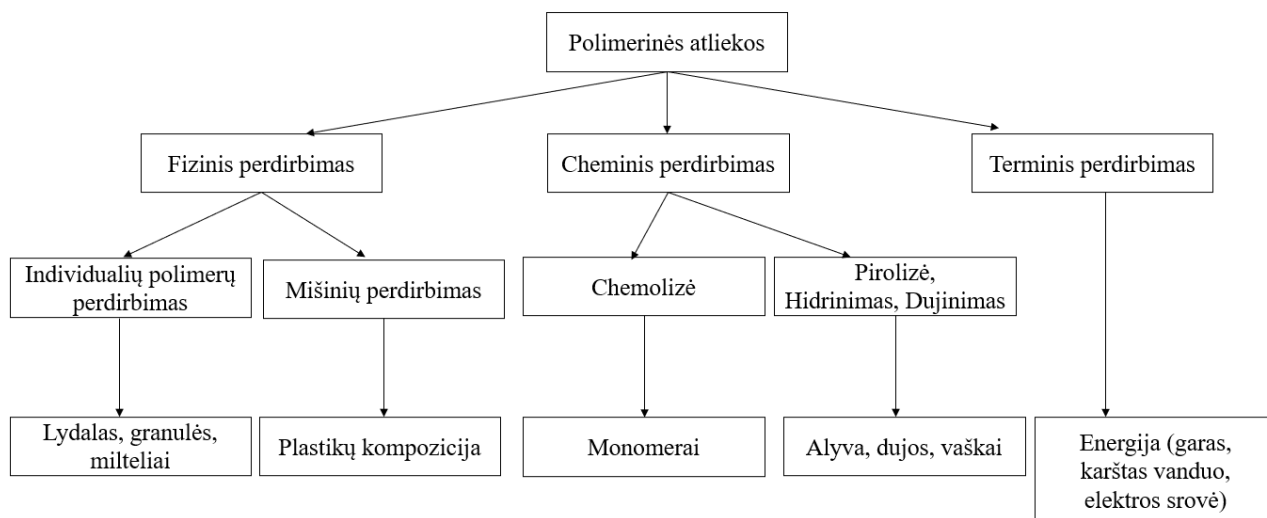
Čia: 1 – pastos reaktorius, 2 – esterifikacijos I reaktorius, 3 – esterifikacijos I reaktorius, 4 – polikondensacijos I reaktorius, 5 – polikondensacijos II reaktorius, 6 – rektifikacijos kolona, 7 – degazavimo kolona, 8 – PTA talpa, 8.1 – PIA talpa, 9 – transporteris, 10 – DEG talpa, 11,12 – panaudoto EG talpa, 13 – tarpinė PET talpa, 14 – katalizatoriaus saugojimo talpa, 15 – IR priedo saugojimo talpa, 16 – dažiklio saugojimo talpa, 17 – stabilizatoriaus saugojimo talpa, 18 – EG talpa, 19,20 – kondensato talpa, 21 – ekstruderis, 22 – PET granulių talpa, 23 – amorfinių PET granulių talpa, 24 – išcentrinis siurblys, 25 – sraigtinis siurblys, 26 – krumpliaratinis siurblys, 27 – filtras, 28 – šilumokaitis, 29 – ežektorius, 30 - šilumokaitis, 31 – kompresorius, 32 – maišymosi kondensatorius, 34 – pjaustyklė. Orandžinės linijos žymi visus vamzdynus išskyrus produkto, raudonos – produkto keliavimo krypties vamzdynai, žalia linija – jutiklių susiejamumas.

## 1.2. PET perdirbimas

Didėjant PET produktų pritaikymui įvairiuose sektoriuose, neišvengiamai didėja PET atliekų [11]. Siekiant užtikrinti tinkamas gyvenimo sąlygas ateinančioms kartoms ir atsižvelgiant į dabartinės kartos poreikius, būtina sumažinti vartojimo mastus bei sumažinti susidarančių atliekų kiekį [12]. Aplinkos ir ekonominiai aspektai, energijos taupymo klausimai skatina perdirbti PET [11]. Taipogi, esant normalioms sąlygoms, šis plastikas nėra skaidomas, ir nėra nei vieno gyvo organizmo, kuris galėtų suvartoti / suardyti pakankamai dideles šio plastiko molekules [13].

Polimerinių atliekų grįžtamojo perdirbimo būdai skirstomi į keletą grupių:

1. pirminis grįžtamasis perdirbimas – kuomet plastikai perdirbami į produktus, turinčius panašias savybes kaip ir pirminis produktas [14];
2. antrinis grįžtamasis perdirbimas – kuomet plastikai perdirbami į produktus, tačiau perdirbto produkto savybės skiriasi nuo pirminio produkto ir yra prastesnės kokybės [14];



1.6 pav. Plastikų perdirbimo būdai [14]

3. tretinis grįžtamasis perdirbimas – iš polimerinių atliekų, jų mišinių kurios gali būti rūšiuotos ir nerūšiuotos, gaminamos cheminės žaliavos ar kuras [14];

4. ketvirtinis grįžtamasis perdirbimas – polimerines atliekas naudojant kaip kurą gaunama energija, pvz.: elektros, šiluminė [14].

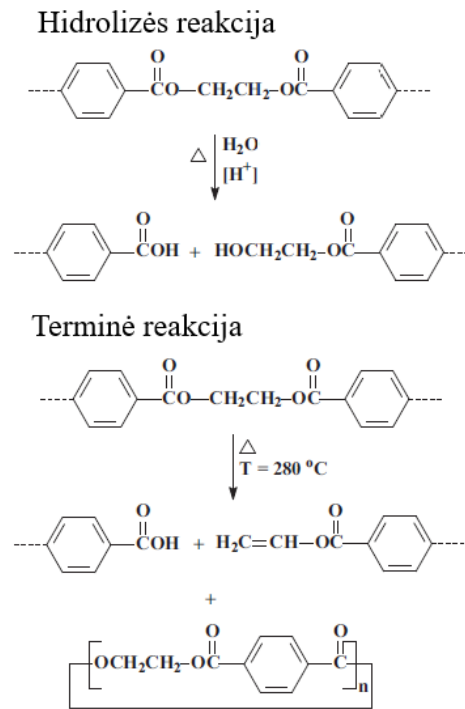
### 1.2.1. Fizinis perdirbimas

Mechaninis perdirbimas – tai toks metodas, kurio metu plastikas „suskaidomas“ iki norimos formos (lydalas, granulės, milteliai) produkto pakartotiniam panaudojimui. Mechaninio perdirbimo metu, plastiko kokybė prastėja, pakinta, nebėra tokia pati kaip pradinio PET, todėl tokio plastiko negalima naudoti tam pačiam / pradiniam gaminiui gauti. Perdirbto PET molekulinė masė mažėja, kadangi grandinė ima trūkinėti, dėka skilimo reakcijų, kurias inicijuoja vanduo ir rūgštinės priemaišos [15]. Mechaninį perdirbimą galima išskirti į 2 kategorijas: 1) plastiko atliekos perdirbamos ir iš jų pakartotinai gaminamos granulės, kurias maišant atitinkamu santykiu su grynomis, neperdirtomis granulėmis, formuojamas plastiko produktas. 2) PET atliekos mechaniškai perdirbamos, o pakartotinai pagamintos granulės negali būti naudojamos pradiniam plastiko produkto formavimui, kadangi pradinės plastiko savybės yra pakitusios ir nebeatitinka pradinių standartų [16].

Mechaninis (antrinis) perdirbimas vykdomas keliais etapais, tokiais kaip:

9. rūšiavimas;
10. teršalų pašalinimas;
11. atskyrimas ir teršalų pašalinimas nuo polimero;
12. smulkinimas;
13. malimas;
14. plovimas;
15. džiovinimas;
16. ekstruzija [16].

Pirmiausiai skirtingi plastikai yra išskirstomi, tuomet dulkės, popierius ar kiti teršalai yra atskiriami nuo polimero, dažniausiai tai vykdoma ciklonuose [17]. Pilipę teršalai pašalinami kriogeninės granuliacijos ar PET butelių malimo metu, tuomet siojami. Priešingai nei PET dalelės, teršalai, žemoje temperatūroje, suirsta, virsta smulkiais milteliais, kuriuos lengva atskirti siojimo metu. Po siojamos PET atliekos malamos, o tuomet plaunamos: galima plauti 80 °C temperatūros NaOH tirpalu, o po to susmulkintas atliekas praplauti šaltu vandeniu arba plauti galima su tetrachloretilenu. Svarbu susmulkintas ir praplautas atliekas išdžiovinti, kad sumažinti hidrolizinio skilimo poveikį. Dažnai džiovinamas 170 °C temperatūroje, apie 6 valandas ir tada išdžiovintos atliekos tiekiamas į ekstruderį [18]. Ekstruzijos metu PET lydymas vyksta 280 °C temperatūroje. Šio proceso metu gali sumažėti PET molekulinė masė ir vidinė klampa, gali susidaryti cikliniai oligomerų junginiai dėl terminės skaidymo reakcijos [18].



**1.7 pav.** PET skylimo reakcija ekstruzijos metu

Skilimo reakcijos metu susidaro junginiai, turintys galines karboksilo grupes. Šių grupių padidėjimas lemia PET šiluminio stabilumo sumažėjimą. Perdirbant PET, polimeras taip pat gali pagelsti, dėl tarpmolekulinių kryžminių ryšių susidarymo ir oksidacijos reakcijų [19].

Privalumai, lyginant su cheminiu perdirbimu: paprastas metodas, maža kaina, naudojama gerai žinoma ir įvaldyta įranga, nekenksmingas aplinkai procesas [19].

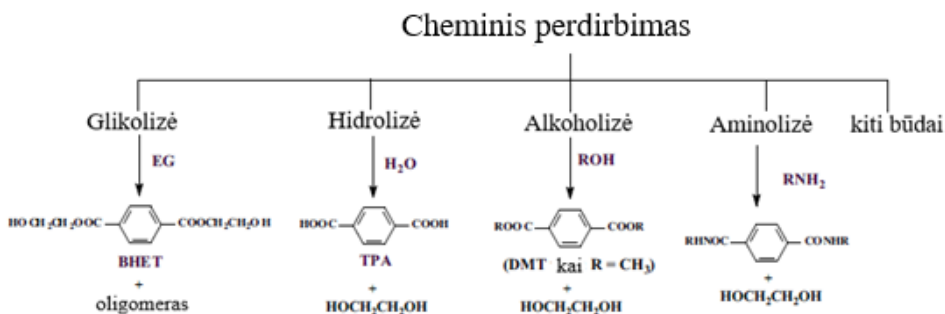
Trūkumai: paprastos pradinės savybės, dėl fotooksidacijos ir mechaninių įtempių, dėl plastike esančių priemaišų perdirbtos atliekos lieka pilkos spalvos [19].

### 1.2.2. Terminis (ketvirtinis) perdirbimas

Terminis – energetinis perdirbimas. Šis perdirbimo būdas pasirenkamas tada, kai surinktus, išrūšiuotus ir atskirtus plastikus sunku perdirbti kitais būdais arba tai yra ekonomiškai nepagrįsta, situacijose, kai švariam polimero išskyrimui sunaudojama energija gerokai viršija atliekų šiluminę vertę. Ketvirtinis perdirbimas – tai kuomet iš plastiko atliekų gaunamas energijos kiekis jas deginant. Procesas vykdomas specialiose, plastiko atliekoms skirtose krosnyse, kur degimo produktai – anglies dioksidas ir vanduo. Lydalo likučiuose, kurie lieka krosnyje po deginimo, nebelieka jokių pavojingų medžiagų, todėl juos galima mesti į sąvartynus. Procese pagaminta šiluma naudojama elektros gamybai arba šildyti gyvenamuosius namus ar pramoninius pastatus. Nors polimerai yra aukštos išėigos energijos šaltiniai, bet ekonominiu požiūriu jie yra nelabai priimtini dėl neigiamo poveikio sveikatai. Riziką sukelia susidariusios ir ore pasklidusios toksinės medžiagos, tokios kaip dioksinai. Tačiau ši problema jau išspręsta, ir jau egzistuoja įrenginiai, kurie sugaudo nuodingus degimo produktus. Skandinavijos šalys yra lyderės šio perdirbimo srityje [20].

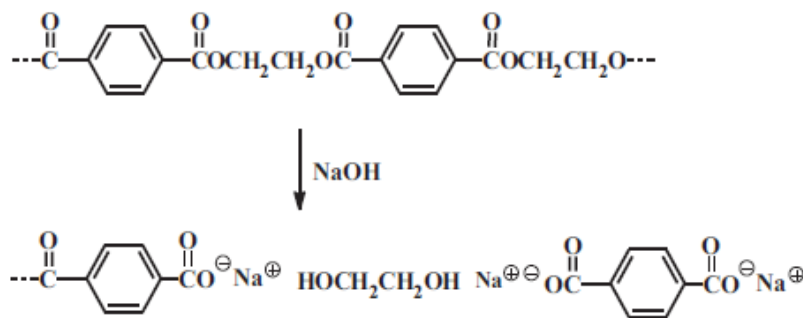
### 1.2.3. Cheminis perdirbimas

Šis perdirbimo būdas apima PET atliekų depolimerizaciją, kuomet polimerų grandinės vykdamt cheminę reakciją yra „suskaudomos“ iki monomerų [20]. Cheminis perdirbimo būdas skirstomas į keletą metodų: hidrolizę, metanolizę, alkoholizę, aminolizę, amonolizę, glikolizę ir kitus [21].

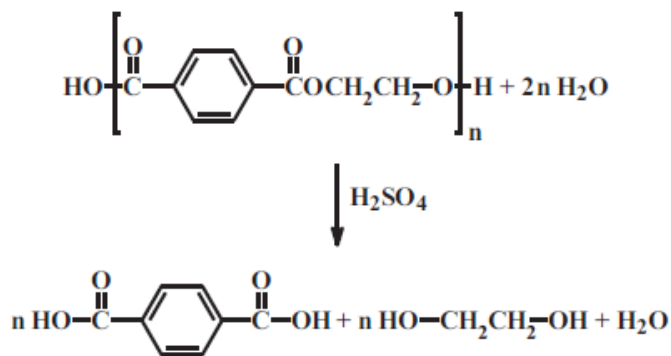


1.8 pav. Cheminio perdirbimo būdai

Hidrolizė – cheminio perdirbimo būdas, kuomet PET atliekos reaguoja su vandeniu rūgštinėje, šarminėje ar neutralioje aplinkoje ir gaunami monomerai – tereftalio rūgštis ir EG [22]. Šarminė hidrolizė dažniausiai vykdoma su 4–20 % vandeniniu NaOH ar KOH tirpalu [23,24]. Rūgštinė – dažniausiai su koncentruota sieros rūgštimi, dar gali ir su fosforo ar azoto rūgštimi [25], o neutrali hidrolizė vykdoma su karštu vandeniu ar garu, esant jų pertekliui [23,24]. Hidrolizės privalumas tas, kad toleruojama didelė PET atliekų tarša, tokia kaip: metalizuota PET plėvelė ar fotografinė plėvelė, kurias lengvai galima perdirbti, o pats procesas palyginti yra paprastas ir pigesnis nei metanolizė [26].

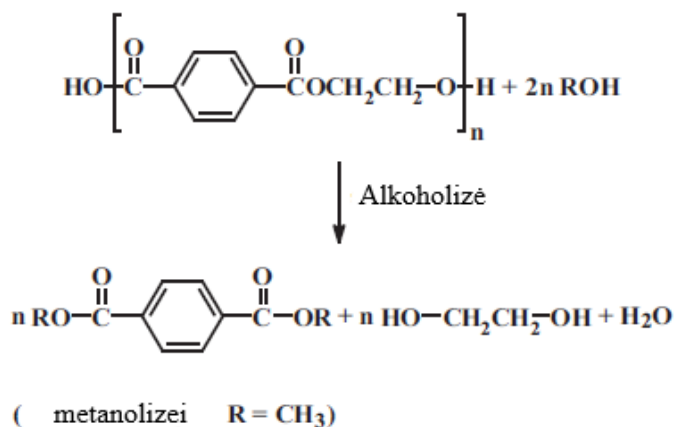


1.9 pav. Šarminė hidrolizė



1.10 pav. PET rūgštinė hidrolizė

Alkoholizė – tai yra peresterinimo reakcija naudojant alkoholius. Viena iš populiariusių alkoholizės reakcijų yra metanolizė, kuomet PET depolimerizacija vykdoma su metanolium aukštame slėgyje ir aukštoje temperatūroje [27]. Reakcijos privalumas tas, kad gautą monomerą DMT galima naudoti gamyboje, įdiegti į PET gamybos liniją, kadangi monomeras yra reikiamo grynumo. Metanolis ir EG gali būti išgryninami ir pakartotinai panaudojami. Taip pat PET gamybos metu susidariusias atliekas galima metanolizės metu perdirbti ir sumažinti atliekų kiekį PET gamybos būdu ir gauti produktą, kurį galima tiesiogiai grąžinti į PET gamybos procesą. Alkoholizės trūkumas – gana didelė kaina, susijusi su susidarančių reakcijos produktų (glikolių, alkoholių ir ftalatų darinių) atskyrimu ir valymu [28].

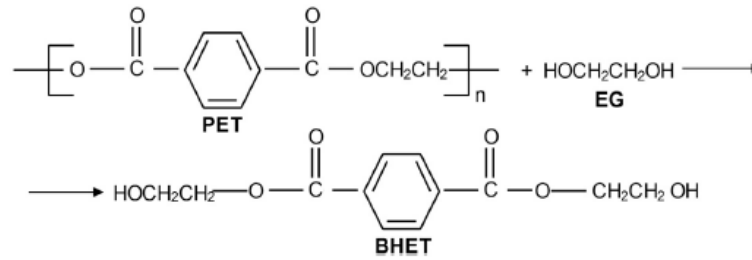


1.11 pav. PET alkoholizė

Aminolizė – tai reakcija tarp PET ir aminių, kuomet gaunami produktai – monomerai EG ir dihidroksietiltereftalatamidas. Šis cheminio perdirbimo būdas lyginant su kitais yra mažiausiai iširtas [29]. Reakcijai naudojami tokie aminai kaip: alilaminas [30], morfolinas ir hidrazinas [31] ar poliamidai [32].

Glikolizė – vienas iš plačiausiai išnagrinėtų ir ištyrinėtų cheminio perdirbimo būdų, kuris jau yra plačiai taikomas pramonėje [29]. Reakcijos metu gaunamas monomeras – dihidroksietiltereftalatas ir mažos molekulinės masės oligomerų mišinys.





**1.12 pav.** PET glikolizė

PET glikolizėje dažniausiai naudojamas glikolis yra EG, kuris reaguoja su PET [33]. Labai svarbų vaidmenį šioje reakcijoje atlieka tinkamai parinktas katalizatorius, norint gautą didelę produkto išeią [34]. Vienas iš dažniausiai naudojamų katalizatorių yra cinko acetatas [35], taip pat naudojamos ir kitokios druskos – metalų acetatai (Co, Pb ir Mn) [36], chloridai (Zn, Li, Mg, Fe) [37], titano fosfatas [38], hidroksidas (Li, K) [39,40], sulfatai (Na, K) [39], natrio karbonatas [41]. Glikolizės produktai naudojami statybos sektoriuje, polimerams sintetinti su didesne ekonomine verte,[42] paprasta monomerą tiesiogiai įjungti į PET gamybos liniją [29].

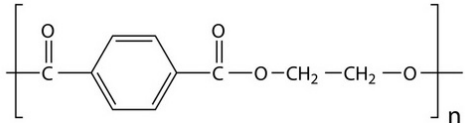
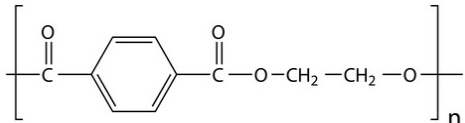
## 2. Tiriamoji (eksperimentinė dalis)

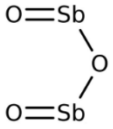
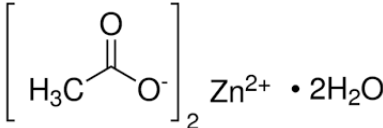
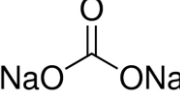
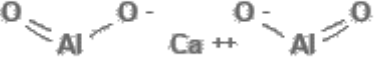
### 2.1. Medžiagos ir metodai

#### 2.1.1. Naudojamos medžiagos

Laboratorijoje vykdant BHET sintezę iš PET naudojamos šios medžiagos:

2.1 lentelė. PET depolimerizacijai naudojamos medžiagos

Pavadinimas	Santrumpa	Struktūrinė formulė	Gamintojas	Pagrindiniai parametrai
Amorfinės polietilentereftalato granulės	PET		Orion Global PET	Ribinis klamos skaičius (IV) 0,58-0,66 ± 0,008; Lydomosi temperatūra 246–259 °C; Vandens kiekis granulėse < 0,3 % (mas.); Acetaldehidų kiekis < 40 ppm; Karboksilinių grupių (COOH) kiekis < 35 mval / kg; DEG kiekis 1,1-1,5 ± 0,1 % (mas.).
PET atliekos	PET		-	Ribinis klamos skaičius 0,8–0,85; Lydomosi temperatūra 246–259 °C; DEG kiekis 1,1–1,5 ± 0,1 % (mas.).
Etilenglikolis	EG	HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	Fluka Chemika	Vandens kiekis < 0,1 %; Grynumas ≥ 99,5 %; Tankis esant 20 °C 1,113–1,115; Karboksilinių grupių (COOH) kiekis < 0,001 %; Lydomosi temperatūra: -14 – 10 °C; Virimo temperatūra: 196,5 – 198,5 °C.

Stibio oksidas	$\text{Sb}_2\text{O}_3$		SIGMA-ALDRICH	Garų slėgis 3,3 hPa (660 °C); Dalelių dydis 1,0 – 3,0 μm; Tirpumas 2,70 mg / l; Tankis 5,4 cm <sup>3</sup> / g.
Cinko acetato dihidratas	$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		PEAXUM	Grynumas 99 %; Lydimosi temperatūra 237 °C; Tankis 1,84 g / cm <sup>3</sup> ; Baltos spalvos kristalai; Metalų priemaišų iki 1 %.
Natrio karbonatas	$\text{Na}_2\text{CO}_3$		PEAXUM	pH 11,2 (25 °C, 4 g / L); Tirpumas vandenyje: 1 M; Skaidrus, bespalvis; Priemaišos : fosforas ≤ 0,02 %, netirpi; medžiaga ≤ 0,1 %; Grynumas 99,0 %.
Kalcio aluminatas – majenitas	$\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$		Silikatų technologijos katedra, Kauno technologijos universitetas	Balti milteliai; Lydimosi temperatūra 1535 °C; Tirpus rūgštyse; Reaguoja su vandeniu; Tankis 2980 kg / m <sup>3</sup> .
Natrio šarmas	$\text{NaOH}$	$\text{Na} - \text{OH}$	Eurochemicals	Tankis: 2,13 g / cm <sup>3</sup> ; Bekvapis, bespalvis; pH = 14; Virimo temperatūra 1388 °C (1013,25 hPa); Tankis 2130 kg / m <sup>3</sup> .

Natrio sulfatas	$\text{Na}_2\text{SO}_4$	$\begin{array}{c} \text{Na}^+ \quad \text{O}^- \quad \text{Na}^+ \\   \\ \text{O}=\text{S}=\text{O} \\   \\ \text{O}^- \end{array}$	PEAXUM	Grynumas 99,5 %; Tankis 2,66 g / cm <sup>3</sup> ; Lydymosi temperatūra 884 °C; Virimo temperatūra: 1429 °C.
-----------------	--------------------------	---	--------	---

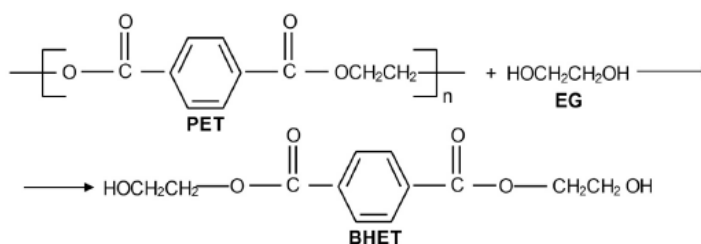
### 2.1.2. Naudojama įranga

Atliekant eksperimentą laboratorijoje buvo naudojama tokia aparatūra:

- magnetinė maišyklė integruota su kaitlente *IKA C-MAG HS7*;
- analitinės svarstyklės *AXIS AD600*;
- FT-IR spektrofotometras *Frontier PerkinElmer Linea libera*;
- šaldytuvas *BEKO*.

### 2.1.3. Tyrimo metodika

<sup>2</sup>Depolimerizacija vykdoma pagal šią reakcijos lygtį:



2.1 pav. PET depolimerizacijos reakcija

Glikolizė vykdoma 500 cm<sup>3</sup> trigurklėje apvaliadugnėje kolboje [43], kuri kaitinama termo alyvos „voneleje“. Reaktoriaus turinys nuolat maišomas naudojant magnetinę maišyklę, matuojama temperatūra termopora bei prijungtas deflegmatorius, kuriame kondensuojasi etilenglikolis [43].

Pirmiausia į kolbą supilamas etilenglikolis ir katalizatorius ir pakaitinama iki 196 °C temperatūros tam, kad pašalinti mišinyje esantį vandenį ir tik tada suberiamos PET granulės. Buvo atlikta keletas eksperimentų papildomai beriant 1 gramą Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, tam kad „surištų“ papildomai vandenį. Etilenglikolio kiekis 33,41 ml; PET granulių kiekis 15 g; katalizatoriaus – priklausomai nuo molinės masės, kiekvienu atveju išskaičiuojama; molinis santykis 25–400:1 katalizatoriaus prie PET, o etilenglikolio kiekis kiekvieno eksperimento metu toks pat, išlaikomas molinis santykis 7,6:1 (EG:PET). Po 2,5 h kolba nuimama nuo kaitlentės ir vėsinama ledo „vonioje“, vėsinimo metu reakcijos mišinys vėsdamas iš skystos būsenos pereina į kietą. Tada kolba vėl „įstatoma“ į termo alyvos vonele ir įnirtingai maišant supilamas verdantis distiliuotas vanduo, kadangi yra žinoma jog BHET yra tirpus karštame vandenyje [43]. Mišinys kaitinamas iki 100 °C temperatūros.

Naudojamas šildomas Biuchnerio piltuvas, suspensija filtruojama po vakuumu kol dar yra karšta, kadangi pradėjus jai vesti prasideda kristalizacija ir filtracija sustoja, dėl užsikimšusių filtro ir Biuchenrio piltuvo porų. Ant filtro lieka koncentratas – nesureagavęs / nesuskaidytas sintezės metu PET, o filtratas – produktas / suskaidytas PET – BHET. Filtratas supilamas į stiklinėlę ir yra kaitinamas bei maišomas iki tol, kol taps skaidrus. Tuomet vėsinaamas ir paliekamas 5 °C temperatūros šaldytuve 16 h, tam, kad imtų kristalizuotis. Susikristalizavęs mišinys filtruojamas po vakuumu ir džiovinamas 60 °C temperatūroje. Skaičiuojama gauto produkto išeiga (2.1 formulė) ir daroma FTIR analizė [43].

$$Y(\%) = \frac{W_{\text{BHET}}}{\frac{MW_{\text{BHET}}}{W_{\text{PET}}}} \times 100 \quad (2.1)$$

$W_{\text{BHET}}$  – BHET kiekis po reakcijos gramais, g;

$MW_{\text{BHET}}$  – BHET molinė masė 254 g / mol;

$W_{\text{PET}}$  – PET kiekis prieš reakciją gramais, g;

$MW_{\text{PET}}$  – PET molinė masė 192 g / mol.

<sup>2</sup> Šalutinis produktas – vanduo.

Pavyzdžiui, atliekant eksperimentą, kai katalizatorius stibio oksidas: sintezei įvykdyti naudojama 15 g PET granulių; 33,41 ml EG; 0,2274 g katalizatoriaus, gautas produktas sveria 9,33 g, tai:

$$Y(\%) = \frac{\frac{9,33 \text{ g}}{254 \text{ g/mol}}}{\frac{15 \text{ g}}{192 \text{ g/mol}}} \times 100 = 47,0 \%$$

Likusių eksperimentų išeigos apskaičiuojamos analogiškai.

## 2.2. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Pagal aukščiau pateiktą metodiką buvo atliekama glikolizės reakcija – PET depolimerizacija iki monomero BHET su keletą skirtingų katalizatorių esant skirtingiems reagentų moliniams santykiams, gauti rezultatai pateikiami lentelėje. Matome, kad nenaudojant katalizatoriaus pasirinktomis sąlygomis monomeras nesusidaro, jo išeiga 0 % (2.2 lent., Nr. 11). Didžiausia išeiga gauta, kai amorfinio PET perdirbimui naudotas cinko acetatas – susidarė 75 % BHET (2.2 lent., Nr. 5). Geri rezultatai gauti ir su natrio karbonatu (2.2 lent., Nr. 4). Bandyta polimero glikolizės procesui panaudoti katalizatorių, kuris naudojamas PET sintezės metu, gavus geras monomero išeigas šį katalizatorių būtų labai patogu naudoti PET granulių gamybos linijoje įdiegiant ir PET cheminį perdirbimą. Po pirmojo glikolizės etapo gauta 47 % BHET, po polimero likučio antrinio perdirbimo analogiškais sąlygomis bendra BHET išeiga gauta 64,0 %. Depolimerizacijos metu išsiskiria vanduo, kuris gali turėti neigiamos įtakos produkto išeigai. Tuo tikslu buvo panaudota natrio sulfato priedas, kuris sujungia išsiskyrusį vandenį, tačiau žymaus išeigos padidėjimo nepastebėta, netgi gauta keliais procentais mažesnis BHET kiekis. Glikolizės katalizės reakcijai panaudotas naujas junginys Kalcio aluminatas (2.2 lent., Nr. 8–10). Pastebėta, kad mažinant katalizatoriaus kiekį kai PET: katalizatoriaus molinis santykis naudotas nuo 25:1 iki 400:1 BHET išeigos didėja, gauta net didesnė išeiga negu vykdant polimero dvistadinę depolimerizaciją su Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizatoriumi, t.y. 64,3 % (2.2 lent., Nr.10).

2.2 lentelė. PET glikolizės eksperimentiniai duomenys

Eil. Nr.	Katalizatorius	PET ir katalizatoriaus molinis santykis	Katalizatoriaus kiekis, g	Išeiga,%	Pastabos
1.	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100:1	0,2274	47,0	Naudotas natrio sulfatas vandens sugėrimui
2.	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100:1	0,034	43,0	1 eksperimento metu nesuskaitytas PET naudojamas vykdant reakciją; naudotas natrio sulfatas vandens sugėrimui
3.	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	100:1	- <sup>3</sup>	64,0	1 eksperimento ir 2 eksperimento išeigų sumavimas t . y . su reciklu
4.	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	100:1	0,085	71,2	Naudotas natrio sulfatas (1g) vandens sugėrimui
5.	Zn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	98:1	0,175	75,5	-

2.2 lentelės tęsinys kitame puslapyje

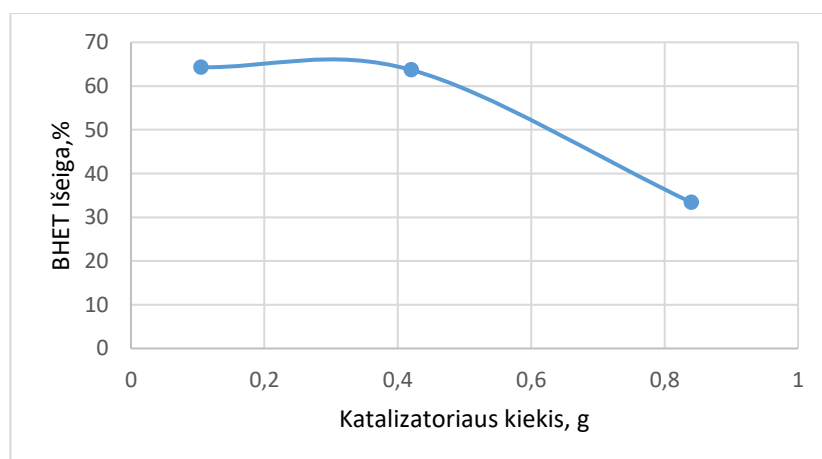
Pastaba: etilenglikolio ir PET kiekis visų eksperimentų metu išlieka toks pat, atitinkamai lygus 33,41 ml ir 15 g.

<sup>3</sup> Minusai, kadangi tai dviejų eksperimentų bendra išeiga ir katalizatorių kiekiai nėra sumuojami.

Eil. Nr.	Katalizatorius	PET ir katalizatoriaus molinis santykis	Katalizatoriaus kiekis, g	Išeiga, %	Pastabos
6.	Zn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	98:1	0,175	69,3	Naudotas natrio sulfatas vandens sugėrimui (1g)
7.	Zn(CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub>	98:1	0,175	68,0	Reakcijos metu „suskaitytas“ rudos spalvos butelis
8.	Ca <sub>12</sub> Al <sub>14</sub> O <sub>33</sub>	25:1	0,840	33,4	Kalcio aluminatas gautas sintetinį katoitą deginant 1val. 900 °C temperatūroje, temperatūros kėlimo greitis 6 °C/min
9.	Ca <sub>12</sub> Al <sub>14</sub> O <sub>33</sub>	50:1	0,420	63,7	Kalcio aluminatas gautas sintetinį katoitą deginant 1val. 900 °C temperatūroje, temperatūros kėlimo greitis 6 °C/min
10.	Ca <sub>12</sub> Al <sub>14</sub> O <sub>33</sub>	400:1	0,105	64,3	Kalcio aluminatas gautas sintetinį katoitą deginant 1val. 900 °C temperatūroje, temperatūros kėlimo greitis 6 °C/min
11.	Be katalizatoriaus	-	-	0,0	Atliekant eksperimentą tokiomis pat sąlygomis. Duomenys paimti iš mokslinės literatūros.

Pastaba: etilenglikolio ir PET kiekis visų eksperimentų metu išlieka toks pat, atitinkamai lygus 33,41 ml ir 15 g.

Atlikus eksperimentus, kai katalizatorius kalcio aluminatas, matoma tendencija, kad didinant katalizatoriaus kiekį, reakcijos išeiga mažėja:

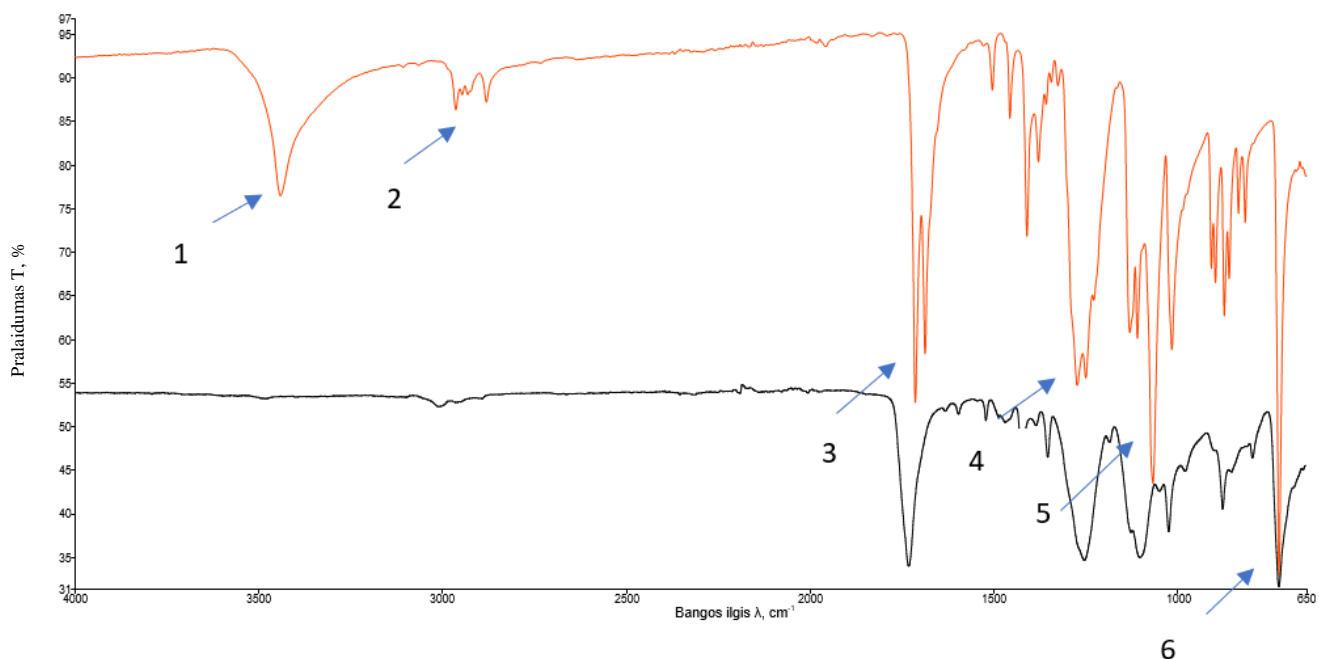


**2.2 pav.** BHET išeigos priklausomybė nuo kalcio aluminato katalizatoriaus kiekio, kai etilenglikolio ir PET kiekis atitinkamai yra 33,41 ml ir 15 g.

Atlikta amorfinio polietilenteraftalato ir gautų produktų FTIR spektroskopinė analizė (2.3 – 2.6 pav.) identifikuojant gautas medžiagas ir žaliavą bei įrodant vykstančias PET glikolizės reakcijas pagal pateiktą schemą (2.1 pav.).

Kiekvienu atveju užrašyti spektrai:

1) Kai katalizatorius stibio oksidas ir išeiga **47,0 %**. (lyginama su amorfiniu PET) (2.3 pav.)



**2.3 pav.** Spektros, kai katalizatorius stibio oksidas

- 1 – smailė  $3440,55 \text{ cm}^{-1}$  parodo, kad produkte – BHET egzistuoja -OH grupės;
- 2 – pikai ties  $2963,74 \text{ cm}^{-1}$ ;  $2963,41 \text{ cm}^{-1}$  priskiriami -CH<sub>2</sub>- jungtims;
- 3 – pikai  $1713,84 \text{ cm}^{-1}$  ir  $1714,07 \text{ cm}^{-1}$  priskiriami O=C-O- grupei;
- 4 – kai stebimi  $1410,20 \text{ cm}^{-1}$  ir bangos ilgiai, įrodoma, kad molekulėje yra išlikęs benzeno žiedas;
- 5 –  $1067,32 \text{ cm}^{-1}$  įrodo, kad yra C-O grupė;
- 6 – deformacinius aromatinių junginių svyravimų virpesius įrodo pikas esantis ties  $725,01 \text{ cm}^{-1}$ .

*Nesuskaidyto amorfinio PET spektras matomas kitoks:*

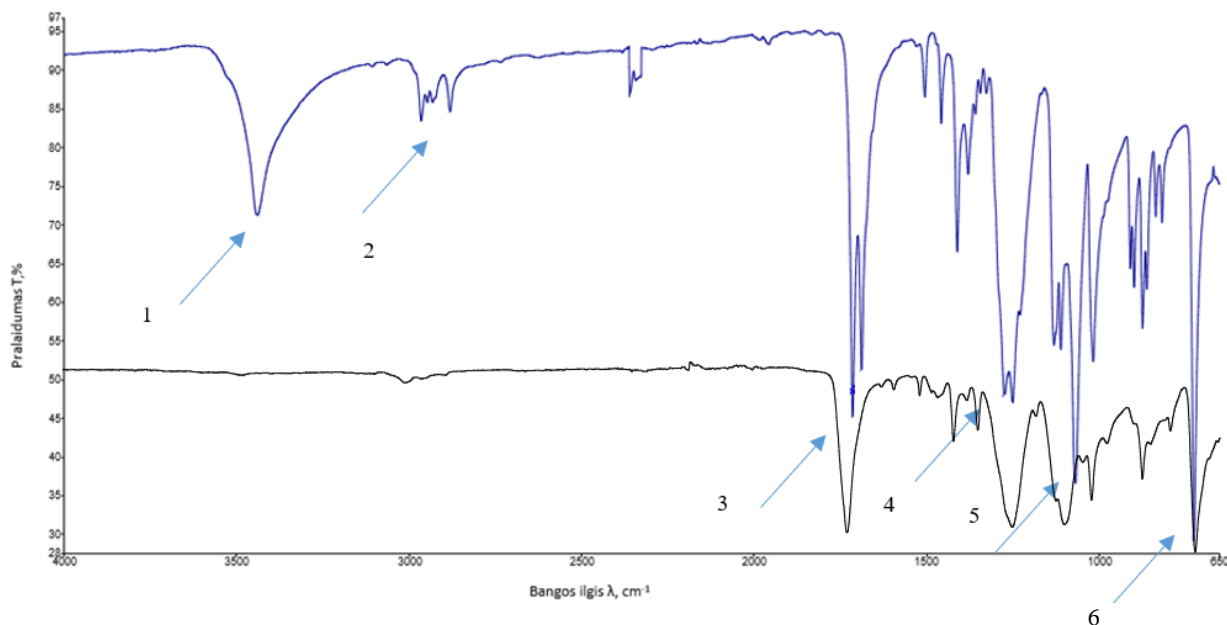
- 1– nėra -OH grupės smailės;
- 2 – ties  $2924,36 \text{ cm}^{-1}$  -CH<sub>2</sub>- jungtys kaip ir depolimerizuotame junginyje;
- 3 – O=C-O- grupei priskiriamas vienas pikas ties  $1740,41 \text{ cm}^{-1}$ ;
- 4 –  $1408,73 \text{ cm}^{-1}$  benzeno žiedo pikas;



5 – 1096,01  $\text{cm}^{-1}$  C-O grupės pikas

6 – 721,20  $\text{cm}^{-1}$  deformaciniai aromatikos junginių svyravimai kaip ir suskaidytame PET spektre.

2) Kai katalizatorius natrio karbonatas ir išeiga 71,2 %. (Lyginama su amorfiniu PET) (2.4 pav.)



**2.4 pav.** Spektras, kai katalizatorius natrio karbonatas

1 – 3439,93  $\text{cm}^{-1}$  pikas parodo, kad produkte – BHET egzistuoja OH grupės;

2 – pikai ties 2800,85  $\text{cm}^{-1}$  ir 2964,20  $\text{cm}^{-1}$  parodo, kad junginyje yra alifatinės -CH<sub>2</sub>- jungtys;

3 – pikai, esantys ties bangos ilgiais 1637,76  $\text{cm}^{-1}$  ir 1713,97  $\text{cm}^{-1}$  nurodo O=C-O- grupes;

4 – kadangi ties 1250,14  $\text{cm}^{-1}$  ir 1273,45  $\text{cm}^{-1}$  yra pikai, tai reiškia, kad junginyje egzistuoja benzeno žiedas;

5 – smailė, kurios bangos ilgis 1067,75  $\text{cm}^{-1}$  įrodo, kad yra C-O grupė;

6 – deformacinius aromatinių junginių svyravimus virpesius junginyje galima aptikti ties pikais esančiais 724,80  $\text{cm}^{-1}$ .

*Nesuskaidyto amorfinio PET spektras matomas kitoks:*

1– nėra -OH grupės smailės;

2 – ties 2924,36  $\text{cm}^{-1}$  -CH<sub>2</sub>- jungtys kaip ir depolimerizuotame junginyje;

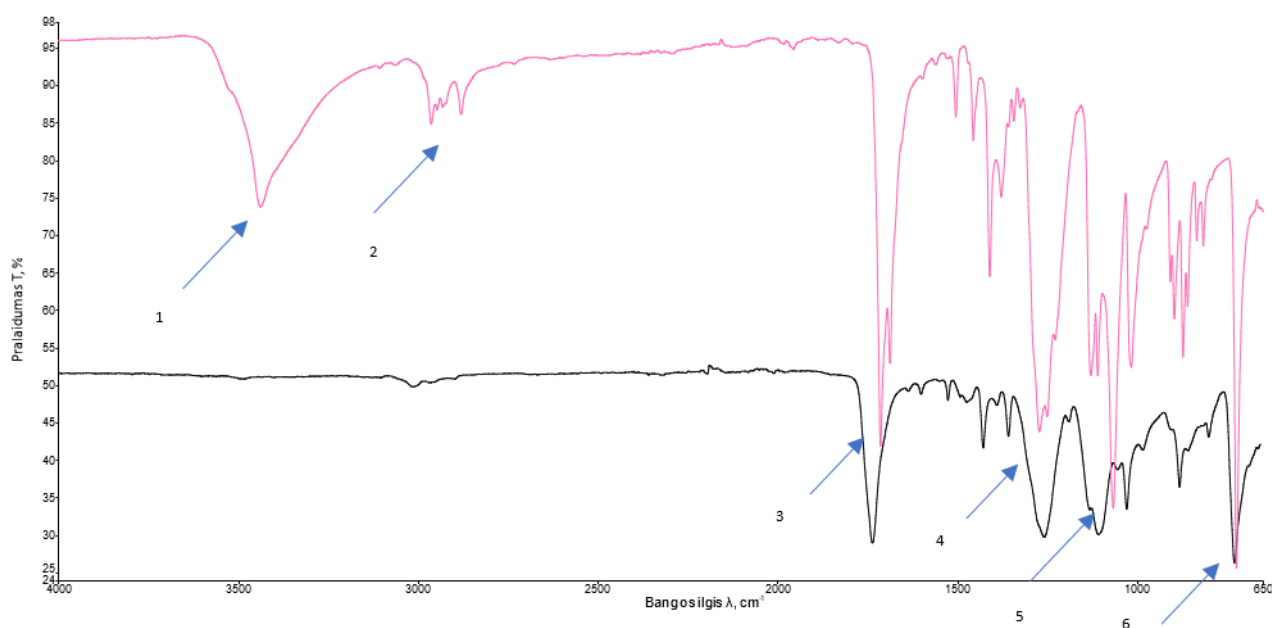
3 – O=C-O- grupei priskiriamas vienas pikas ties 1740,41  $\text{cm}^{-1}$ ;

4 – 1408,73  $\text{cm}^{-1}$  benzeno žiedo pikas;

5 – 1096,01  $\text{cm}^{-1}$  C-O grupės pikas

6 – 721,20  $\text{cm}^{-1}$  deformaciniai aromatikos junginių svyravimai kaip ir suskaidytame PET spektre.

3) Kai katalizatorius cinko acetatas, išeiga 75,5 %. (Lyginama su amorfiniu PET) (2.5 pav.)



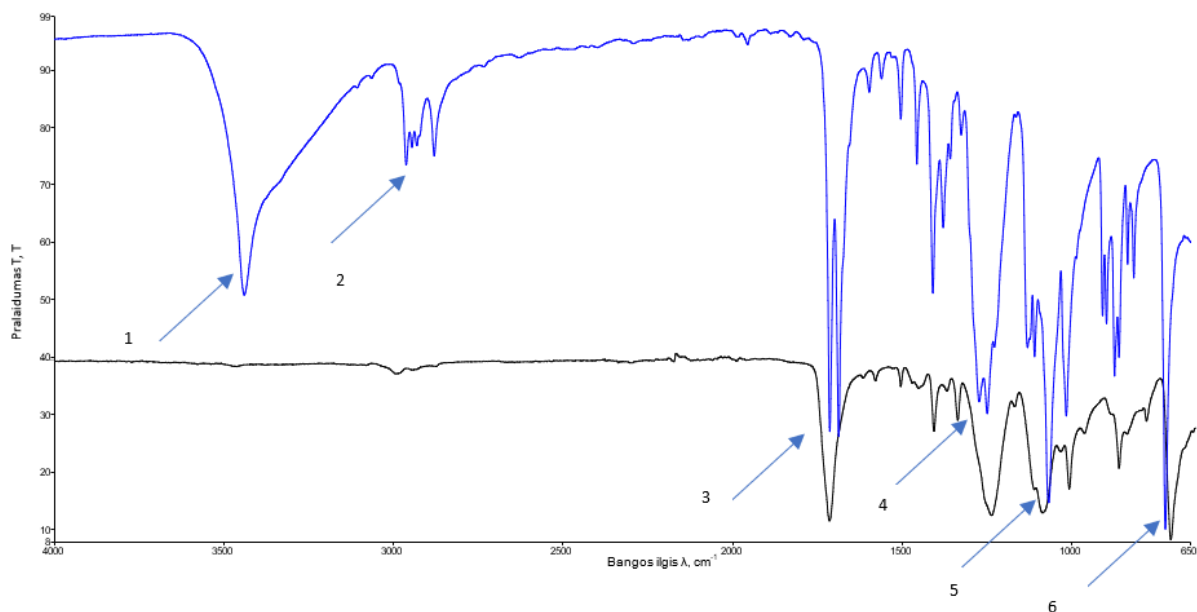
**2.5 pav.** Spektros, kai katalizatorius cinko acetatas

- 1 – Pikas esantis ties  $3442,66 \text{ cm}^{-1}$  parodo, kad produkte – BHET egzistuoja OH grupės;
- 2 – alifatinės  $-\text{CH}_2-$  jungtys atitinka pikus, esančius ties bangos ilgiais  $2880,95 \text{ cm}^{-1}$  ir  $2964,23 \text{ cm}^{-1}$ ;
- 3 –  $\text{O}=\text{C}-\text{O}-$  grupės galima aptikti ties bangos ilgiais  $1690,18 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1713,40 \text{ cm}^{-1}$ ;
- 4 – junginyje egzistuoja benzeno žiedas, nes matomi pikai esantys ties  $1272,72 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1273,37 \text{ cm}^{-1}$ , bangos ilgiais;
- 5 – smailė, esanti ties  $1067,92 \text{ cm}^{-1}$ , bangos ilgiais įrodo, kad yra C-O grupė;
- 6 – deformacinius aromatinių junginių svyravimus virpesius junginyje galima aptikti ties pikais esančiais  $724,95 \text{ cm}^{-1}$ .

*Nesuskaidyto amorfinio PET spektras matomas kitoks:*

- 1– nėra  $-\text{OH}$  grupės smailės;
- 2 – ties  $2924,36 \text{ cm}^{-1}$   $-\text{CH}_2-$  jungtys kaip ir depolimerizuotame junginyje;
- 3 –  $\text{O}=\text{C}-\text{O}-$  grupei priskiriamas vienas pikas ties  $1740,41 \text{ cm}^{-1}$ ;
- 4 –  $1408,73 \text{ cm}^{-1}$  benzeno žiedo pikas;
- 5 –  $1096,01 \text{ cm}^{-1}$  C-O grupės pikas
- 6 –  $721,20 \text{ cm}^{-1}$  deformaciniai aromatikos junginių svyravimai kaip ir suskaidytame PET spektre.

4) Kai katalizatorius kalcio aluminatas ir išeigos: 64,3 %. (Lyginama su amorfiniu PET) (2.6 pav.)



**2.6 pav.** Spektras, kai katalizatorius kalcio aluminatas

- 1 – 3439, 32  $\text{cm}^{-1}$  pikai parodo, kad produkte – BHET egzistuoja OH grupės;
- 2 – alifatinės  $-\text{CH}_2-$  jungtys atitinka pikus, esančius ties bangos 2964,25  $\text{cm}^{-1}$ , 2880,69  $\text{cm}^{-1}$ ;
- 3 –  $\text{O}=\text{C}-\text{O}-$  grupės galima aptikti ties bangos ilgiais 1687,53  $\text{cm}^{-1}$ , 1713,74  $\text{cm}^{-1}$ ;
- 4 – junginyje egzistuoja benzeno žiedas, nes matomas pikas esantis ties 1271,98  $\text{cm}^{-1}$ , 1273,84  $\text{cm}^{-1}$ ;
- 5 – pikas, esantis ties 1067,29  $\text{cm}^{-1}$  bangos ilgiais įrodo, kad yra C-O grupė;
- 6 – deformacinius aromatinių junginių svyravimus virpesius junginyje galima aptikti ties pikų esančiu 725,06  $\text{cm}^{-1}$ .

*Nesuskaidyto amorfinio PET spektras matomas kitoks:*

- 1– nėra -OH grupės smailės;
- 2 – ties 2924,36  $\text{cm}^{-1}$   $-\text{CH}_2-$  jungtys kaip ir depolimerizuotame junginyje;
- 3 –  $\text{O}=\text{C}-\text{O}-$  grupei priskiriamas vienas pikas ties 1740,41  $\text{cm}^{-1}$ ;
- 4 – 1408,73  $\text{cm}^{-1}$  benzeno žiedo pikas;
- 5 – 1096,01  $\text{cm}^{-1}$  C-O grupės pikas
- 6 – 721,20  $\text{cm}^{-1}$  deformaciniai aromatikos junginių svyravimai kaip ir suskaidytame PET spektre.

Taigi, atlikus eksperimentus matoma, kad didžiausia BHET išeiga gaunama, kai katalizatorius cinko acetatas, pagal tai ir bus projektuojama PET cheminio perdurbimo technologinė linija. Visgi kitų katalizatorių tokių kaip stibio oksidas, natrio karbonatas ir naujojo kalcio aluminatas taip pat nereikia atmesti, tik būtina atlikti proceso optimizavimo eksperimentus parenkant tinkamas sąlygas. Natrio karbonatas ir kalcio aluminatas – katalizatoriai būtų parenkami kaip „draugiškesni“ aplinkai.

### 3. Inžinerinė dalis

#### 3.1. Technologinė dalis

##### 3.1.1. Amorfinių PET granulių gamyba

Amorfinių PET granulių technologinė proceso apžvalga yra pateikiama literatūrinėje dalyje.

3.1 lentelėje pateikiami svarbiausi procesą atspindintys parametrai:

**3.1 lentelė.** Svarbiausių PET gamybos proceso parametrų suvestinė

Parametras	Pastos reaktorius	Esterifikacija I	Esterifikacija II	Polikondensacija I	Polikondensacija II
Temperatūra	aplinkos	255-260 °C	260-270 °C	270-280 °C	280-286 °C
Slėgis	atmosferinis	1,1-1,6 bar	0-0,5 bar	25-35 mbar	0,8-2 mbar
Išbuvimo trukmė	120 min	80-110 min.	70-90 min.	70-90 min.	80-100 min.
Konversija	-	-	88-92	99,5	99,9
Polimerizacijos laipsnis	-	2-3	4-5	20-25	90-108

##### 3.1.2. Medžiagų balansas

Medžiagų balansas yra skaičiuojamas pagal šias formules:



Čia:  $p$  – polimerizacijos laipsnis.

Apsibrėžiama: 1) azoto srautai į skaičiavimus nėra įtraukiami, nes tai inertinės dujos, kurių kiekis nesikeičia; 2) skaičiavimai atliekami priimant, kad amorfinių granulių gamybai naudojama PTA ir EG; 3) neatsižvelgiama į šalutines reakcijas; 4) skaičiavimai atliekami tik pagrindinėms reakcijoms; 5) skaičiavimai atliekami atbuline tvarka, t. y. nuo galutinio produkto link pradinių medžiagų srautų, kadangi yra žinoma, kad amorfinių PET granulių gamybos linijos našumas yra 500 t / d.

##### *Pjaustyklė*

PET gamybos technologijoje yra naudojami 3 identiškos pjaustyklės. Žinoma, kad konversijos laipsnis juose siekia 99,9 %, o polimerizacijos laipsnis  $p$  108, nuostoliai =  $100 - 99,9 = 0,01$ .

Surandamas masės debitas  $G$ :

$$G_{\text{pjaustyklės}} = \frac{500 \text{ t/d}}{1 - \frac{0,01}{100}} = 500,05 \text{ t/d per visas 3 pjaustykles, o žinant, kad visos vienodo našumo, tai}$$

$$\text{debitas 1 pjaustyklėje bus: } G_{\text{pjaustyklės1}} = \frac{500 \text{ t/d}}{3} = 166,68 \text{ t / d.}$$

Kadangi žinoma, kad našumas yra 500 t / d, tai galima priimti, kad viršijanti dalis gali būti vanduo, kuris dar neišgarintas nuo granulių:  $500,05 \text{ t / d} - 500 \text{ t / d} = 0,05 \text{ t / d}$ .

## Polikondensacija II

Kadangi yra žinoma, koks srautas patenka į pjaustyklę, tai žinomas ir srautas išeinantis iš polikondensacijos II reaktorių:  $G_{\text{pjaustyklių}} = G_{\text{poliIIIišeinantis}} = 500,05 \text{ t / d}$ .

Priimta, kad polimerizacijos laipsnis 108, konversijos laipsnis 99,9 %,

nuostoliai =  $100 \% - 99,9 \% = 0,01\%$ .

Skaičiuojama pagal medžiagų molinius kiekius:

Priimama, kad polimero molinė masė yra skaičiuojama pagal šią formulę (kadangi prie PTA prisijungia EG):

$$M = M(\text{PET}) \times p + M(\text{EG}); \quad (3.3)$$

$$G_{\text{poliIIIišeinantis}} = \frac{500,05 \text{ t / d} \times 100\,000}{20798 \text{ g / mol}} = 24043,18 \text{ mol / d}$$
 išteka iš polikondensacijos II reaktoriaus.

$$M(\text{kai polimero polimerizacijos laipsnis } p=108) = 192 \text{ g / mol} \times 108 + 62 \text{ g / mol} = 20798 \text{ g / mol}.$$

Kai jau žinomas PET molių kiekis, tada apskaičiuojama kiek reakcijos metu išsiskyrė EG (atsižvelgiama į reakcijos stochiometriją; (3.1) formulė):

$$G_{\text{BHETpoliIII}} = \frac{(n-1) \times G_{\text{poliIIIišeinantis}}}{1 \text{ mol}} = \frac{107 \times 24043,18 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} = 2572620,26 \text{ mol/d}.$$

Surandamas įtekantis BHET molinis srautas į polikondensacijos II reaktorių:

$$G_{\text{BHETIpoliIII}} = (\text{PET})_{108} \times p = 24043,18 \text{ mol} \times 108 = 259663,44 \text{ mol / d}.$$

Žinoma, kad kai BHET  $p=108$ , tai molinis srautas yra  $259663,44 \text{ mol / d}$ , tai tada kai polimero  $P = 25$ , molinis srautas bus:

$$G_{\text{poli,P=25}} = G_{\text{BHETIpoliIII}} \div 25 = 259663,44 \text{ mol / d} \div 25 = 10386,54 \text{ mol / d},$$
 tuomet reakcijos metu EG susidarys:  $G_{\text{EGpoli}} = G_{\text{poli,P=25}} \times (n-1) = 10386,54 \text{ mol / d} \times 24 = 249279,96 \text{ mol / d}.$

Skaičiuojamas EG pokytis, kuomet polimerizacijos laipsnis kinta nuo 25 iki 108:

$$G_{\text{deltaEG}} = G_{\text{EGpoliIII}} - G_{\text{poli,P=25}} = 2572620,26 \text{ mol / d} - 249279,96 \text{ mol / d} = 79823,3 \text{ mol / d}.$$

Moliniai srautai konvertuojami į masę:

$$G_{\text{EGIpoliIII}} = \frac{G_{\text{deltaEG}} \times M(\text{EG})}{100\,000} = \frac{79823,3 \text{ mol / d} \times 62 \text{ g / mol}}{100\,000} = 4,95 \text{ t / d}.$$

Tada į polikondensacijos II reaktorių įtekės polimero srautas, kurio  $P = 25$ :

$$G_{\text{polimeroIpoliIII}} = \frac{G_{\text{poli,P=25}} \times M(\text{kai } p=25)}{100\,000} = \frac{10386,54 \text{ mol / d} \times 4862 \text{ g / mol}}{100\,000} = 504,99 \text{ t / d}.$$

## Polikondensacija I

Priimta: konversijos laipsnis 99,5 %, polimerizacijos laipsnis 25.

Surandama kiek susidaro polimero, kurio polimerizacijos laipsnis 5, kai BHET  $G_{\text{BHETpoliII}} = 2572620,26 \text{ mol/d}$ :

$$G_{\text{poli,p=5}} = 2572620,26 \times \frac{99,5}{100} = 493943,04 \text{ mol / d.}$$

Tuomet galima sužinoti koks molių kiekis polimero įtekės į polikondensacijos I reaktorių:

$$G_{\text{poliIreaktorių}} = \frac{G_{\text{poli,p=5}} \times M(P=5)}{1000000} = \frac{493943,04 \text{ mol / d} \times (192 \text{ g / mol} \times 5 + 62 \text{ g / mol})}{1000000} = 504,80 \text{ t / d.}$$

Žinant koks polimero kiekis susidaro ( $G_{\text{poli,p=5}} = 493943,04 \text{ mol / d}$ ), surandamas ir EG kiekis:

$$G_{\text{EGpoliII}} = G_{\text{poli,p=5}} \times (n - 1) = 493943,04 \text{ mol / d} \times 4 = 1975772,16 \text{ mol / d.}$$

Surandamas koks kiekis EG susidaro, kuomet polimero polimerizacijos laipsnis pakyla nuo 5 iki 25:

$$G_{\text{EG, kai p(5-25)}} = G_{\text{EGpolI}} - G_{\text{EGpoliII}} = 2492796,96 \text{ mol / d} - 1975772,16 \text{ mol / d} = 517024,8 \text{ mol / d} = \frac{517024,8 \times 62 \text{ g / mol}}{1000000} = 32,06 \text{ t / d.}$$

Pagal reakcijos lygtį žinoma, kad susidarant 1 mol BHET išsiskiria 2 mol  $\text{H}_2\text{O}$ , skaičiuojamas išsiskyrusio vandens kiekis:

$$G_{\text{išH}_2\text{O}} = G_{\text{BHETpoliII}} \times 2 = 2572620,26 \text{ mol / d} \times 2 = 5145240,52 \text{ mol/d.}$$

Kuomet sureaguoja 99,5% BHET, tada vandens išsiskiria:

$$G_{\text{H}_2\text{O}96} = G_{\text{BHETpoliII}} \times \frac{99,5}{100} \times 2 = 2572620,26 \text{ mol / d} \times \frac{99,5}{100} \times 2 = 5119514,32 \text{ mol / d.}$$

Surandamas vandens kiekis, kuris išsiskiria, kuomet konversijos laipsnis kyla nuo 99,5 iki 99,9%:

$$G_{\text{H}_2\text{O}99,5-100} = G_{\text{išH}_2\text{O}0150} - G_{\text{H}_2\text{O}96} = 5145240,52 \text{ mol / d} - 5119514,32 \text{ mol / d} = 25726,2 \text{ mol / d} = \frac{25726,2 \text{ mol / d} \times 18 \text{ g / mol}}{1000000} = 0,46 \text{ t / d.}$$

Reaguojant 2 mol EG ir 1 mol PTA susidaro 2 mol  $\text{H}_2\text{O}$  ( $G_{\text{H}_2\text{O}99,5-100} = 25726,2 \text{ mol / d}$ ) ir šiuo atveju EG ir  $\text{H}_2\text{O}$  santykiai lygūs, todėl akivaizdu, kad į reaktorių pateks  $G_{\text{EGipoliII}} = 25726,2 \text{ mol / d} = \frac{25726,2 \text{ mol / d} \times 62 \text{ g / mol}}{1000000} = 1,60 \text{ t / d EG,}$

$$\text{O PTA srautas į reaktorių bus 2 kartus mažesnis: } G_{\text{PTAipoliII}} = \frac{25726,2 \text{ mol/d}}{2} = 12863,1 \text{ mol/d} = \frac{12863,1 \text{ mol / d} \times 166 \text{ g / mol}}{1000000} = 2,14 \text{ t / d.}$$

$$M(\text{PTA}) = 166 \text{ g / mol.}$$

### *Esterifikacija II*

Priimta: konversijos laipsnis 92%, polimerizacijos laipsnis 3.

Surandamas polimero kiekis, kuris susidaro iš  $G_{\text{BHETpoli2}} = 2572620,26 \text{ mol / d}$  BHET:

$$G = \frac{2572620,26 \text{ mol / d} \times \frac{92}{100}}{3} = 788936,88 \text{ mol / d.}$$

Surandamas EG kiekis, kuris išsiskiria esant tokiam BHET kiekiui:

$$G_{EG,788936,66} = G \times (n-1) = 788936,88 \text{ mol / d} \times 2 = 1577873,76 \text{ mol/d.}$$

Apskaičiuojamas polimero srautas, kuris išteka iš esterifikacijos II reaktoriaus / įtekantis srautas į polikondensacijos I reaktorių:

$$G_{\text{polimero iš EII / į pol II}} = \frac{G \times M(p=3)}{1000000} = \frac{788936,88 \text{ mol / d} \times 638 \text{ g / mol}}{1000000} = 503,34 \text{ t / d.}$$

Surandamas EG kiekis, kuris išsiskiria esterifikacijos II reaktoriuje, kai polimerizacijos laipsnis pakyla nuo 3 iki 5:

$$G_{EGEII} = G_{EG\text{pol II}} - G_{EG,788936,66} = 1975772,16 \text{ mol / d} - 1577873,76 \text{ mol / d} = 397898,4 \text{ mol / d} \\ = \frac{397898,4 \text{ mol / d} \times 62 \text{ g / mol}}{1000000} = 24,67 \text{ t / d.}$$

Apskaičiuojama koks kiekis vandens išsiskirs, kai konversijos laipsnis 92 %:

$$G_{H_2O90} = G_{BHET\text{pol II}} \times \frac{92}{100} \times 2 = 2572620,26 \text{ mol / d} \times \frac{92}{100} \times 2 = 4733602 \text{ mol / d.}$$

Tada vandens kiekis, kuris išsiskiria, kai konversijos laipsnis kyla nuo 92 iki 98%:

$$G_{H_2O92-98} = G_{H_2O96} - G_{H_2O90} = 5119514,32 \text{ mol / d} - 4733602 \text{ mol / d} = 385912,32 \text{ mol / d} = \\ \frac{385912,32 \text{ mol / d} \times 18 \text{ g / mol}}{1000000} = 6,95 \text{ t / d.}$$

Pagal reakcijos lygties cheminių medžiagų molekulių skaičių matome, kad į reaktorių patenka toks pat EG kiekis, kiek išsiskiria vandens:

$$G_{H_2O90} = G_{EG\text{reaktorių}} = 385912,32 \text{ mol / d} = \frac{385912,32 \text{ mol / d} \times 62 \text{ g / mol}}{1000000} = 23,93 \text{ t / d.}$$

Į reaktorių patenkančio PTA kiekis:

$$G_{PTA\text{reaktorių}} = \frac{G_{EG\text{reaktorių}}}{2} = \frac{385912,32 \text{ mol / d}}{2} = 192956,16 \text{ mol / d} = \frac{192956,16 \text{ mol / d} \times 166 \text{ g / mol}}{1000000} = \\ 32,03 \text{ t / d.}$$

Bendras PTA kiekis, kuris patenka į reaktorių:

$$G_{B.PTA} = G_{PTA\text{reaktorių}} + G_{PTA\text{pol II}} = 32,03 \text{ t / d} + 2,14 \text{ t / d} = 34,17 \text{ t / d.}$$

Bendras EG kiekis, kuris patenka į reaktorių:

$$G_{B.EG} = G_{EG\text{reaktorių}} + G_{EG\text{pol II}} = 23,93 \text{ t / d} + 1,60 \text{ t / d} = 25,53 \text{ t / d.}$$

### *Esterifikacija I*

Priimta: polimerizacijos laipsnis 2.

EG kiekis, kuris išsiskiria reakcijos metu:

$$G_{EG, p=2} = G_{EG,788936,66} = 1577873,76 \text{ mol / d} = \frac{1577873,76 \text{ mol / d} \times 62 \text{ g / mol}}{1000000} = 97,83 \text{ t / d.}$$

Išsiskiria vandens kiekis:

$$G_{\text{iš H}_2\text{O}} = G_{\text{H}_2\text{O}90} = 4733602 \text{ mol} / \text{d} = \frac{4733602 \text{ mol} / \text{d} \times 18 \text{ g} / \text{mol}}{1000000} = 85,20 \text{ t} / \text{d}.$$

Norint, kad toks vandens kiekis susidarytų reakcijos metu, į reaktorių būtina tiekti apskaičiuotą srautą EG:

$$G_{\text{EGsusidarymo}} = G_{\text{iš H}_2\text{O}} = 4733602 \text{ mol} / \text{d} = \frac{4733602 \text{ mol} / \text{d} \times 62 \text{ g} / \text{mol}}{1000000} = 293,48 \text{ t} / \text{d}.$$

o PTA kiekis bus:

$$G_{\text{PTA į EI}} = \frac{4733602 \text{ mol} / \text{d}}{2} = 2366801 \text{ mol} / \text{d} = \frac{2366801 \text{ mol} / \text{d} \times 166 \text{ g} / \text{mol}}{1000000} = 392,89 \text{ t} / \text{d}.$$

Apskaičiuojami bendri kiekiai PTA ir EG, kurie patenka į reaktorių:

$$G_{\text{BendrasPTA}} = G_{\text{PTA į EI}} + G_{\text{B.PTA}} = 34,17 \text{ t} / \text{d} + 392,89 \text{ t} / \text{d} = 427,06 \text{ t} / \text{d}.$$

$$G_{\text{BendrasEG}} = G_{\text{EGsusidarymo}} + G_{\text{B.EG}} = 25,53 \text{ t} / \text{d} + 293,48 \text{ t} / \text{d} = 319,01 \text{ t} / \text{d}.$$

### *Pastos reaktoriaus*

Apskaičiuojami priedų kiekiai, reikalingi amorfinių PET granulių gamybai:

Katalizatoriaus galutiniame produkte yra 250 ppm, tai jo masės debitas:

$$G_{\text{katalizatoriaus}} = 500 \text{ t} / \text{d} \times \frac{250 \text{ ppm}}{1000000} = 0,125 \text{ t} / \text{d}.$$

2. Stabilizatoriaus kiekis galutiniame produkte 10 ppm, tai jo masės debitas:

$$G_{\text{stabilizatoriaus}} = 500 \text{ t} / \text{d} \times \frac{10 \text{ ppm}}{1000000} = 0,005 \text{ t} / \text{d}.$$

3. Mėlynų ir raudonų kiekis galutiniame produkte po 2 ppm, tai jų masės debitas:

$$G_{\text{raudono}} = G_{\text{mėlyno}} = 500 \text{ t} / \text{d} \times \frac{2 \text{ ppm}}{1000000} = 0,001 \text{ t} / \text{d}.$$

4. IR priedo 10 % EG (Esterifikacijos II pakopa), tai masės debitas:

$$G_{\text{IR priedo}} = 23,93 \text{ t} / \text{d} \times \frac{10 \%}{1000000} = 2,393 \text{ t} / \text{d}.$$

5. PIA kiekis yra 2,12 % nuo PTA kiekio:

$$G_{\text{PIA}} = (427,06 \text{ t} / \text{d} \times 2,12 \%) / 100 \% = 9,052 \text{ t} / \text{d}$$

6. DEG kiekis yra 1,35 % nuo EG kiekio:

$$G_{\text{DEG}} = (319,01 \text{ t} / \text{d} \times 1,35 \%) / 100 \% = 4,307 \text{ t} / \text{d}$$



### 3.2 lentelė. Gamybos režimas

Gamybos našumas t/d	500
Gamybos našumas t/m	177500
Pamainų skaičius per parą	2
Nedarbo dienų skaičius per metus (remontas, profilaktika)	10
Darbo dienų skaičius per metus	355

Pagrindinės žaliavos naudojamos PET sintezei yra PTA ir EG. Reakcijos vyksmui gerinti bei produkto savybėms gerinti naudojami priedai – PIA, DEG, stibio oksidas, fosforo rūgštis, dažikliai. Pateikiama trumpa jų charakteristika (3.3 lentelė):

### 3.3 lentelė. PET gamybos žaliavos ir jų kiekiai

Medžiagų pavadinimas	Charakteristika	Dienos ar paros sąnaudos, t	Sąnaudos metams, t
<i>Žaliavos:</i>			
PTA	Baltos spalvos milteliai, transportuojami azoto aplinkoje, kadangi dulkės gali sukelti sproginimą. Į įmonę atvežami konteneriais.	427,06	151606,300
EG	Bespalvis skystis, kuris į įmonę atvežamas automobilineis cisternomis, būtina jo filtracija.	319,01	113248,550
PIA	Baltos spalvos milteliai, į įmonę atvežami konteneriais.	9,052	3213,460
DEG	Bespalvis skystis, kuris naudojamas kaip priedas.	4,307	1528,855
Stibio oksidas	Reakcijos katalizatorius, kuris pagreitina reakcijos vyksmą. Baltos spalvos milteliai.	0,125	44,375
Fosforo rūgštis	Bespalvis skystis. Stabilizatorius.	0,005	1,775
Dažiklis (mėlynas ir raudonas)	Milteliai.	0,002	0,710
<i>Produktai:</i>			
PET granulės	Skaidrios, bekvapės, sferos formos.	500,000	177500,000
H <sub>2</sub> O	Bespalvis skystis.	92,660	32894,300

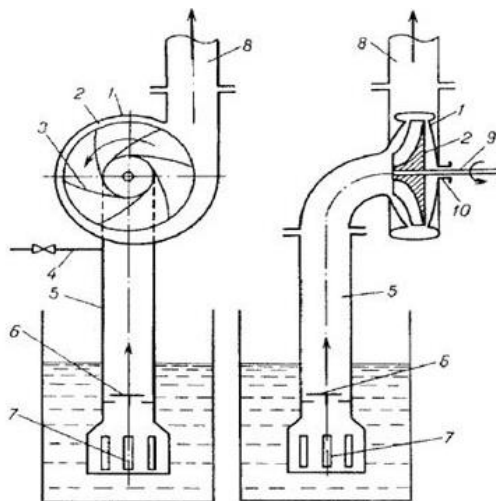
#### 3.1.3. Įrenginiai, reikalingi amorfinių PET granulių gamybai

Projektuojame darbe yra naudojami 2 tipų siurbliai: tūriniai (sraigtiniai ir krumpliaratiniai) ir dinaminiai (išcentriniai). Kiekvienu atveju yra sumontuota po 2 identiškus siurblius, kurie dirba 50

% našumu. Taip yra todėl, kad sugedus vienam siurbliui, kitas siurblys galėtų kompensuoti kitą ir veikti 100 % našumu [44].

### Išcentriniai siurbliai

Išcentriniai siurbliai yra geriausiai pritaikyti chemijos pramonei: paprasta konstrukcija, užima mažai vietos, jungiami tiesiai su varikliu, neturi vožtuvų, gali transportuoti suspensijas, veikia tolygiai. Jų našumą galima lengvai reguliuoti slėgimo linijoje įmontuotu čiaupu. Todėl šiame procese jie pasirinkti (3.1 pav.) [44].



3.1 pav. Išcentrinis siurblys

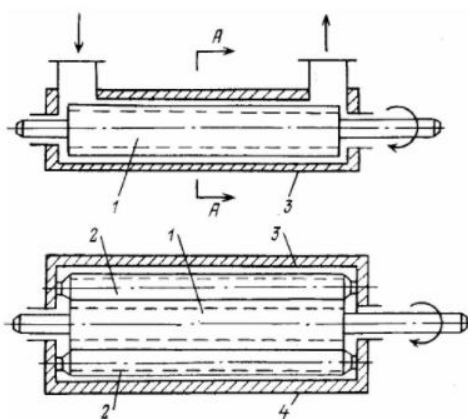
Čia: 1 – korpusas, 2 – siurbliaratis, 3 – mentelės, 4 – siurbimo linija, 5 – siurbimo vamzdis, 6 – atbulinis vožtuvas, 7 – filtras, 8 – slėgimo vamzdis, 9 – velenas, 10 – riebokšlis.

Išcentrinio siurblio korpuse yra įmontuotas laisvai besisukantis siurbliaratis, kuris yra tvirtinamas ant veleno. Tarp siurbliaračio diskų yra įmontuotos juos jungiančios lenktos mentelės. Disko ir mentelių vidiniai paviršiai sudaro siurbliaračio kanalus, kurie, dirbant siurbliui, prisipildo transportuojamojo skysčio. Sukantis siurbliaračiui atsiranda išcentrinė jėga, dėka kurios skysčio išsiurbimas ir suslėgimas vyksta tolygiai bei nenutrūkstamai: skystis, stumiamas menčių ir bloškiamas išcentrinės jėgos, iš centro patenka į pakraščius ir toliau liestinės kryptimi į slėgimo linijos vamzdį. Siurbliaračio centre susidaro vakuumas, dėl kurio skystis nepertraukiamai kyla išsiurbimo vamzdžiu į siurbliaratyje esančius kanalus [44].

### Sraigtiniai siurbliai

Naudojami didelių klampų skysčių transportavimui [44]. Šio tipo siurblys naudojamas pastai transportuoti iš sumaišymo talpos į esterifikacijos 1 reaktorių [10].

Siurblio judamoji dalis – sraigtas, kuris turi vientisą mentį aplink visą savo ašį. Sukantis šiam sraigtiui skystis, kuris patenka į siurblią vis juda į priekį link išmetimo antamzdžio (3.2 pav.) [10].

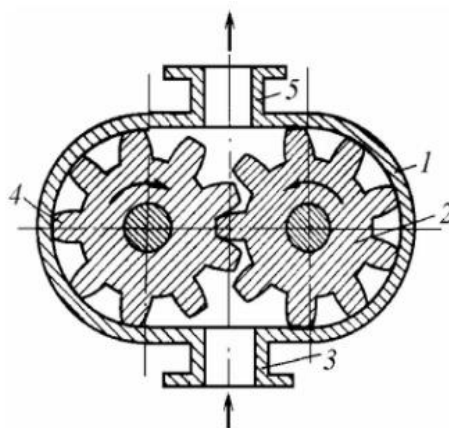


**3.2 pav.** Sraigtinis siurblys

Čia: 1 – varantysis sraigtas, 2 – varomieji sraigtai, 3 – sraigtų apgauba, 4 – korpusas.

### **Krumpliaratiniai siurbliai**

Siurblio korpuse įtaisyti 2 krumpliaraciai. Naudojami klampiams skysčiams transportuoti [44]. Šių siurblių įsiurbimo ir išmetimo vamzdžiai sumontuoti horizontaliai. Šį siurblių sudaro 2 krumpliaraciai. Skystis, kuris patenka į siurblių juda tarp krumpliaracių esančia ertmę. Krumpliaracių krumpliai spaudžia skystį ir išstumia jį į išmetimo vamzdį. Šio tipo siurbliai naudojami prieš ir po 2 polimerizacijos reaktoriaus (3.3 pav.) [44].



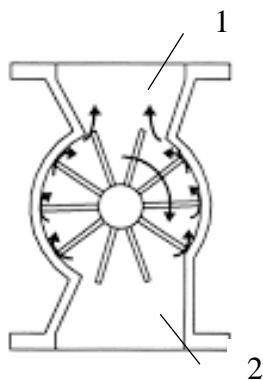
**3.3 pav.** Krumpliaratinis siurblys

Čia: 1 – korpusas, 2, 4 – krumpliaraciai, 3 – siurbimo kamera, 4 – slėgimo kamera.

Pateikiama siurblių specifikacijų suvestinė prieduose 7.7 lentelė.

### **Rotaciniai vožtuvai**

Rotacinių vožtuvų paskirtis – birių produktų iškrovimas / transportavimas. Jei vožtuvo mentys sandariai priglunda prie korpuso, toks vožtuvas gali būti naudojamas pneumatinio transportavimo sistemose (3.4 pav.) [44].



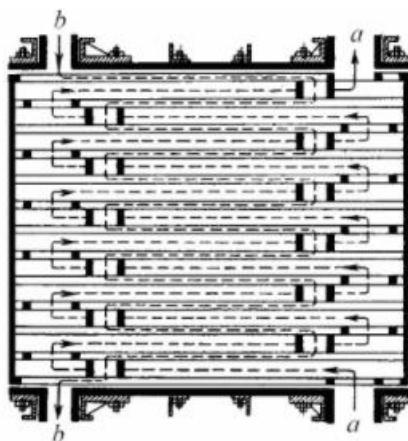
**3.4 pav.** Rotacinis vožtuvas

Čia: 1 – medžiagos patekimo į vožtuvą anga, 2 – iškrovimo zona.

Pateikiama siurblių specifikacijų suvestinė (7.8 lentelė) prieduose.

### **Plokšteliniai šilumokaičiai**

Plokšteliniai šilumokaičiai susideda iš sandariai tarpusavyje sudėtų plokščių, kurių paviršiaus plotas yra gana didelis. Šilumokaičiai naudojami medžiagų šildymui. Šiuos šilumokaičius lengva išardyti ir išvalyti, jie yra maži lyginant su vamzdiniais šilumokaičiais (3.5 pav.) [10].

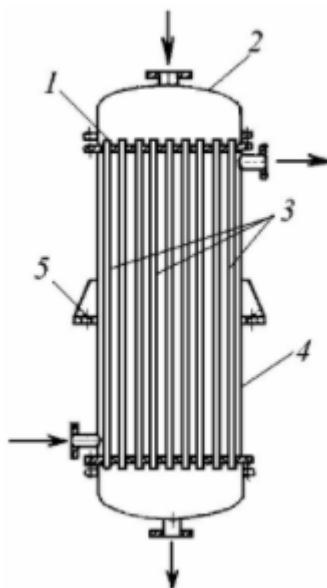


**3.5 pav.** Plokštelinis šilumokaitis

Čia: a – šildantysis skystis, b – šildomasis skystis.

### **Apvalkaliniai šilumokaičiai**

Šie šilumokaičiai sudaryti iš vamzdžių pluošto, kuris yra patalpintas cilindriniam korpuse. Vamzdžių galai įtvirtinti į rėtines plokštes. Vienas skystis teka vamzdeliais, o kitas ertme tarp vamzdžių. Šiluma nuo vienos medžiagos kitai perduodama per vamzdžių sieneles. Vamzdelius patogiau valyti iš vidaus, todėl dažniausiai per juos teka didesnio klampumo taršesnė medžiaga (3.6 pav.) [10].



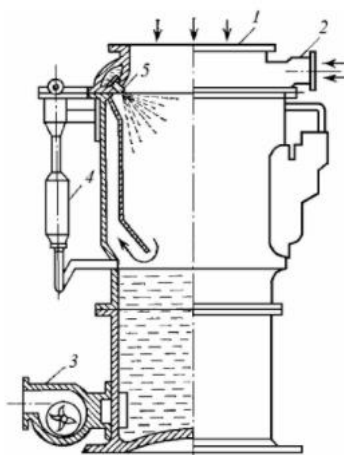
**3.6 pav.** Apvalkalinis šilumokaitis

Čia: 1 – rėtinė plokštė, 2 – dangtis, 3 – vamzdžių pluoštas, 4 – apvalkalas, 5 – atrama.

Pateikiama siurblių specifikacijų suvestinė (7.9 lentelė) prieduose.

### Maišymosi kondensatorius

Maišymosi kondensatoriuose (3.7 pav.) garai liečiasi su aušinančiuoju vandeniu, maišosi garų kondensatas. Siekiant padidinti aušinančio vandens ir garų sąlyčio paviršių, vanduo ištaškomas garų ertmėje [44].



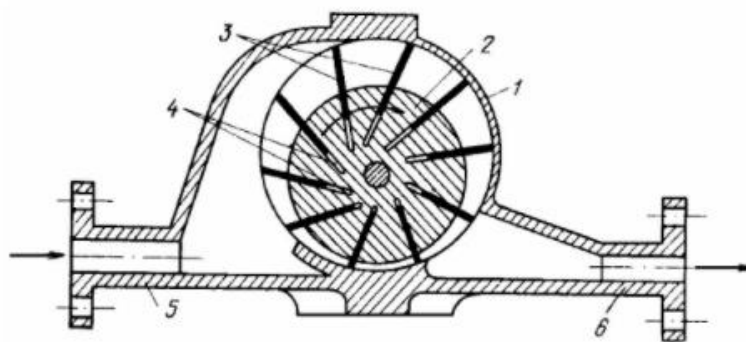
**3.7 pav.** Maišymosi kondensatorius

Čia: 1 – garų tiekimo atvamzdis, 2 – vandens tiekimo atvamzdis, 3 – vandens siurblys, 4 – oro siurblys, 5 – tūtos.

Pateikiama siurblių specifikacijų suvestinė (7.10 lentelė) prieduose.

## Kompresoriai

Rotacinis plokštelinis kompresorius (3.8 pav.). Sukantis masyviam rotorui, jo išilginėse įpjovose laisvai juda plokštelės. Dujos iš siurbimo atvamzdžio patenka į ertmes tarp plokštelių ir transportuojamos į slėgimo atvamzdį [44].



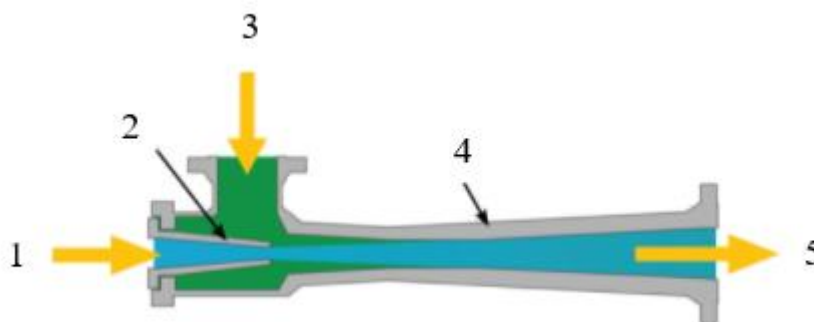
3.8 pav. Rotacinis plokštelinis kompresorius

Čia: 1 – korpusas, 2 – rotorius, 3 – plokštelės, 4 – įpjovos, 5 – siurbimo atvamzdis, 6 – slėgimo atvamzdis.

Pateikiama siurblių specifikacijų suvestinė (7.11 lentelė) prieduose.

## Vakuuminiai siurbliai – ežektoriai

Ežektorius (3.9 pav.) paskirtis sukurti vakuumą įrenginiuose. Ežektorius pagreitina didelio slėgio srautą 1, per purkštuką, slėgio energiją paversdamas greičiu. Aplink purkštuko 2 antgalį, kur greitis yra didžiausias, sukuriama žemo slėgio sritis. Ši sritis dažnai vadinama išsiurbimo kamera. Čia slėgis yra mažesnis nei išsiurbiamojo fluideo, prijungto prie šoninės įtekėjimo angos 3. Viskas yra išsiurbiamas į ežektoriaus pagrindinę dalį, kur du fluidų srautai juda per difuzorių 4, kuriame dėl skirtingos geometrijos sumažėja greitis ir yra atstatomas slėgis. Svarbu tai, kad mažo slėgio dalyje srauto slėgis padidėja (suspaudžiamas), tuo tarpu varomojo srauto slėgis sumažėja, nes jo energija buvo sunaudota išsiurbimui (darbui atlikti) [45].



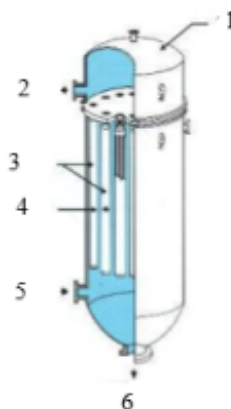
3.9 pav. Ežektorius

Čia: 1 – garo srautas, 2 – purkštukas, 3 – mažo slėgio dujos, 4 – difuzorius, 5 – išmetimo anga.

Pateikiama siurblių specifikacijų suvestinė (7.12 lentelė) prieduose.

### Žvakės tipo filtrai

Tai paprastos konstrukcijos filtrai (3.10 pav.), lengvai valomi filtrai. Jų didelis paviršiaus plotas ir užima mažą grindų plotą, nes yra vertikalūs. Srautas patenka į filtrą per angą 5 ir skverbiasi į vamzdelių 3 vidų (filtratas), per didelės dalelės (koncentratas) negali prasiskverbti pro vamzdelių 3 poras ir pasilieka erdvėje tarp vamzdelių 4. Filtratas suteka į kolektorių ir išteka iš filtro per atitinkamą angą 2, o koncentratas pašalinamas iš filtro per apačioje esančią angą 6 [46].



3.10 pav. Filtras

Čia: 1 – suspaustas oras, galvoje, reikalingas vykdant atbulinį filtro plovimą, 2 – filtratas, 3 – vamzdeliai, 4 – koncentrato erdvė tarp vamzdelių, 5 – srauto įtekėjimo vieta, 6 – koncentrato pašalinimas.

Pateikiama filtrų specifikacijų suvestinė (7.13 lentelė) prieduose.

Pateikiama likusių, anksčiau nepaminėtų įrenginių ir talpų lentelė (7.14 lentelė) prieduose su pagrindinėmis įrenginių specifikacijomis.

### 3.1.4. PET cheminis perdirbimas (rekomendacinė dalis)

#### Proceso apžvalga

Į talpą 44 (pav. 3.11) transportuojamas EG ir katalizatorius – cinko acetatas. Vieną valandą maišoma, siekiant pašalinti iš mišinio vandenį. Tiekiamas azotas, kad būtų užtikrinta inertinė aplinka. Kai katalizatorius visiškai ištirpsta, tirpalas transportuojamas į 45 talpą, į kurią tiekiamos susmulkintos PET atliekos. Rektoriuje vyksta intensyvus maišymas, tiekiamas azotas, kad būtų užtikrinta inertinė aplinka, reakcijos trukmė 2,5 valandos. Iš reaktoriaus garas yra nutraukiamas ir patenka į maišymosi kondensatorių, kuriame sukondensuotas garas toliau patenka į kondensato talpą, o iš jos į panaudoto EG talpą. Toliau tirpalas transportuojamas į šaldymo 46 reaktorių, kuriame yra šaldoma šaltu vandeniu. Atšaldytas reakcijos mišinys patenka į tirpinimo 47 reaktorių, kuriame klampi masė intensyviai maišant ir pilant verdantį distiliuotą vandenį maišoma iki tol, kol taps skaidri. Tada skaidrus tirpalas yra filtruojamas. Koncentratas toliau patenka į džiovyklą 49, kurioje pašalinamas vanduo, o sausas nesuskaidytas plastikas vėl grąžinamas į proceso pradžią. Filtratas toliau transportuojamas į kristalizatorių 51, kuriame 16 valandų išlaikomas 4 °C temperatūroje, o po to filtruojamas. Tada transportuojamas į džiovyklą, kurioje džiovinama 30 valandų 60 °C temperatūroje. Išdžiovintas plastikas gali būti tiekiamas į Esterifikacijos reaktorių II, kuriame sumaišomas tam tikru santykiu (pvz.: 1:3) su gryna medžiaga. Pateikiama cheminio perdirbimo principinė schema 3.11 pav.

Remiantis Europos sąjungos direktyva 2019 / 904 nuo 2025 m. įsigalios reikalavimas, kad PET butelių sudėtyje būtų bent 25 procentai perdirbto plastiko. Remiantis tiriamojo darbo duomenimis galima teoriškai daryti tokias prielaidas ir tiriamojo darbo rezultatus pritaikyti gamybai. Pateikiama 3.4 ir 3.5 lentelės.

Kadangi, Europos sąjungos direktyva nustato, kad butelių sudėtyje turės būti 25 % perdirbto plastiko, o PET projektuojama gamykla 500 t / d našumo (gamykla veikia ne pilnu pajėgumu, o 66,67 %), tai priimama, kad perdirbti plastiko per parą reikia:

$$100 \% - 66,67 \% = 33,33 \%;$$

$$(500 \text{ t / d} \times 33,33 \%) / 100 \% = 166,65 \text{ t / d.}$$

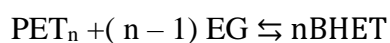
Pateikiamo darbo režimo lentelė 3.4.

#### 3.4 lentelė. BHET darbo režimas

Gamybos našumas t/d	166,65
Gamybos našumas t/m	59160,75
Pamainų skaičius per parą	2
Nedarbo dienų skaičius per metus (remontas, profilaktika)	10
Darbo dienų skaičius per metus	355

Pagrindinės žaliavos naudojamos BHET depolimerizacijai yra: susmulkintas plastikas, EG, katalizatorius – cinko acetatas, distiliuotas vanduo (3.5 lentelė). Žinoma, kad kai katalizatorius cinko acetatas, reakcijos konversijos laipsnis yra 75,5 %, o tikslas gauti 166,65 t / d perdirbto plastiko. Laboratorinio eksperimento metu buvo dedama 15 g PET, 33,41 ml EG, 0,175 g katalizatoriaus bei 200 g distiliuoto vandens. Skaičiai pritaikomi gamybai. Reakcija vyksta pagal pateiktą lygtį 3.3:

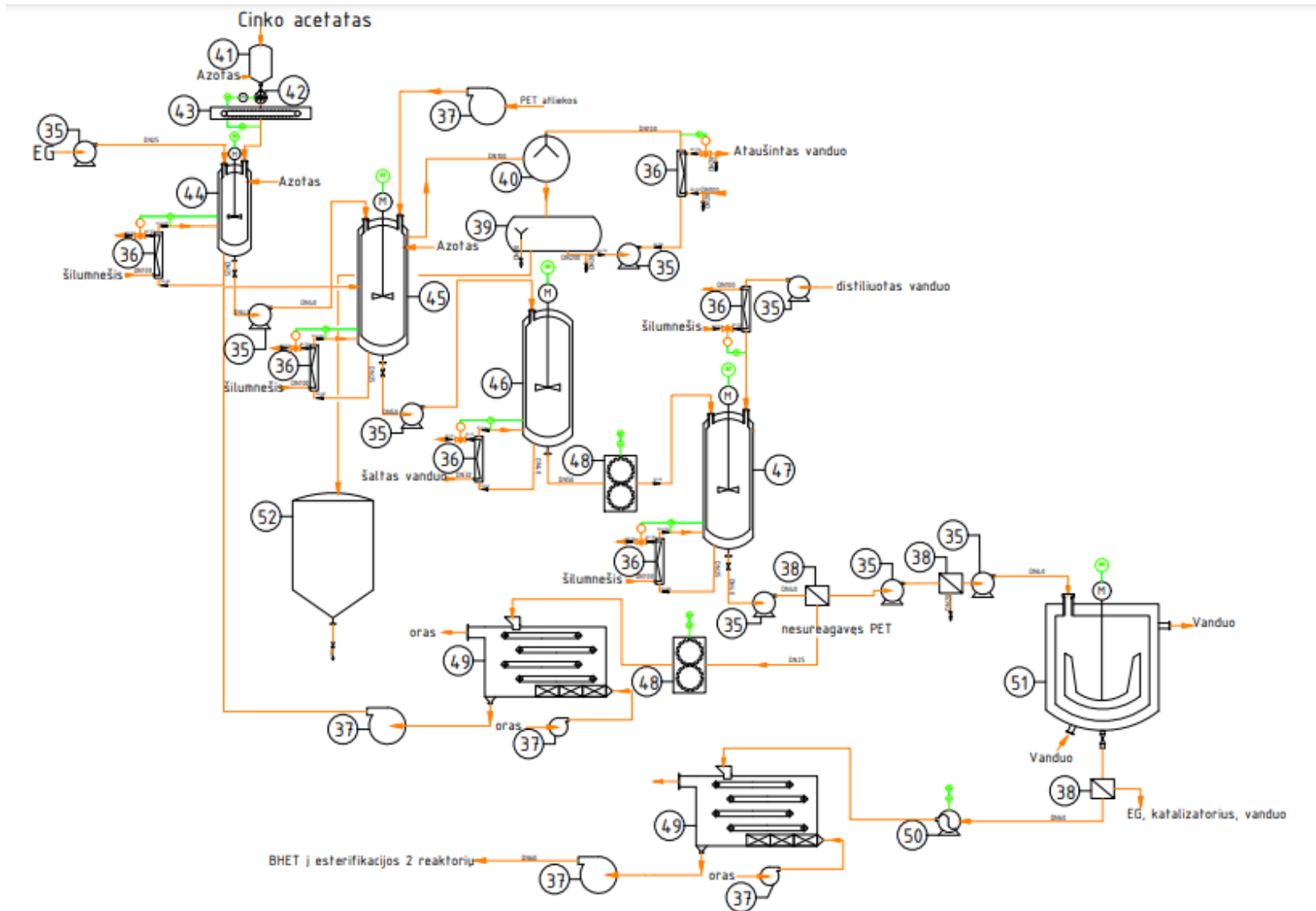




(3.3)

**3.5 lentelė.** PET gamybos žaliavos ir jų kiekiai

Medžiagų pavadinimas	Charakteristika	Dienos ar paros sąnaudos, t	Sąnaudos metams, t
<i>Žaliavos:</i>			
Susmulkintas plastikas	Smulkios kietos dalelės. Perkamos.	163,23	57946,65
EG	Bespalvis skystis, kuris į įmone atvežamas automobilineis cisternomis, būtina jo filtracija.	0,399	141,65
Cinko acetatas	Balti milteliai, silpnai juntamas kvapas.	0,190	67,45
Distiliuotas vanduo	Bespalvis, bekvapis, beskonis skystis, pašalintos priemaišos.	2,176	772,48
<i>Produktai:</i>			
BHET	Balti, šiek tiek blizgesio turintys kieti „kristalai“.	166,65	59160,75



3.11 pav. Cheminio perdirbimo principinė schema

35 – išcentrinis siurblys, 36 – šilumokaitis, 37 – orapūtė, 38 – filtras, 39 – kondensato talpa, 40 – maišymosi kondensatorius, 41 – katalizatoriaus talpa, 42 – rotorinis vožtuvas, 43 – transporteris, 44 – sumaišymo reaktorius, 45 – glikolizės reaktorius, 46 – šaldymo reaktorius, 47 – tirpinimo reaktorius, 48 – krumpliaratinis siurblys, 49 – džiovykla, 50 – sraigtinis siurblys, 51 – kristalizatorius, 52 – panaudoto EG talpa.

### **3.1.5. Įrenginiai, reikalingi PET cheminio perdirbimo procesui**

Kaip ir PET sintezės metu, taip pat ir cheminio perdirbimo metu reikalingi įrenginiai, kurie yra konstrukciniu atžvilgiu tokie pat, todėl šioje dalyje nebeaptariami. Pateikiama pagrindinių įrenginių suvestinė prieduose (7.15 lentelė).

## 3.2. Statybiniai sprendimai

### 3.2.1. Bendrieji duomenys

UAB „Orion Global Pet“ – pažengusi įmonė, pagrindinė įmonės veikla – PET granulių gamyba. Įmonė yra įsikūrusi Klaipėdos laisvojoje ekonomikos zonoje, Metalo g 16. Gamyklos teritorija užima 3,09 ha plotą. Statybai buvo parinkta aikštelė lygiu reljefu. Pasirinktas sklypas turi reikiamas komunikacijas: vandentiekį, elektrą, gamtines dujas.

Įmonė pradėjo dirbti 2003 metais. Šiuo metu UAB „Orion Global PET“ gali pagaminti nuo 500 tonų per dieną PET granulių. Pateikiami pagrindiniai projektuojamo pastato duomenys 3.6 ir 3.7 lentelėse.

#### 3.6 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
<b>SKLYPAS</b>			
1.	Sklypo plotas	ha	3,09
2.	Statinio užimtas žemės plotas	m <sup>2</sup>	1758,9
3.	Apželdintas žemės plotas (žalioji plotas)	m <sup>2</sup>	5276
4.	Automobilių stovėjimo vietų skaičius	Vnt.	90
5.	Sanitarinės (apsaugos) zonos plotis	m	800
<b>PASTATAI – paskirties rodikliai ( gamybos (kitos veiklos), paslaugų apimtys, aptarnaujamų žmonių skaičius, kiti rodikliai)</b>			
6.	bendras plotas:	m <sup>2</sup>	4916
7.	pagrindinis	m <sup>2</sup>	100000
8.	pagalbinis	m <sup>2</sup>	102
9.	pastato tūris	m <sup>3</sup>	8794,5
10.	aukštų skaičius	Vnt.	6
11.	pastato aukštis	m	30
12.	pastato atsparumas ugniai (I, II ar III)	MJ/m <sup>2</sup>	II

### 3.7 lentelė. Statybiniai duomenys

Pastato aukštų skaičius	10 <sup>4</sup>
Pastato plotis (tarp ašių), m	24
Pastato ilgis (tarp ašių), m	30
Darbuotojų skaičius	149
Miestas	Klaipėda

#### 3.2.2. Sklypo planas

Į projektuojamą įmonę yra atvežamos žaliavos – PTA, PIA, EG, DEG, priedai bei išvežamas produktas – granulės, todėl būtini asfaltuoti keliai automobiliams. Visoje įmonės teritorijoje numatyti keliai, kurie reikalingi krovininių automobilių, kurie atveža žaliavas, apsisukimams, transportui ir iškrovimams. Įmonės teritorijoje esantys keliai yra reikalingi žaliavų pristatymui, darbininkų kelionėms į darbą, patogiam avarinių tarnybų mašinų privažiavimui avarijų metu. Tam, kad darbuotojai galėtų saugiai vaikščioti įmonės teritorija yra numatyti 1 m pločio asfaltuoti takai. Pakelėse taip pat yra takai, kurių numatytas atstumas nuo kelio yra 0,8 m.

#### 3.2.3. Projektuojamo pastato sprendimai

Gamybinio pastato pagrindiniai parametrai: ilgis 30 m, plotis 14 m, o aukštis 29 m. Pastatui statyti numatoma naudoti metalines konstrukcijas: kolonas ir jų pamatus, dengimo plokštes bei perdangas. Šio pastato kolonos turi atitikti tokius išmatavimus – 4 x 4 metrai, turi būti didesni tarpai pastato viduryje. Ventilatoriai numatomi visame gamybos pastate, tam kad būtų užtikrintas puikus vėdinimas. Įmonėje dirbančių darbuotojų skaičius yra 149.

#### 3.2.4. Statinio architektūrinė, konstrukcinė sandara

Projektuojamo pastato aukštis nuo nulinės altitudės iki laikančių konstrukcijų yra 27 m. Sienos numatoma, kad bus iš daugiasluoksnių sieninių plokščių, užpildytos PIR, vidinės sienos karkasinės, gipso kartono plokštės. Grindys bus iš betono, su išlyginamąja danga ir kietikliu. Lauko vartai varstomi, su sandarikliais. Langai – iš plastiko, trijų stiklų. Pamatai numatomi iš gelžbetonio, o kolonos – iš surenkamo gelžbetonio. Numatoma, kad denginį laikančios konstrukcijos, tokios kaip santvaros ir sijos bus plieninės [47].

Nubraižyti sklypo plano, pagrindinių įrenginių išdėstymo, vaizdo iš dviejų pusių brėžiniai, kurie yra prieduose. Braižyta remiantis metodiniais nurodymais.

---

<sup>4</sup> Projektuojamas tik vienas aukštas

### 3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

#### 3.3.1. Projektavimo ir diegimo aplinkos analizė: ekonominių ir organizacinių problemų nustatymas

Plastiko gamybos įmonėje gaminamos amorfinės granulės, skirtos plastikos gaminiams gaminti. Tai milžiniška chemijos bendrovė, turinti 70 gamyklų visame pasaulyje, su puikiai atidirbtomis technologijomis ir neturinti sau lygių kokybės klausimais.

Lietuvoje esanti įmonė, turinti tokią technologiją konkurentų šioje srityje Lietuvoje turi, bet pranašumas – cheminio perdirbimo technologijos vystymas rinkoje ir kol kas teorinis gamyboje. Tačiau galima konkurencija su užsienio įmonėmis, pvz.: su Kinijos, kadangi šalyje lyginant su Lietuva pigesnė darbo jėga, kadangi daug didesnis gyventojų skaičius, daugiau kompetentingų žmonių, todėl ir produkto kaina mažesnė nei Lietuvoje. Kolkas nauji dalykai rinkoje yra vertinami itin atsargiai, o kurie jau yra įsitvirtinę rinkoje yra žiūrima palankiau, labiau pasitikima tuo kas yra žinoma, nežinomybė kelia abejones bei baimę. Todėl vienas iš uždavinių būtų supažindinti visuomenę su cheminiu perdirbimu, jog nekristų įmonės veikla rinkoje, nebūtų prarasti klientai plastiko granuliu gamyboje (į ekonominius skaičiavimus cheminis perdirbimas nėra įtraukiamas, kadangi tai naujas procesas, kurio parametrus ir technologiją reikia optimizuoti).

Atlikta SWOT analizė, remiantis šaltiniu internete [48], kuri pateikta 3.8 lentelėje, leidžia įvertinti įmonės, turinčios šią technologiją stiprybes, galimybes bei silpnybes ir grėsmes ir pagal tai sukurti verslui tinkančią veiksmų strategiją.

3.8 lentelė. SWOT analizė

Stiprybės	Silpnybės
Inovatyvi technologija. Žiedinės ekonomikos modelis. Aukštos kokybės produktai, užtikrinti investicijų į tyrimus ir plėtrą. Veiksmingos operacijos. Pozityvus klientų požiūris į įmonės vidinę vertybių sistemą.	Kompetencijų stoka. Specialistų, mokslininkų trūkumas, dirbančių šioje srityje. Technologiniai sunkumai. Įmonių perkančių produktą nepatikimumas.
Galimybės	Grėsmės
Galimybė įdiegti naujas technologijas. Galimybė plėstis rinkoje. Produktų pajėgumas technologiškai keistis, siekiant atitikti besikeičiančius vartotojų poreikius. Galimybė augti dėl didėjančios paklausos rinkoje. Gebėjimas pritaikyti turimus įgūdžius ir praktines žinias, patirtį, kuriant naują produktą.	Užsienio konkurentai, atsiradę dėl mažesnio mokesčio už įėjimą į rinką, pvz.: Kinija. Pirkėjai yra geriau informuoti apie konkurentų produktus, kurie atitinka jų poreikius.

#### 3.3.2. Ilgalaikis turtas

Plastiko granulėms pagaminti reikalingi sudėtingi įrengimai, tokie kai: reaktoriai, rektifikacijos ir degazavimo kolonos, talpos, siurbliai, šilumokaičiai, kondensatoriai, ežektoriai ir kt. Pateikiamas

pagrindinių įrengimų sąrašas (3.9 lentelė) su kainomis, kuris nurodo kokią dalį ilgalaikio turto vertės sudaro įrengimai.

**3.9 lentelė. Įrengimai**

<b>Įrengimo pavadinimas</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Vieneto kaina, EUR</b>
Pastos reaktorius	1	1000000
Esterifikacijos I reaktorius	1	3000000
Esterifikacijos II reaktorius	1	3000000
Polikondensacijos I reaktorius	1	3000000
Polikondensacijos II reaktorius	1	3000000
Rektifikacijos kolona	1	2000000
Degazavimo kolona	1	1800000
PTA talpa	1	100000
PIA talpa	1	100000
Transporteris	2	100000
DEG talpa	1	50000
Panaudoto EG talpa	2	39000
Tarpinė PET talpa	1	46500
Katalizatoriaus saugojimo talpa	1	30000
IR priedo saugojimo talpa	1	30000
Dažiklio saugojimo talpa	1	30000
Stabilizatoriaus saugojimo talpa	1	30000
EG talpa	1	25000
Kondensato talpa	6	38000
Ekstruderis	3	2000000
PET granulių talpa	1	100000
PET amorfinių granulių talpa	1	100000
Išcentrinis siurblys	40	6000
Sraigtinis siurblys	2	5500
Krumpliaratinis siurblys	2	7500
Filtrai	8	5000
Šilumokaitis	13	13000
ežektorius	3	18000
Šilumokaitis	2	10000
Kompresorius	1	150000
Maišymosi kondensatorius	3	85000
Pjaustyklė	3	10000
Proceso vandens talpa	1	10000
Iš viso:		24 941 500

Taip pat reikia įvertinti, kad pastato vertė 8 940 000 EUR ( 1 m<sup>2</sup> kaina 149 EUR ), kėlimo priemonių vertė siekia 1000 000 EUR, yra dar smulkesnių įrengimų kurių vertė 100 000 EUR. Susumavę įrengimus, pastatą ir kt. priemones gauname sumą: 37 981 500,00 EUR – ilgalaikis įmonės turtas.

Taip pat būtina įsivertinti trumpalaikio turto poreikį, pateikiama 3.10 lentelė:

**3.10 lentelė.** Trumpalaikio turto poreikis

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai					
	0	1	2	3	4	5
<b>1. Gamybos kaštai, Eur.</b>		66213661	88284882	88284882	83870638	82987789
<b>2. Apyvartinių lėšų metinis poreikis, Eur</b>		16553415	22071220	22071220	20967659	20746947
<b>3. Apyvartinių lėšų papildomas poreikis, Eur</b>		11587390	5517805	0	-1103561	-220712
<b>4. Apyvartinės lėšos, Eur</b>	4966024	16553415	22071220	22071220	20967659	20746947

### 3.3.3. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinosios pajamos

Gamyba remiasi planavimu, todėl labai svarbu susidaryti kelių metų gamybos apimtį planą. Kadangi tai naujas projektas, nenuostabu, kad pirmaisiais metais priimamas įsisavinimo koeficientas yra 0,8, o jau brandos metais yra lygus 1, kadangi įsisavinami tam tikri gamybos niuansai. Pateikiama 3.11 lentelė:

**3.11 lentelė.** Gamybos apimtis

Projekto metai	Įsisavinimo koeficientas	Gamybos apimtis, tonomis / metus
		PET granulės
1	0,8	400,00
2	1,0	500,00
3	1,0	450,00
4	0,9	450,00
5	0,89	445,00

Labai svarbu įsivertinti gamybos kaštus, kurie gali būti tiesioginiai ir netiesioginiai, kad suprasti kokia yra gaminio savikaina ir kokią dalį sudaro “proceso aptarnavimas”.

### 3.3.4. Tiesioginiai gamybos kaštai

### 3.3.5. Reikalingos žaliavos

Įsivertinama, kokią dalį kaštų sudaro pagrindinės medžiagos, reikalingos PET pagaminti, t. y. tereftalio (PTA) ir izoftalio (PIA) rūgštis, alkoholiai – EG ir DEG, bei priedai – katalizatorius, stabilizatorius, IR-priedas, pateikiamos šių medžiagų kainos, bei produkto kaina. Pateikiama 3.12 lentelė.



**3.12 lentelė. Reikalingos žaliavos**

Medžiagos pavadinimas	Gamybos planas, t/m	1 tonai PET granulių pagaminti reikalingas kiekis žaliavos tonomis	Medžiagos kaina, Eur/1 t.	Medžiagos poreikis tonomis reikalingas gamybos planui įvykdyti	Medžiagų kaštai	
					Eur/1 t.	Iš viso, Eur
<i>1 metai</i>						
PET	142000,00					
PTA		0,85	100,00	120700,00	85,00	12070000,00
PIA		0,02	104,00	120700,00	10,40	12552800,00
DEG		0,009	190,00	1223,19	1,64	232405,72
EG		0,64	100,00	90880,00	64,00	9088000,00
stabilizatorius		0,00001	146,00	1,420	0,001	207,32
katalizatorius		0,00025	1122,00	35,5	0,28	207,32
dažikliai		0,000004	448,00	0,568	0,002	254,46
					153,00	33943874,82
<b>Iš viso</b>						33943874,82
<i>Brandos metai (2 ir 3 metai)</i>						
PET	177500,00					
PTA		0,85	100,00	150875,00	85,00	15087500,00
PIA		0,02	104,00	3550,00	2,08	369200,00
katalizatorius		0,00025	1122,00	44,375	0,28	49788,5
DEG		0,0086	190,00	1528,99	1,64	290507,15
EG		0,64	100,00	113600,00	64,00	11360000,00
stabilizatorius		0,00001	146,00	1,78	0,001	259,15
dažikliai		0,000004	448,00	0,710	0,002	318,08
					153,00	27157573,13
<b>Iš viso:</b>						

3.12 lentelės tęsinys kitame puslapyje

<i>4 metai</i>						
PET	159750,00					
PTA		0,85	100,00	135787,50	85,00	13578750,00
PIA		0,02	104,00	3195,00	2,08	332280,00
katalizatorius		0,00025	1122,00	39,94	0,28	44809,88
DEG		0,0086	190,00	1376,09	1,64	261456,44
EG		0,64	100,00	102240,00	64,00	10224000,00
stabilizatorius		0,00001	146,00	1,598	0,001	233,24
dažikliai		0,000004	44,00	0,639	0,002	28,12
					153,00	24441557,66
<b>Iš viso</b>						13578750,00
<i>5 metai</i>						
PET	157975,00					
PTA		0,85	100,00	134278,75	85,00	13427875,00
PIA		0,02	104,00	3159,50	2,08	328588,00
DEG		0,0086	190,00	1360,80	1,64	258551,36
EG		0,64	100,00	101104,00	64,00	10110400,00
stabilizatorius		0,00001	146,00	1,580	0,00	230,64
dažikliai		0,000004	448,00	0,632	0,00	283,09
katalizatorius		0,00025	1122,00	39,49	0,28	44311,99
Iš viso					153,00	24170240,09

### 3.3.6. Darbo užmokestis

Prie tiesioginių kaštų yra priskiriamas ir darbo užmokestis. Pateikiama 3.13 lentelė, kurioje nurodyta, kaip keičiasi atlyginimai įmonėje per 5 metus.

### 3.13 lentelė. Darbo užmokesčio skaičiavimas

Gaminiai	Gamybos apimtis, t	Gaminio darbo imlumas, nh	Valandinis atlyginimas Eur	Gamybinės programos darbo imlumas, nh	Darbo užmokestis, Eur			Atskaitymai VSD, GF, IDIF Eur*
					Pagrindinis	Papildomas	Bendras	
1 metai								
PET	142000	19,20	5,50	2726400	14995200	1369126	16364326	292921
Brandos metai (2 ir 3 metai)								
PET	177500	24,00	5,50	4260000	2343000	2139260	25569260	457689
4 metai								
PET	159750	21,60	5,50	3450600	18978300,00	1732801	20711101,30	370728
5 metai								
PET	157975	21,36	5,50	3374346	18558903	1694508	20253411	362536

### 3.3.7. Išlaidos elektrai

Pateikiama elektros poreikių 3.14 lentelė bei išlaidos elektrai, kurios reikalingos plastikui gaminti.

### 3.14 lentelė. Elektros energijos poreikis

Įrengimų variklių suminis aktyvinis galingumas, kW,	Variklių galingumo panaudojimo koeficientas	Įrengimų metinis efektyvus darbo laikas, h	Elektros energijos poreikis jėgai, kWh	Elektros 1 kWh kaina, Eur	Išlaidos elektros energijai, Eur
1 metai					
1500,00	0,80	6816,00	27400,00	0,127	3479,8
Brandos metai (2, 3 metai)					
1500,00	0,80	6816,00	34250,00	0,127	4349,75
4 metai					
1500,00	0,80	6816,00	30825,00	0,127	3914,775
5 metai					
1500,00	0,80	6816,00	30482,50	0,127	3871,2775

### 3.3.8. Išlaidos energijai

Šiluminės energijos sunaudojimo kiekis yra minimalus, kadangi proceso metu išsiskiria didelis kiekis šilumos (3.15 lentelė)

### 3.15 lentelė. Energijos poreikis

Gaminiai	Gamybos apimtis, tonomis	Energijos sunaudojimo norma, Gkal / 1t	Energijos kaina, Eur / Gkal	Energijos poreikis, Gkal	Energijos kaštai, Eur
<i>1 metai</i>					
PET	142000,00	0,01	104,40	1420,00	148248,00
<b>Iš viso</b>	142000,00			1420,00	148248,00
<i>Brandos metai (2, 3 metai)</i>					
PET	177500,00	0,01	104,40	1775,00	185310,00
<b>Iš viso</b>	177500,00			1775,00	185310,00
<i>4 metai</i>					
PET	159750,00	0,01	104,40	1597,50	166779,00
<b>Iš viso</b>	159750,00			1597,50	166779,00
<i>5 metai</i>					
PET	157975,00	0,01	104,40	1579,75	164925,90
<b>Iš viso</b>	445,00			1579,75	16492590

### 3.3.9. Netiesioginiai kaštai

### 3.3.10. Darbo užmokestis

Pateikiama 3.16 lentelė su skaičiavimais, rodančiais kokią dalį netiesioginių kaštų sudaro darbo užmokestis.

### 3.16 lentelė. Darbo užmokestis

	Darbuotojų skaičius	Mėnesinis darbo užmokestis, Eur	Pagrindinis DU fondas,	Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	Su darbuotojais susijusios išlaidos, Eur
			Eur		
Pagalbiniai darbininkai	16	800,00	153600,00	2718,72	156318,72
Cechų vadovai, specialistai, technikai	123	2000,00	2952000,00	52250,40	3004250,40
operatoriai	10	1000,00	120000,00	2124,00	122124,00
<b>Iš viso:</b>	149	3800,00	3225600,00	57093,12	3282693,12

### 3.3.11. Vanduo

Priimama, kad 1 darbuotojui per parą apytiksliai reikia 30 l vandens ir pagal tai apskaičiuojamos netiesioginės išlaidos vandeniui, 1 m<sup>3</sup> kaina 1,43 Eur. Pateikiama 3.17 lentelė.

### 3.17 lentelė. Vandens poreikis

Išlaidų pavadinimas	Sunaudojimas per parą, l/1 dirbančiam.	Poreikis metams, m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup> vandens kaina, Eur	Išlaidos vandeniui, Eur
Šaltam vandeniui Šiltam vandeniui	30	4,47	1,43	6,39
<b>Iš viso:</b>				6,39

### 3.3.12. Patalpų šildymui

Apskaičiuojamos išlaidos gamybinių patalpų šildymui, kurios kaip matoma iš lentelės per metus siekia apie 2576 €, priimant, kad šiluminės energijos kaina nekinta. Pateikiama 3.18 lentelė.

### 3.18 lentelė. Patalpų šildymas

Projekto metai	Šiluminės energijos poreikis, Gkal	Šiluminės energijos kaina, Eur/Gkal.	Išlaidos šildymui per metus, Eur	Ekspluatacinės išlaidos, Eur	Iš viso išlaidų, Eur
1	80,00	28,000	2240,00	336,00	2576,00
2	80,00	30,000	2400,00	360,00	2760,00
3	80,00	29,000	2320,00	348,00	2668,00
4	80,00	28,000	2240,00	336,00	2576,00
5	80,00	27,000	2160,00	324,00	2484,00

### 3.3.13. Apšvietimui

Pateikiama 3.19 lentelė, kurioje skaičiuojamos išlaidos patalpoms apšviesti. Gamykloje 6 aukštai po 10 000 m<sup>2</sup>.

### 3.19 lentelė. Patalpų apšvietimas

Projekto metai	Patalpų plotas	Apšvietimo norma, W/m <sup>2</sup>	Energijos kiekis patalpoms apšviesti, kWh	1 kWh kaina, Eur	Išlaidos šildymui per metus, Eur	Ekspluatacinės išlaidos, Eur	Viso išlaidų, Eur
1	60000,00	50,00	3000,00	0,15	450,00	67,50	517,50
2	60000,00	50,00	3000,00	0,15	450,00	67,50	517,50
3	60000,00	50,00	3000,00	0,15	450,00	67,50	517,50
4	60000,00	50,00	3000,00	0,15	450,00	67,50	517,50
5	60000,00	50,00	3000,00	0,15	450,00	67,50	517,50

### 3.3.14. Amortizacija

Į pagaminto produkto vertę perkeliama dalis pagrindinių įrengimų, vertingo inventoriaus, kėlimo, transporto priemonių, nes bėgant metams įrengimai nusidėvi. Skaičiuojama amortizacija (3.20 lentelė).

### 3.20 lentelė. Ilgalaikio turto amortizacija

Ilgalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, Eur	Normatyvinė eksploatacavimo trukmė	Nusidėvėjimo suma, Eur metams					Likutinė vertė, Eur
			1	2	3	4	5	
Pastatai	8940000	25	653307	627175	601043	574910	548778	5934784
inventorius Įrengimai	3000000	10	518181	466363	414545	362727	310909	927272
Darbo mašinos	24941500	12	3645296	3341521	3037746	2733972	2430197	9752766
Kėlimo ir transporto priemonės	1000000	10	172727	155454	138181	120909	103636	309090
Kiti įrengimai	100000	4	38000	28500	19000	9500	0	5000
Iš viso:	37981500		5027512	4619015	4210517	3802019	3393521	16928914

### Apibendrinamos netiesioginės išlaidos

Netiesioginių gamybos išlaidų sąmata pateikiama 3.21 lentelėje.

### 3.21 lentelė. Netiesioginių išlaidų suvesinė

Išlaidų rūšys	Projekto metai				
	1	2	3	4	5
Pagalbinės medžiagos	169719,37	135787,87	135787,87	122207,79	120851,20
Darbo užmokestis	2528455,30	3160569,12	3160569,12	2844512,21	2812906,52
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	292921,45	457689,77	457689,77	370728,71	362536,07
Elektros energija	517,50	517,50	517,50	517,50	517,50
Vanduo	6,39	6,39	6,39	6,39	6,39
Šiluminė energija	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Amortizaciniai atskaitymai	5027512,94	4619015,04	4210517,14	3802019,25	3393521,35

3.21 lentelės tęsinys kitame puslapyje

3.21 lentelės tęsinys

Pagalbinių ir aptarnaujančių tarnybų paslaugos:	258800,00	258800,00	258800,00	258800,00	258800,00
Įrengimų remontas	60000,00	60000,00	60000,00	60000,00	60000,00
Vidaus transporto remontas	20000	20000	20000	20000	20000
Gamybinių cechų pastatų remontas	178800	178800	178800	178800	178800
<b>Iš viso:</b>	8019212,95	8373665,69	7965167,79	7140071,85	6690419,03

### 3.3.15. Gamybos kaštai

Pateikiama apibendrinta gamybos kaštų suvestinė, 3.22 lentelė.

**3.22 lentelė. Gamybos kaštų suvestinė**

Brandos metai 2,3								
Pagrindinės medžiagos	Energija (šiluminė, elektros)	Gamybinių darbininkų (pagrindinių) darbo užmokestis	Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	Gamybinės netiesioginės išlaidos	Viso gamybos kaštų, Eur	Viso gamybos kaštų,%	Produkcijos gamybos planas, t/m	Gaminio (apimties) gamybinė savikaina per metus, Eur
27157573,13	52631519,80	120000,00	2124,00	8373665,69	88284882,62	100,00	1775000	497,38
1 metai								
Viso gamybos kaštų, Eur	Produkcijos gamybos planas, tonos/metus	Gaminio (apimties) gamybinė savikaina per metus, Eur						
66213661,96	142000,00	466,29						
4 metai								
Viso gamybos kaštų, Eur	Produkcijos gamybos planas, tonos/metus	Gaminio (apimties) gamybinė savikaina per metus, Eur						
83870638,49	159750,00	525,01						

3.22 lentelės tęsinys kitame puslapyje



5 metai								
Viso gamybos kaštų, Eur	Produkcijos gamybos planas, tonos/metus	Gaminio (apimties) gamybinė savikaina per metus, Eur						
82987789,66	157975,00	525,32						

### 3.3.16. Veiklos sąnaudos

Apibendrinamos veiklos sąnaudos, į kurias yra įtraukiama reklama, skelbimai, prekių išvežimas, bendrosios sąnaudos ir pateikiama bendra suvestinė, 3.23 lentelė.

#### 3.23 lentelė. Veiklos sąnaudos

Išlaidų rūšys	Pardavimų sąnaudos:	Reklama ir skelbimai	Prekių išvežimas	Bendrosios ir administracinės sąnaudos:	Pagalbinės medžiagos	Administracijos darbuotojų darbo užmokestis	Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	Energija (šiluminė ir elektros)	Amortizaciniai atskaitymai
Suma, €	5000,00	1000,00	4000,00	57324074,84	1000,00	1500,00	2124,00	52631519,80	4619015,04
	<b>Paslaugos</b>	<b>Komandiruotės</b>	<b>Mokesčiai ir rinkliavos</b>						
	10000,00	50000,00	8916,00						
Iš viso: 57329074,84 €									

### Veiklos sąnaudų paskirstymas

Suskaičiuojama kiek sąnaudų reikia pagaminti brandos metais PET granulių (3.24 lentelė).

3.24 lentelė. Veiklos sąnaudos

Rodikliai	Iš viso	Gaminiai
		PET
Gamybos kaštai, %	100,00	100,00
Veiklos sąnaudos, Eur	57329074,84	57329074,84
Pardavimo planas, t	177500,00	177500,00
Gaminiui (tonai) tenkančios veiklos sąnaudos, Eur		322,98

### 3.3.17. Palūkanos ir paskola

Skolinamasi 21,473,762.32 EUR suma. Skaičiuojama kiek reikės kiekvienais metais skirti pinigų paskolai apmokėti. Pateikiama 3.25 lentelė.

3.25 lentelė. Palūkanos ir paskla

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
1. Paskolos suma, Eur.	21473762,32	20507443,02	16212690,55	11917938,09	7623185,62
2. Metinė palūkanų norma, proc.	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
3. Palūkanos, Eur.	966319,30	922834,94	729571,07	536307,21	343043,35
4. Paskolos padengimas, Eur	4294752,46	4294752,46	4294752,46	4294752,46	4294752,46

### 3.3.18. Gaminių kainos

Pateikiama 3.26 lentelė, kurioje skaičiuojama kokia yra gaminio gamybinė savikaina, kokios sąnaudos jam tenka, kokia pilnoji savikaina.

### 3.26 lentelė. Gaminių kainos

Gaminiai	Gaminio gamybinė savikaina,	Gaminiui, tenkančios veiklos sąnaudos,	Gaminiui, tenkančios investicinės veiklos sąnaudos, Eur	Gaminio pilnoji savikaina, Eur	Pelnas		Kaina, Eur/t
	Eur	Eur	Eur		%	Eur/t	Eur
<i>1 metai</i>							
PET	466,29	403,73	6,81	876,82	10,00	87,68	964,51
<i>Brandos metai (2, 3 metai)</i>							
PET	497,38	322,98	5,20	825,56	20,00	16,11	990,67
<i>4 metai</i>							
PET	525,01	358,87	0,01	883,89	15,00	132,58	1016,47
<i>5 metai</i>							
PET	525,32	362,90	2,17	890,39	15,00	133,56	1023,95

### 3.3.19. Pelno nuostolio ataskaita

Pateikiama bendra pelno nuostolio suvestinė (3.27 lentelė).

#### 3.27 lentelė. Pelno nuostolio lentelė

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
1. Pardavimų pajamos	136959961,72	175844150,87	175844150,87	162381407,66	161758894,03
2. Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	66213661,96	88284882,62	88284882,62	83870638,49	82987789,66
3. Bendras pelnas (nuostolis)	70746299,76	87559268,26	87559268,26	78510769,17	78771104,37
4. Veiklos sąnaudos	57329074,84	57329074,84	57329074,84	57329074,84	57329074,84
5. Veiklos pelnas (nuostolis)	13417224,92	30230193,41	30230193,41	21181694,33	21442029,53
6. Finansinė ir investicinė veikla	966319,30	922834,94	729571,07	536307,21	343043,35
6.1. Pajamos					
6.2. Sąnaudos					
7. Pelnas (nuostolis) prieš apmokestinimą	12450905,61	29307358,48	29500622,34	20645387,12	21098986,18
8. Pelno mokestis	1867635,84	4396103,77	4425093,35	3096808,07	3164847,93
9. Grynas pelnas (nuostolis)	10583269,77	24911254,71	25075528,99	17548579,05	17934138,25

### 3.3.20. Pinigų srautų ataskaita

Lentelėje 3.28 matome kai kiekvienais metais kito pinigų srautai įmonėje.

### 3.28 lentelė. Pinigų srautų ataskaita

	Rodikliai	Projekto metai					
		0	1	2	3	4	5
I.	Pinigų srautai iš įmonės veiklos						
1.1.	Grynasis pelnas (nuostolis)		10583269,7	24911254,7	25075528,9	17548579,1	17934138,3
1.2.	Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos		5027512,9	4619015,0	4210517,1	3802019,3	3393521,4
1.3.	Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą	4966024,7	11587390,8	5517805,2	0,0	-1103561,0	-220712,2
1.4.	Finansinės veiklos sąnaudų eliminavimas*		5261071,8	5217587,4	5024323,5	4831059,7	4637795,8
	Grynieji pinigų srautai iš įmonės veiklos (1.1+1.2 - 1.3 - 1.4)	-4966024,7	-1237679,9	18794877,2	24261722,6	17623099,7	16910575,9
II.	Pinigų srautai iš investicinės veiklos						
2.1.	Ilgalaikio turto perleidimas (įsigijimas)	37981500,0					16928914,3
	Grynieji pinigų srautai iš investicinės veiklos	-37981500,0					16928914,3
III.	Bendri metiniai pinigų srautai (I+II)	-42947524,7	-1237679,9	18794877,2	24261722,6	17623099,7	33839490,3

#### 3.3.21. Paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai

3.29 lentelėje pateikti apskaičiuoti paprastų ir diskontuotų pinigų srautai, kuriais reimiantis skaičiuojamas atsipirkimo laikas, vidinė pelno norma, pelningumo indeksas.

**3.29 lentelė.** Paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai

Projekto metai	Paprasti GPS		Diskontuoti GPS	
	metiniai GPS	bendri GPS	metiniai GPS	bendri GPS
0	-42947524,65	-42947524,65	-42,947,52465 €	-42,947,524.65 €
1	-1237679,91	-44185204,55	-1,174,130.11 €	-44,121,654.76 €
2	18794877,18	-25390327,37	16,914,348.15 €	-27,207,306.61 €
3	24261722,59	-1128604,78	20,713,109.10 €	-6,494,197.51 €
4	17623099,65	16494494,88	14,272,953.26 €	7,778,755.75 €
5	33839490,27	50333985,15	25,999,395.22 €	33,778,150.98 €

**3.30 lentelė.** Pagrindiniai rodikliai

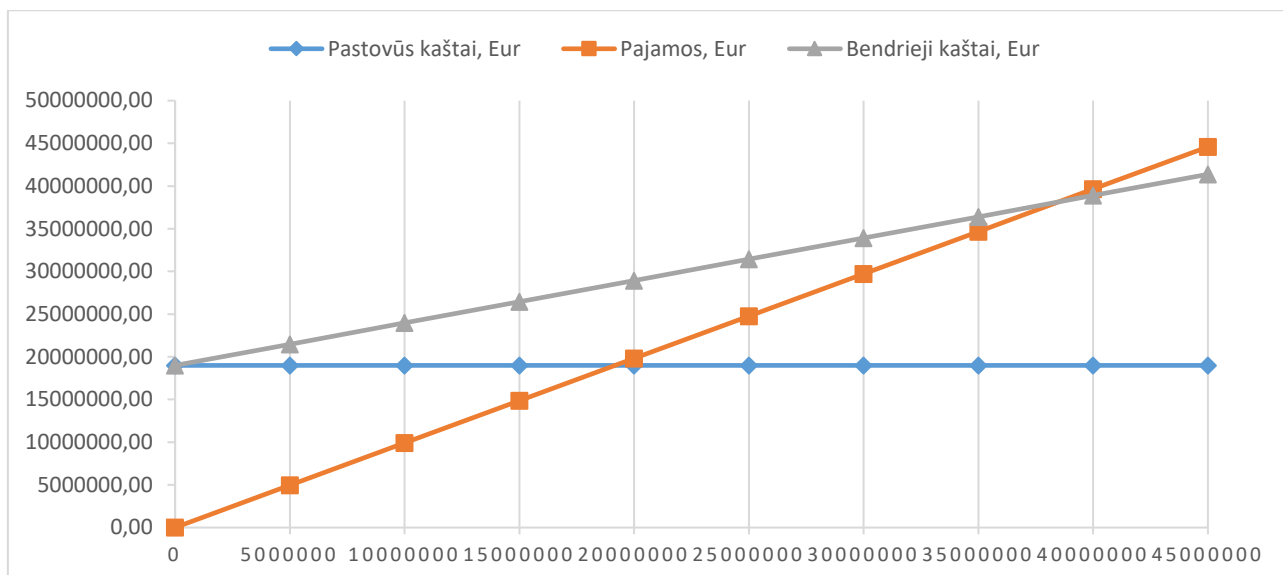
Rodikliai	Matavimo vienetai	Reikšmės
Diskontuotas atsipirkimo laikas	metai	3,46
Grynoji esamoji vertė (GEV)	tūkst. Eur	33778150,98 €
Vidinė pelno norma (IRR)	%	24,00 %
Modifikuota vidinė pelno norma (MIRR)	%	6,55 %
Pelningumo indeksas (PI)	koeficientas	1,79

Apskaičiuojamas lūžio taškas.

Reikalingi parametrai lūžio taškui apskaičiuoti pateikiami 3.31 lentelėje.

**3.31 lentelė.** Parametrai reikalingi lūžio taško apskaičiavimui.

Rodikliai	Gaminio pavadinimas
Pastoviųjų kaštų suma, priskirta gaminiui Eur	18990750000,00
Gaminio kaina, Eur	990,67
Gaminio kintamieji kaštai, Eur	497,38
Lūžio taškas	38498016
Pardavimų planas, t	177500000,00



3.12 pav. Lūžio taškas

Pateikiama projekto balanso 3.32 lentelė.

3.32 lentelė. Projekto balansas

Projekto gyvavimo metai	0	1	2	3	4	5
0	-42947524	-42947524	-42947524	-42947524	-42947524	-42947524
1		-1237679	-1237679	-1237679	-1237679	-1237679
2			18794877	18794877	18794877	18794877
3				24261722	24261722	24261722
4					17623099	17623099
5						33839490
Būsimieji GPS	-42947524	-44185204	-25390327	-1128604	16494494	50333985

Apibendrinami projekto finansiniai ir ekonominiai rodikliai ir pateikiama 3.33 lentelė.

**3.33 lentelė.** Apibendrinami projekto finansiniai ir ekonominiai rodikliai

	Produkcijos pardavimo apimtis, brandos stadijoje:	PET	Pardavimų pajamos, Eur	Įmonės personalas, žmonėmis:	tame skaičiuje darbininkai	Darbo našumas, Eur:	Dirbančiojo	Darbininko
Projekte		177500,00	175844150,87	149,00	16,00	1180162,09	1322136,47	10990259,43
	Vidutinis metinis darbo užmokestis, Eur	Gamybos kaštai, Eur	Gaminio pilnoji savikaina, Eur:	PET	Grynasis pelnas, Eur	Papildomas pelnas, gautas įgyvendinus projektinius sprendimus:	Investicijų apimtis, Eur	Bendrasis pelningumas, %
	3345,60	88284882,62	825,56	825,56	24911254,71		922834,94	49,79
	Veiklos pelningumas, %	Grynasis pelningumas, %	Investicijų grąža, %	Veiklos rentabilumas, %	Apyvartų skaičius per metus	Apyvartos trukmė, dienomis	Produkcijos imlumas	Projekto kapitalo kaštai, %
	17,19	14,17	41,48	17,11	22071220,65	90,00	124,34	42947524,65
	Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas, metais	Projekto grynoji esamoji vertė, Eur.	Vidinė pelno norma, %	Modifikuota vidinė pelno norma, %	Pelningumo indeksas			
	3,46	33778150,98	24,00%	6,55%	1,79			

### 3.4. Aplinkosauginis vertinimas

Pastaraisiais dešimtmečiais sparčiai padidėjo plastiko gamyba ir jo poreikiai kasdieniame gyvenime. Labiausiai paplitusi plastikų rūšis – termoplastikai sudaro apie 80% viso pasaulyje pagaminamo plastiko. Tokie plastikai dažnai sutinkami kasdien kaip gėrimų pakuotės, maisto pakuotės, tekstilės pluoštai, įvairios konstrukcijos bei dangos. O didžiąją termoplastikų pramonės dalį, apie 18 % visų plastikų, sudaro polietilentereftalatas, kuris yra trečias po polietileno (PE) ir polipropileno (PP). Remiantis „The National Association of PET Container Resources“ pranešimu, 2015 metais Jungtinėms Amerikos Valstijoms buvo parduota PET butelių už 5971 milijonus svarų.

#### 3.4.1. Žaliavos ir energija

Plastiko gamybai – PET pagrindinės medžiagos yra PTA ir EG, taip pat naudojami įvairūs priedai, tam, kad pagerinti plastiko savybes. Pateikiama PET gamybai naudojamų žaliavų suvestinė su medžiagų pavojingumo kategorijomis (3.34 lentelė) ir energetinių išteklių suvestinė (3.35 lentelė).

3.34 lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavas

Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Kiekis per metus, t	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklavimas <sup>5</sup>		
		kategorija	pavojaus nuoroda	rizikos frazės
PTA	151606,300	Neklasifikuojama	-	-
PIA	3213,460	Neklasifikuojama	-	-
Dietilenglikolis	1528,855	Kenksminga	Xn	R22, R48/22
Etilenglikolis	113248,550	Kenksminga	Xn	R22
Raudonas dažiklis	0,355	Kenksminga	Xn	R22
Mėlynas dažiklis	0,355	Kenksminga	Xn	R22
Fosforo rūgštis	1,775	Ėsdinanti/ardanti	C	R34
Stibio oksidas	44,375	Kenksminga	Xn	R20/22, R40

Iš pateiktos lentelės duomenų matoma, kad PET gamybai reikalingos medžiagos, tokios kaip EG, DEG, dažikliai bei priedai yra kenksmingos ir daro neigiamą poveikį aplinkai.

3.35 lentelė. Duomenys apie energetinėms reikmėms naudojamus išteklius

Energetiniai ir technologiniai ištekliai	Matavimo vnt. kWh	Sunaudojamas kiekis per metus	Išteklių gavimo šaltiniai
Elektros energija	kWh	12158750	Klaipėdos elektros tinklai

#### 3.4.2. Tarša

Plastiko gamybos metu pasireiškia įvairios taršos – fizinė, atliekų, oro bei vandens.

<sup>5</sup> Duomenys iš duomenų bazės [65].



### 3.4.3. Fizinė tarša

Gamykloje yra įrenginių bei transporto priemonių, kurios atveža žaliavas, reikalingas gamybai, kurie skleidžia fizinę taršą, o tai kaip žinoma daro neigiamą poveikį žmogui (pateikiama 3.36 lentelė).

**3.36 lentelė.** Konkrečios veiklos sąlygojama fizinė

Taršos rūšis	Taršos šaltinio pavadinimas	Taršos šaltinių skaičius	Taršos šaltinio skleidžiamas taršos lygis	Priemonės taršai mažinti
Triukšmas	Kompresorius	1	80 dB	85dB
Triukšmas	sunkiosios autocisterninės mašinos./parą žaliavos (PTA) pristatymui;	33	80–90 dB	85dB
Triukšmas	Sunkioji autocisterninės mašinos./parą žaliavos (PIA) pristatymui;	1	80–90 dB	85dB
Triukšmas	Sunkioji autocisterninės mašinos./parą žaliavos (DEG) pristatymui	1	80–90 dB	85dB
Triukšmas	Sunkiųjų autocisterninės mašinos./parą žaliavos (EG) pristatymui;	20	80–90 dB	85dB
Triukšmas	Sunkiųjų autocisterninės mašinos./parą produkcijos (PET) transportavimui;	40	80–90 dB	85dB

Galima daryti išvadą, kad didžiausią fizinę taršą skleidžia transportas, skirtas transportuoti žaliavas ir produktą. Priimta., kad viso sunkiosios autocisternos yra vienodo tipo.

Sunkvežimio triukšmo lygis priklauso nuo to, kiek jis yra pakrautas ir kaip greitais jis važiuoja [49].

Šios lentelės duomenys viršija leistinas triukšmo ribos vertes, kurios pateiktos Darbuotojų saugos ir sveikatos dalyje. O siekiant išvengti transporto triukšmo galima sodinti želdinius.

### 3.4.4. Atliekos ir jų tvarkymas

3.37 lentelė. Atliekos, atliekų tvarkymas

Technologinis procesas	Atliekos pavadinimas	Atliekų kiekis t/metus	Atliekų agregatinė būseną	Atliekų kodas pagal atliekų sąrašą <sup>6</sup>
Nepertraukiama polikondensacija	Panaudotas EG	34,7	skystis	D8, D10, D14
Nepertraukiama polikondensacija	PET luitai ir gabaliukai, PET dulkės, plastikų atliekos	120,0	kieta	R1, R10, R11, D1, D10, D13, D14
Nepertraukiama polikondensacija	Priedų atliekos	21,0	kieta	D10, D14

Didžiausias atliekų kiekis susidaro gamybos proceso metu – tai polikondensacijos metu naudojamas EG, susidarę PET luitai, PET atliekos bei dulkės, taipogi priedai (stabilizatorius, katalizatorius, dažikliai, IR-priedas) tai galima matyti 3.37 ir 3.38 lentelėje.

3.38 lentelė. Atliekos, atliekų tvarkymas 3.37 lentelės tęsinys

Atliekų pavojingumas	Atliekų saugojimo objekte laikymo sąlygos	Atliekų saugojimo objekte didžiausias kiekis	Numatomi atliekų tvarkymo būdai
H14 ekotoksiškos	Speciali talpykla	0,5 t	Valymas
nepavojinga	Speciali talpykla	10 t	Perdirbimas
H14 ekotoksiškos	Speciali talpykla	0,5 t	Utilizavimas

Atliekos – PET atliekos (luitai, dulkės) yra sandėliuojamos specialiuose konteineriuose, o jiems prisipildžius yra išvežamos perdirbimui. Panaudotas EG yra valomas, o vėliau pakartotinai panaudojamas procese – taip ir sutaupoma, o priedų atliekos yra utilizuojamos.

### 3.4.5. Vanduo ir jo tarša

3.39 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>
Klaipėdos vandenys	Gamybai	450	164250
Klaipėdos vandenys	Teritorijos plovimui	2	24
Klaipėdos vandenys	Buičiai	204	74533

Didžioji dalis vandens sunaudojama gamybiniuose procesuose. O sunaudoto vandens kiekis yra lygus nuotekų kiekiui šiuo atveju (3.39 ir 3.40 lentelė).

<sup>6</sup> Literatūros šaltinis [67].

### 3.40 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> /m	Teršalo pavadinimas	Teršalo kiekis t/m
Teritorija	2	24	Teritorijos plovimo nuotekos	24
Buitinės patalpos	204	74533	Buitinės nuotekos	74533

PET gamyboje į orą yra išmetamos atliekos per ventiliacijos sistemą, taip pat jų susidaro žaliavų iškrovimo darbo vietose. Duomenys pateikiami 3.41 lentelėje.

### 3.4.6. Aplinkos oro tarša

#### 3.41 lentelė. Aplinkos oro tarša

Proceso (taršos šaltinio) pavadinimas	Teršalo pavadinimas	Išmetamųjų dujų temperatūra, °C	Išmetamųjų dujų tūrio debitas Nm <sup>3</sup> /s	Teršalų išmetimo trukmė val./min
Polikondensacijos reaktorius	Ventiliacijos sistema	15	0,006	8760
Žaliavų iškrovimas	Iškrovimo darbo vieta	14	0,100	483
	Iškrovimo darbo vieta	14	0,100	3650

Skyrely pateikiama informacija remiantis Magistro baigiamojo darbo metodiniais nurodymais. Cheminės technologijos fakulteto Chemijos inžinerijos studijų programos magistrantams [50].

Skyrelio išvados: Remiantis pateiktais sukonkretintais rezultatais galima daryti išvadą, kad plastiko gamyba daro įtaką aplinkai – kelia fizinę taršą, oro bei vandens. Proceso metu yra naudojamos medžiagos, kurios yra kenksmingos, ėsdinančios ir ardančios, todėl turi būti atidžiai kontroliuojamas procesas, kad nepadaryti neigiamo poveikio aplinkai.

## 4. Darbuotojų sauga ir sveikata

### 4.1. Projektuojamo objekto charakteristika

UAB „Orion Global PET“ – viena didžiausių gamybinių įmonių Lietuvoje, kuri gamina PET granules. Įmonė įsikūrusi Klaipėdos laisvojoje ekonomikos zonoje – Metalo gatvėje 16 ir užima 1,37 ha žemės ploto. Granulių gamybai naudojamos ir saugomos tokios medžiagos:

tereftalio rūgštis – tai yra organinis junginys, kuris neturi kvapo. Pavidalas – baltos spalvos kristaliukai, kurie patekę į akis ar ant odos sukelia jų dirginimą bei įvairias alergines reakcijas, galimas kvėpavimo takų dirginimas, prarijus didelį kiekį – sukelia pykinimą ir viduriavimą. Ši rūgštis yra netirpi vandenyje, nedegi ir nesprogi, tik atitinkamas kiekis ore gali sudaryti sprogį aplinką, tačiau normaliomis sąlygomis tereftalio rūgštis išlieka stabili. Būtina laikyti sandariai uždarytose talpyklose, vėsioje ir sausoje vietoje [5].

etilenglikolis – tai yra organinis junginys, agregatinė būsena – skystis. Prarijus šį skystį galima mirtinai apsinuodyti, nes jis yra kenksmingas ir nuodingas, jis gali dirginti odą bei absorbuotis per ją. O garai gali turėti narkotinių medžiagų poveikį, sukelti kvėpavimo takų dirginimą, galvos svaigimą ar skausmą, paveikti CNS, dirginti akis. Etilenglikolis gali užsidegti jei yra atvira liepsna, jo garavimas intensyvėja jei aplinkos temperatūra ima kilti. Saugomas polietileninėse ar plieninėse sandariai uždarytose talpose ar konteineriuose, o didžiausia leistina koncentracija aplinkos ore yra 1 mg/m<sup>3</sup> [5].

Naudojami priedai: – izoftalio rūgštis – tai baltos spalvos medžiaga, agregatinė būsena – kieti kristaliukai, nedegūs. Izoftalio rūgštis turi būti saugoma pakuotėje, kuri privalo būti apsaugota nuo tiesioginių saulės spindulių, sausoje ir vėsioje vietoje, kurią būtina gerai vėdinti, atokiau nuo nesuderinamų medžiagų. Nėra žinomas poveikis žmogui [5].

dietilenglikolis – tai skystis, kuris yra kenksmingas. Juo galima mirtinai apsinuodyti – prarijus ar išgėrus. Sukelia galvos skausmą bei svaigimą, slopina centrinę nervų sistemą, dirgina odą, kvėpavimo takus ir akis. Nėra klasifikuojamas kaip degus skystis, bet gali užsidegti nuo atviros liepsnos. Nesprogus, nes mažas garavimo greitis, bet kylant temperatūrai jo garavimas intensyvėja. Būtina saugoti sandariai uždarytose talpose [5].

katalizatorius – stibio oksidas, kristaliniai balti milteliai, bekvapiai ir nedegūs, nesprogūs bei nesioksiduojantys. Priskiriama prie 2 kategorijos kvėpavimo takų kancerogenų. Medžiaga nuodinga, sukelia odos, akių, kvėpavimo takų dirginimą, kelia pavojų sveikatai. Įtariama, kad gali sukelti vėžį įkvėpus. Būtina sandėliuoti gerai uždarytose talpose, vėsioje ir sausoje vietoje, kuri privalo būti gerai vėdinama [5].

IR-priedas – titano nitridas. Tai yra polimerų priedas, kuris yra juodos spalvos, nedegus skystis, prarijus – kenksmingas. Prastai vėdinamose mažose patalpose jo garai gali pasiekti koncentraciją, kuri gali sukelti galvos svaigulį ir skausmą, gali dirginti kvėpavimo takus, odą ir akis, sukelti pykinimą.. Svarbu laikyti sandariai uždarytose pakuotėse, sausoje ir vėsioje vietoje, kuri privalo būti gerai vėdinama [5].

stabilizatorius – fosforo rūgštis – tai skaidrus ir klampus skystis. Gali smarkiai nudeginti odą ir pažeisti akis, ėsdinti metalus. Būtina laikyti gumuotose plieno talpose, sandariai uždarytose, svarbu

saugoti nuo tiesioginių saulės spindulių, o patalpas, kuriose naudojamas, būtina labai gerai vėdinti [5].

Kadangi tai gamybinė įmonė, kuri gamina plastiką, tai jos sanitarinės apsaugos dydis yra 800 metrų [51].

#### **4.2. Profesinės rizikos vertinimas**

Profesinę riziką būtina įvertinti todėl, kad svarbu yra nustatyti esamą ar galimą riziką darbe, tam kad galima būtų ją pašalinti, o jei negalima – tada įdiegti prevencijos priemonės, kad darbuotojai būtų apsaugoti nuo rizikos arba ji būtų sumažinta [52].

Galima išskirti 5 rizikos veiksnių grupes, susijusias su darbuotojų sauga ir sveikata, projektuojamoje įmonėje: fizikinė, fizinė, cheminė, ergonominė ir psichosocialinė rizika.

Cheminis veiksnys – cheminė medžiaga arba junginys, gali būti grynas ar mišinyje. Gali būti natūraliai išgaunamas arba sintetinamas, išsiskiriantis į aplinką, įskaitant atliekas, bet kokio gamybinio proceso metu, pagamintas tikslingai ar ne, teikiamas rinkai ar ne [53].

Ergonominis veiksnys – tai veiksnys, kuri nusako įtaką, kuri daroma žmogaus kūnui – fizinio darbo krūvis ir įtampa bei darbo vietos pritaikymas darbuotojo galimybėms [53].

Fizikinis veiksnys – veiksnys, kurį sudaro fizikinių veiksnių kitimai aplinkoje [53].

Fizinis veiksnys – kelia pavojų dėl netinkamo darbo vietos įrengimo ar darbo priemonių, jų judančių dalių, kėlimo įrangos, keliamo krovinio, transporto priemonių, krentančių daiktų fizinio poveikio, taip pat dėl galimo sprogimo, gaisro, statinių stabilumo ir tvirtumo neužtikrinimo [53].

Psichosocialinis veiksnys – veiksnys, kuris dėl darbo sąlygų, darbo reikalavimų, darbo organizavimo, darbo turinio, darbuotojų tarpusavio ar darbdavio ir darbuotojo tarpusavio santykių sukelia darbuotojui psichinį stresą [53].

Profesinės rizikos veiksniai pateikiami 4.1 lentelėje:

**4.1 lentelė. Profesinės rizikos veiksniai**

<b>Rizikos veiksnys, keliantis pavojų profesinei saugai ir sveikatai</b>	<b>Rizikos veiksnio atsiradimo ar veikimo vieta</b>	<b>Rizikos veiksnio dydis (lygis), matavimo vienetais</b>	<b>Rizikos veiksnio leidžiamas dydis (lygis), ribinė vertė, matavimo vienetas</b>	<b>Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis</b>	<b>Prevencijos priemonės būtinumas</b>
<b>Fizikiniai veiksniai</b>					
Apšvietimas	Gamybinės ir administracinės patalpos.	Gamybinės patalpose 280lx, administracinės patalpose 490lx. Priimtina.	Gamybinės patalpose 300lx, administracinės patalpose 500lx [54].	12 h./pamainą.	Būtina. Šviestuvai.
Darbo vietos šiluminė aplinka	Gamybinės patalpos.	Šaltasis metų laikotarpis – oro temperatūra 21 °C, Oro santykinis drėgnumas – 40%, Oro judėjimo greitis ne daugiau kaip 0,1 m/s, šiltuoju keičiasi tik temperatūra 23°C. Priimtina.	Ib: Šaltasis sezonas – oro temperatūra 21–23 °C, Oro santykinis drėgnumas – 40–60 %, Oro judėjimo greitis ne daugiau kaip 0,1 m/s, šiltuoju keičiasi tik temperatūra 22–24°C [55].	12 h./pamainą.	Būtina. Darbo apranga.
Triukšmas	Gamybinės patalpos.	Priimtina.	$L_{EX, 8h} = 87$ dB, $LEX, 8h = 85$ dB $LEX, 8h = 80$ dB(A) [56].	Atėjus į gamybinės patalpas. 1 h./pamainą.	Būtina – ausinės.
Vibracija	Gamybinės patalpos.	Rankas veikianti vibracija: kasdienio 8 valandų darbo laiko trukmei 3 $m/s^2$ ; o viso kūno – 0,8 $m/s^2$ . Priimtina.	Rankas veikianti vibracija: kasdienio 8 valandų darbo laiko trukmei neturi viršyti 5 $m/s^2$ ; o viso kūno – neturi viršyti 1,15 $m/s^2$ arba veikiančios vibracijos dozės vertė neturi viršyti 21 $m/s^{1,75}$ [57].	Atėjus į gamybinės patalpas. 1 h./pamainą.	Būtina – specialūs kilimėliai, avalynė, antivibracinės pirštinės.

4.1 lentelės tęsinys kitame puslapyje

<b>Cheminiai veiksniai</b>					
<b>Rizikos veiksnys, keliantis pavojų profesinei saugai ir sveikatai</b>	<b>Rizikos veiksnio atsiradimo ar veikimo vieta</b>	<b>Rizikos veiksnio dydis (lygis), matavimo vienetais</b>	<b>Rizikos veiksnio leidžiamas dydis (lygis), ribinė vertė, matavimo vienetas</b>	<b>Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis</b>	<b>Prevencijos priemonės būtinumas</b>
Cheminių medžiagų ir technologinių garų bei skysčių nuotėkis ir/arba išsiliejimas, sprogimo ir gaisro sukėlimas	Sandėlis, gamybinės patalpos.	Priimtina.	Pateikiami ilgalaikio poveikio IPRD: Acetaldehidas 25 ppm, EG – 10 ppm, DEG – 10 ppm, Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,5 mg/m <sup>3</sup> , Izoftalio r. – 0,2 mg/m <sup>3</sup> , H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – 1 mg/m <sup>3</sup> . [58].	12 h./pamainą.	Būtina. Vidiniai ir išoriniai auditai, mokymai, apsauginės priemonės (darbo drabužiai, akiniai, pirštinės).
<b>Fiziniai veiksniai</b>					
Įkaitę paviršiai	Gamybinės patalpos.	Priimtina.	–	Atėjus į gamybinės patalpas. 1 h / pamainą.	Būtina. Įkaitusios dalys privalo būti atitvertos, uždengtos apsaugais ir turi būti įspėjamieji ženklai.s
Slėgio veikiami įrengimai	Gamybinės patalpos.	Priimtina.	Didžiausias slėgis, kuriam, kaip nurodo gamintojas, įrenginys yra suprojektuotas [59].	Atėjus į gamybinės patalpas. Max. 2 h. / pamainą.	Būtina. Avarinis išjungimas, apsauginis vožtuvas.
<b>Ergonominiai ir psichosocialiniai veiksniai</b>					
Darbo poza	Operatoriaus darbo vieta, administracijos.	Priimtina.	-	12 h./pamainą.	Būtina. Specialūs pratimukai, kūno dalims – specialios pertraukos.
Darbo emocinė įtampa	Didelis dėmesio koncentravimas. Vadovaujančias pareigas užimantys asmenys patiria stresą.	Priimtina.	-	8 h – 12 h./pamainą.	Būtina. Poilsis, sportas, planavimas.

4.2 lentelėje pateikiami sandėliuojamų medžiagų, reikalingų PET gamybai, gaisrinio pavojingumo rodikliai, o remiantis šios lentelės duomenimis pateikiama 4.3 lentelė.

**4.2 lentelė.** Gaisrinio pavojingumo rodikliai

Medžiagų pavadinimas	Sunaudojama per dieną (pagaminama), t	Temperatūra, °C		Sprogios koncentracijos riba, %	
		pliūpsnio	savaiminio užsiliepsnojimo	žemutinė	viršutinė
Etilenglikolis (HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH)	319,01	111	410	1,8	12,8
Teraftalio rūgštis (C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOH) <sub>2</sub> )	427,00	-	496	-	-
Izoteraftalio rūgštis (C <sub>8</sub> H <sub>6</sub> O <sub>4</sub> )	9,05	-	-	-	-
Dietilenglikolis ((HOCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> O)	4,30	140	345	0,7	22
Mineralinė alyva šildymui	Cirkuliuoja 280,00 m <sup>3</sup>	110	612	-	-
Stibio trioksidas (Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,125	-	-	-	-
Fosforo rūgšties tirpalas (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	0,005	-	-	-	-
Mėlynas dažiklis	0,001	-	-	-	-
Raudonas dažiklis	0,001	-	-	-	-

Pagal lentelės duomenis matoma, kad darbo metu yra realus pavojus ir gali kilti gaisras, kadangi gamybos procese yra naudojamos degios medžiagos, o proceso temperatūros yra aukštos. Todėl priešgaisrinė sauga yra būtina – nuolatos vyksta patikros, analizuojamos gamyklos oras.

**4.3 lentelė.** Patalpų kategorija pagal sprogo ir gaisro pavojų, vietos zona

Objekto, kuriam suteikiama kategorija, klasifikuojama pavojinga vieta, pavadinimas	Požymis, nulemiantis kategoriją, pavojingos vietos zoną	Kategorija, pavojingos vietos zona
Žaliavų sandėlis	Nedegios kietos medžiagos	E <sub>g</sub>
Žaliavų dozavimas	Nedegios kietos medžiagos	E <sub>g</sub>
Gamybinės patalpos	Degūs skysčiai, dulkės	B <sub>sg</sub>
EG ir DEG saugojimo talpos	Degūs skysčiai	B <sub>sg</sub>
Pakavimo zona	Nedegios medžiagos	E <sub>g</sub>
Produkto saugojimo talpos	Nedegios medžiagos	E <sub>g</sub>
Mechaninės dirbtuvės	Nedegios medžiagos	E <sub>g</sub>
Kompresorinė	Įrenginiuose naudojama mineralinė alyva	C <sub>g</sub>

Remiantis lentelių duomenimis matoma, kad gamybinėse patalpose yra realus pavojus, todėl būtina užtikrinti saugią gamybą ir imtis visų prevencinių priemonių, skirtų apsisaugoti nuo nelaimingų



atsitikimų, būtina dėvėti asmenines apsaugos priemones. Darbuotojai periodiškai instruktuojami darbo saugos ir sveikatos specialistų.

Pastatas pagal sprogo ir gaisro pavojų priskiriamas B<sub>sg</sub> kategorijai.

### 4.3. Saugi gamyba

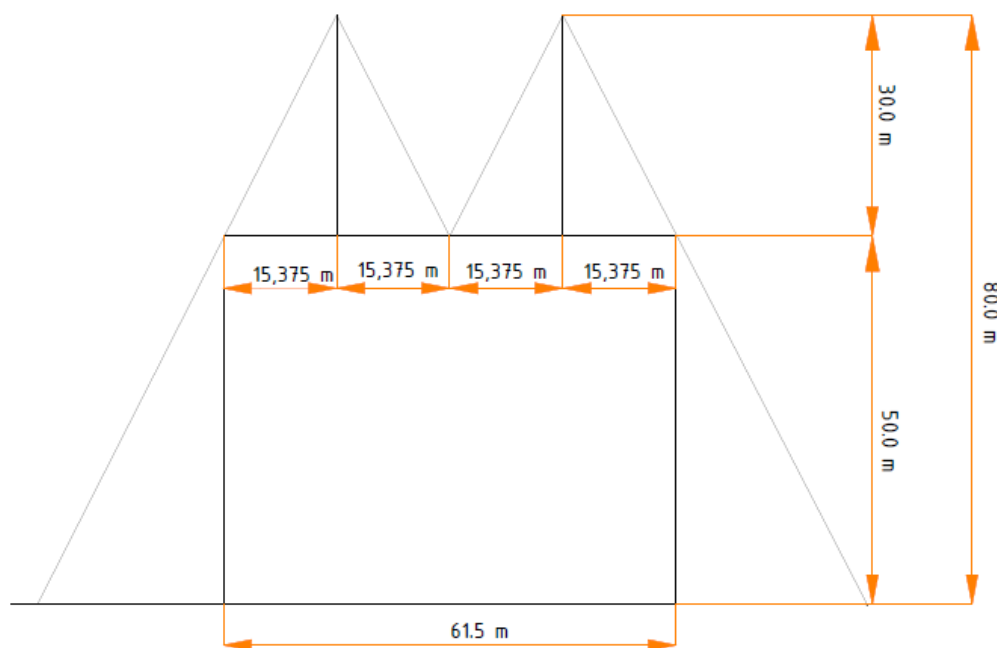
Gamyklos pastatams apsaugoti yra naudojami žaibolaidžiai, kurio paskirtis į pastatą nukreiptus žaibo smūgius sulaikyti ir tą žaibo srovę nukreipti į žemę. B<sub>sg</sub> tipo pastatų išorinei apsaugai naudojami atskirai stovintys žaibolaidžiai [63] – šiuo atveju priimama, kad žaibolaidis yra dviejų strypų tipo [60], 80 metrų aukščio ir apsaugos patikimumas yra 0,95, pastato ilgis 61,5 m, aukštis 50 m.

$$h_0 = 0,92 \times h = 0,92 \times 80 \text{ m} = 73,6 \text{ m};$$

$$r_0 = 1,5 \times h = 1,5 \times 80 \text{ m} = 120,0 \text{ m};$$

$$r_x = 1,5 \times \frac{(h-h_x)}{0,92} = 1,5 \times \frac{(80 \text{ m}-50 \text{ m})}{0,92 \text{ m}} = 48,9 \text{ m}.$$

h – žaibolaidžio aukštis (80 m); h<sub>0</sub> – apsaugos zonos konuso viršūnės aukštis (73,6 m) ; h<sub>x</sub> – apsaugomo objekto aukštis (50 m); r<sub>x</sub> – apsaugomos zonos riba aukštyje (48,9 m) h<sub>x</sub>; r – apsaugomos zonos riba žemės paviršiuje. Pateikiama žaibolaidžio schema (4.1 pav.). [60]



4.1 pav. Dviejų strypų žaibo apsaugos zona

Žaibolaidžių tikrinimas vyksta kas 4 metus, o apžiūra kas 2 metus [60].

### 4.4. Darbo higiena

Siekiant užtikrinti komfortišką aplinką darbuotojams – būtina laikytis nustatytų higienos reikalavimų ir sumažinti iki minimalios ribos cheminius, fizinius, fizikinius, ergonominius ir psichosocialinius

rizikos veiksnius. Remiantis rizikos veiksnių poveikiu, kiekvienam darbuotojui privaloma išduoti asmenines apsaugines priemones bei kolektyvines. Būtina atkreipti dėmesį į tai, kad šios priemonės, turi būti nuolatos tikrinamos ir bandomos saugos darbe norminių aktų nustatytais terminais. Darbo metu kiekvieno darbuotojo asmeninės apsaugos priemonės turi būti darbo vietoje. Remiantis Lietuvos Respublikos įstatymais ir reglamentais yra aptariami rizikos veiksniai įmonėje ir jų leistinos vertės.

Įmonėje atliekamų darbų sunkumo kategorija priskiriama I<sub>b</sub> grupei ,todėl remiantis HN 69:2003 yra apibrėžiamos temperatūros, santykinis drėgnumas, oro judėjimo greitis šiltuoju ir šaltuoju sezonu (4.4 lentelė) [61]:

#### 4.4 lentelė. Šiluminė aplinka

Sezonas	Oro temperatūra, °C	Oro santykinis drėgnumas, %	Oro judėjimo greitis, m/s
Šiltasis	22–24	40–60	Ne daugiau kaip 0,1
Šaltasis	21–23	40–60	Ne daugiau kaip 0,1

Šiltuoju metų laikotarpiu visi oro santykinio drėgnumo parametrai taikytini kiekvienai darbo kategorijai. Šiuo atveju, didžiausias oro judėjimo greitis leidžiamas prie aukščiausios oro temperatūros, mažiausias – prie žemiausios oro temperatūros. Šaltuoju metų laikotarpiu būtina įrengti darbo vietų apsaugą nuo šalto oro, sklindančio nuo įstiklintų langų paviršiaus. Šiltuoju metų laikotarpiu būtina įrengti darbo vietų apsaugą nuo tiesioginių saulės spindulių.

Remiantis regos darbų reikalavimais (HN 98:2014) ir praktiniais eksperimentais bei atsižvelgiant į elektros sąnaudas yra nustatytos ribinės apšvietos vertės projektuojamoje įmonėje:

- gamybinės patalpose 300–500 lx (IV regos darbų kategorija),
- pultinė 500–750 lx (IV regos darbų kategorija),
- laboratorija (II regos darbų kategorija) mažiausiai 1000 lx,
- sandėlyje 50–200 lx (VIII regos darbų kategorija),
- administracinės patalpose 500–750 lx (III regos darbų kategorija) [62].

Pagal higienos normas HN 23:2011 aptariamos cheminės medžiagos naudojamos gamyboje (4.5 lentelė).

**4.5 lentelė.** Cheminių medžiagų ribiniai dydžiai

Cheminė medžiaga	Ilgalaikio poveikio ribinis dydis mg/m <sup>3</sup>	Trumpalaikio poveikio ribinis dydis, mg/m <sup>3</sup>	Neviršytinas ribinis dydis mg/m <sup>3</sup>	Poveikis darbuotojo sveikatai
Etilenglikolis	25	50	-	O <sup>7</sup> Silpnas dirginimas, nurijus – pykinimas, vėmimas, galvos svaigimas, nuovargio pojūtis, koordinacijos praradimas, inkstų pažeidimai [5].
Dietilenglikolis	45	90	-	O <sup>3</sup> Toksiškai veikia: kepenis, inkstus, sukelia vėmimą [5].
Tereftalio rūgštis				Dirginantis, galimybė kepenų, inkstų, širdies pažeidimams [5].
Izofталio rūgštis	0,2	-	-	J <sup>8</sup> O <sup>3</sup> Dirginantis [5].
Stibio oksidas	0,5	-	-	Dirginimas, galvos skausmas, svaigimas, pykinimas [5].
Fosforo rūgštis	1	2	-	O <sup>3</sup> Sukelia cheminius nudegimus [5].
Titano nitridas	-	-	-	-

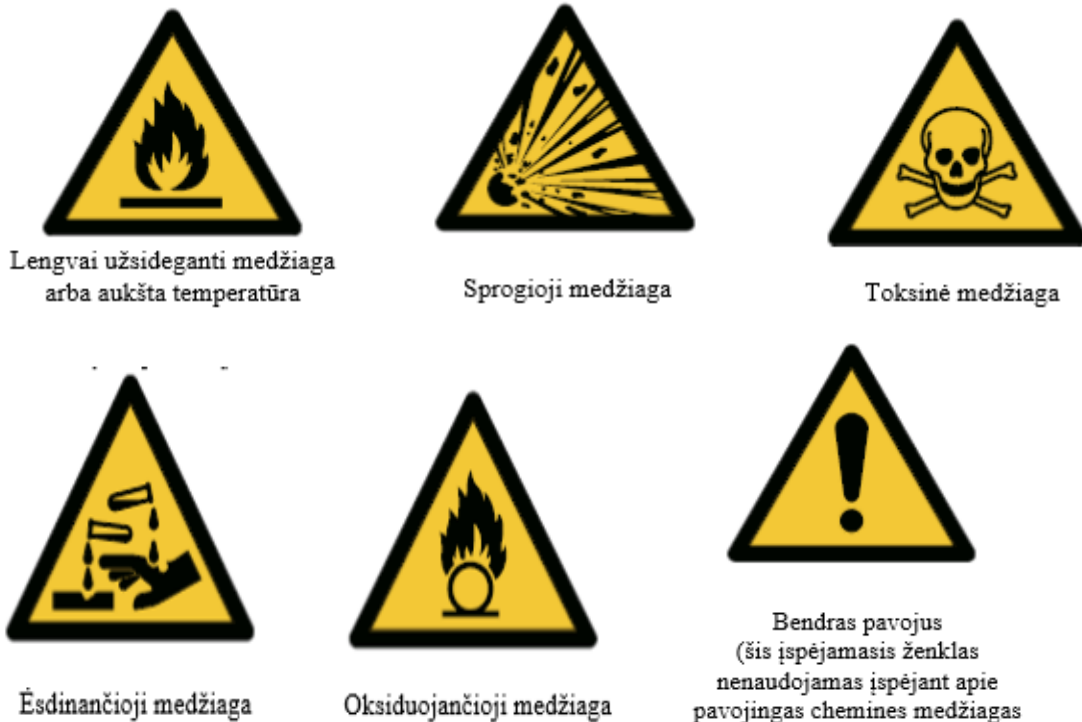
Apsaugos priemonės reikalingos dirbant gamykloje:

- galvos apsauga – apsauginiai šalmi;
- pėdų apsauga – apsauginiai batai su metalu bato priekyje;
- kvėpavimo takų apsauga – respiratoriai (dirbant su biriomis medžiagomis);
- klausos apsauga – ausinės;
- kūno, rankų ir plaštakų apsauga – apsauginiai drabužiai (šviesą atspindintys), pirštinės [63].

Vietose, patalpose arba aptvertose teritorijose, kur saugomas didelis kiekis pavojingų medžiagų ir (arba) mišinių, jeigu gamintojo tara arba talpyklos neturi reikiamo ženklinimo, būtina naudoti tinkamą išpėjamąjį ženklą, pateikiami keli variantai [64]:

<sup>7</sup> O – medžiaga į organizmą gali prasiskverbti pro nepažeistą odą

<sup>8</sup> J – jautrinantis poveikis



Gamykloje leidžiami triukšmo dydžiai yra tokie:

- ribinė ekspozicijos vertė  $LEX,8h = 87$  dBA;
- viršutinė ekspozicijos vertė  $LEX,8h = 85$  dBA;
- apatinė ekspozicijos vertė  $LEX,8h = 80$  dBA [65].

Rankas veikianti vibracija:

- ribinė kasdienio veikimo vertė paskaičiuota aštuonių valandų darbo laiko trukmei neturi viršyti  $5 \text{ m/s}^2$ ;
- kasdienio veikimo vertė darbo procese paskaičiuota aštuonių valandų darbo laiko trukmei neturi viršyti  $2,5 \text{ m/s}^2$  [57].

Visą kūną veikianti vibracija:

- ribinė kasdienio veikimo vertė paskaičiuota aštuonių valandų darbo laiko trukmei neturi viršyti  $1,15 \text{ m/s}^2$  arba veikiančios vibracijos dozės vertė neturi viršyti  $21 \text{ m/s}^{1,75}$ ;
- kasdienio veikimo vertė darbo procese paskaičiuota aštuonių valandų darbo laiko trukmei neturi viršyti  $0,5 \text{ m/s}^2$  arba veikiančios vibracijos dozės vertė neturi viršyti  $9,1 \text{ m/s}^{1,75}$  [57].

Būtinios apsaugos priemonės, kurios gamybinėse patalpose apsaugo nuo vibracijos: specialūs kilimėliai, batai.

## 4.5. Gaisrinė sauga

Gamykloje gali kilti A, B, C tipo gaisrai (pateikiama 4.6 lentelė) [66]. Todėl turi būti užtikrinamas priešgaisrinės saugos reikalavimų laikymasis, o kilus gaisrui privaloma imtis priemonių jo gesinimui, gelbėti žmones, apsaugoti įmonės turtą [67].

**4.6 lentelė.** Gaisro klasė ir medžiaga, kuri gesina gaisrą

Klasė	Gaisro	Ugnį gesinanti medžiaga					
	Charakteristika	Vanduo	Putos	Dujos	Milteliai		
					ABC tipo	BC tipo	D tipo
A	Kietųjų medžiagų gaisrai, kai degimo metu susidaro anglis	+	+	-	++	-	-
B	Skystųjų arba galinčių suskystėti kietųjų medžiagų gaisrai	-	++	+	++	++	-
C	Dujų gaisrai	-	-	+	++	++	-
D	Metallų gaisrai	-	-	-	-	-	++

Čia: „++“ – veiksmingiausia gaisro atveju, „+“ – veiksminga gaisro atveju, „-“, – ne taip veiksminga gaisro atveju.

Įmonėje organizuojami šie darbuotojų instruktažai gaisrinės saugos klausimais: įvadinis (bendras), periodinis (darbo vietoje), papildomas (darbo vietoje) [67].

Įvadinis instruktažas turi būti organizuojamas darbuotojams, pradantiems eiti pareigas ar dirbti, o periodinis instruktažas darbo vietoje – ne rečiau kaip kartą per 12 mėnesių [67].

Už padalinių gaisrinę saugą atsakingi padalinių vadovai, kurie privalo:

- garantuoti gaisrinės saugos taisyklių ir kitų gaisrinę saugą reglamentuojančių dokumentų reikalavimų vykdymą, nustatyti priešgaisrinį režimą ir reikalauti, kad visi darbuotojai jo laikytųsi;
- garantuoti, kad objektui būtų parengtos gaisrinės saugos instrukcijos;
- organizuoti darbuotojų instruktavimą gaisrinės saugos klausimais;
- pasirūpinti, kad objekte būtų gaisro gesinimo priemonės, ir garantuoti, kad jos veiktų ir būtų parengtos darbui;
- garantuoti, kad turima priešgaisrinė technika operatyviai būtų naudojama gaisrui gesinti bet kuriuo paros metu;
- aprūpinti objektą nurodomaisiais bei įspėjamaisiais ženklais;
- garantuoti nustatytą priešgaisrinį režimą;

- tikrinti teritoriją, pastatus ir patalpas, evakuacijos kelius, priešgaisrinius tarpus, vandens tiekimą gaisrui gesinti, pirminių gaisro gesinimo priemonių tinkamumą darbui, pastebėtus trūkumus nedelsdamas privalo pašalinti;
- garantuoti, kad baigus darbą patalpose ir darbo vietose būtų tvarka, išjungti elektros įrenginiai, išskyrus tuos, kurie turi veikti visą parą [5].

#### Kiekvienas įmonės darbuotojas privalo:

- žinoti darbo vietos gaisrinės saugos instrukcijas;
- laikytis nustatyto priešgaisrinio režimo objekte;
- darbo metu naudotis tvarkingais darbo įrankiais, prietaisais ir įrenginiais;
- baigęs darbą sutvarkyti, išvalyti darbo vietą ir išjungti nenaudojamus įrenginius [5].

#### Bendri reikalavimai ir taisyklės įmonėje:

1. Visi įmonės pastatai ir patalpos turi būti tvarkingi gaisrinės saugos atžvilgiu. Įmonės pastatų viduje įrengti gaisriniai čiaupai, o lauke – hidrantai [67,5].

2. Visose gamyklos pastatuose įrengtos gaisrinės signalizacijos bei automatizuoti analizatoriai aplinkos orui kontroliavimui. Patikros vykdomos kiekvieną dieną [67,5].

3. Kiekviename gamybos aukšte po dešimt putų B tipo 6 kg gesintuvų (iš viso 6 aukštai), nedegus audeklas yra privalomas [67]. Elektros įrenginius reikia gesinti dujų ir miltelių ABC tipo gesintuvais [5,67].

Gesintuvai turi būti laikomi lengvai prieinamose ir matomose vietose, ne arčiau kaip per 1 m nuo šildymo prietaisų ir įrenginių; kabinami ne aukščiau kaip per 1,5 m nuo grindų iki gesintuvo apačios ir taip, kad atidarytos patalpos durys netrukdytų jų paimti; statomi gaisrinių čiaupų spintelėse arba prie jų, gaisriniuose skyduose arba ant grindų, laikomi specialiose spintelėse, dėžėse ar stovuose; laikomi taip, kad būtų matyti užrašai. Gesintuvai, esantys lauke arba nešildomoje patalpoje, turi būti pritaikyti eksploatuoti esant žemai temperatūrai.

4. Kadangi vieno gamybinio pastato aukšto plotas apie 10 000 m<sup>2</sup>, todėl yra įrengti specialūs skydai, kuriuose yra laikoma 2 gesintuvai, 2 kibirai, smėlis, kastuvai, nedegus audeklas (kurio matmenys 0,9–1,8 m), laužtuvai, 2 kirviai. Skydas įrengtas visiems prieinamoje ir matomoje vietoje [5,67].

5. Visi evakuaciniai perėjimai ir išėjimai turi būti neužkrauti, paruošti žmonėms evakuoti. Kiekviename aukšte po 2 evakuacinius išėjimus. Taip pat koridoriuose turi būti evakuacijos kryptį nurodantys ženklai „Išėjimas“, kurie išdėstyti taip, kad iš bet kurios patalpos vietos gerai būtų matomi. Visos evakuacinės durys turi lengvai atsidaryti evakuacijos kryptimi. Draudžiama jas užkalti ar užrakinti iš lauko. Iš vidaus durys turi lengvai atsidaryti bet kuriuo paros metu [5,67].

6. Kilus gaisrui, draudžiama naudoti lifthus ir keltuvus žmonėms evakuoti [5,67].

7. Gamybinėse patalpose nuo įrenginių turi būti valomos dulksės, pūkai ir kitos degios atliekos. Metalų drožlės ir panaudotos valymo medžiagos turi būti sudedamos į metalines uždaromas dėžes, kurias pamainai pasibaigus išnešamos iš patalpų [5,67].

8. Rūsiuose ir cokoliniuose aukštuose draudžiama laikyti suslėgtų dujų balionus, lengvai užsiliepsnojančius ir degius skysčius, sprogstamąsias bei kitas pavojingas medžiagas, kurios sprogstą ir dega sąveikaudamos su vandeniu, deguonimi ar viena su kita, ir degimo metu nuodingus produktus išskiriančias medžiagas [5,67].
9. Rūkyti leidžiama tik tam tikslui skirtose ženklais pažymėtose ir tinkamai įrengtose vietose, kuriose yra indas nuorūkoms dėti [5,67].
10. Draudžiama naudotis atvira ugnimi gaisro atžvilgiu pavojingose patalpose [5,67].
11. Kai kabeliai ir vamzdžiai kerta statybines konstrukcijas, angos tarp jų ir konstrukcijų užsandarinamos nedegiomis medžiagomis per visą konstrukcijos storį [5,67].
12. Gaisro ir sprogdimo atžvilgiu pavojingose patalpose esantys vėdinimo įrenginiai privalo turėti distancinio valdymo įrenginį, kuriuo būtų galima pasinaudoti gaisro ar avarijos atveju [5,67].

## Išvados

1. Išanalizavus literatūros šaltinius, cheminiam perdirbimui vykdyti parinkta glikolizės reakcija, kadangi ši reakcija yra gana paprasta, lengva pritaikyti gamyboje, kadangi depolimerizacija vykdoma su etilenglikoliu, kuris jau yra naudojamas granulių gamyboje, todėl papildomai rūpintis ir sandėliuoti papildomos medžiagos nebereikia. Gautą monomerą paprastą įjungti į polietilentereftalato amorfinių granulių gamybos procesą.
2. Atlikus eksperimentus su skirtingais katalizatoriais, iš gautų tyrimų rezultatų matoma, kad naudojant cinko acetato katalizatorių išėja yra didžiausia.
3. Nubraižyta cheminio perdirbimo technologinė linija, kuri teoriškai galėtų būti įdiegta į amorfinių PET granulių gamybos procesą. Perdirbtas plastikas būtų tiekiamas į esterifikacijos II reaktorių. Siekis būtų palaikyti grynų ir perdirbtų žaliavų santykį 3:1.
4. Plastiko granulių ir cheminio perdirbimo procesams reikalinga įranga: reaktoriai – pastos, esterifikacijos I,II, polikondensacijos I,II, išcentriniai, krumpliaratiniai bei sraigtiniai siurbliai, ežektoriai, orapūtės, džiovyklos, kondensatoriai, filtrai, šilumokaičiai. Detalus jų skaičius ir specifikacijos pateiktos prieduose esančiose lentelėse.
5. Nubraižytas pagrindinių įrengimų statybinis brėžinys ir pateiktas sklypo planas. Brėžinius galima rasti prieduose.
6. Atliktas PET amorfinių granulių aplinkosauginis vertinimas – plastiko gamyba daro įtaką aplinkai – kelia fizinę taršą, oro bei vandens. Proceso metu yra naudojamos medžiagos, kurios yra kenksmingos, ėsdinančios ir ardančios, todėl turi būti atidžiai kontroliuojamas procesas, kad nepadaryti neigiamo poveikio aplinkai.
7. Įvertina darbuotojų sauga ir sveikata ir nustatyta, kad įmonėje galimi fizikiniai, fiziniai, cheminiai, ergonominiai bei psichosocialiniai veiksniai, kurie plačiau aptarti 7 skyriuje. Pateikti duomenys apie gamybinio pastato patalpų bei pačio pastato sprogimo ir gaisro pavojų. Suprojektuotas 2 strypų žaibolaidis. Nurodoma, kad labai svarbu darbo vietoje naudoti asmenines apsaugos priemonės. Šioje projektuojamoje gamykloje gali kilti A, B, C tipo gaisrai.
8. Atlikti amorfinių PET granulių gamybinio proceso ekonominiai skaičiavimai. Žinoma, kad norint pagaminti 500 t amorfinių PET granulių sunaudojama 34250 kW elektros energijos. Įmonėje dirba 149 darbuotojai. Projekto atsiperkamumas yra 4 metai. Kiti svarbūs rodikliai pateikti skyrelyje finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai.

Suprojektuota amorfinių polietilentereftalato amorfinių granulių technologinė linija, kurios našumas 500 t / d, bei pasiūlyta technologinės linijos modernizacija – cheminio perdirbimo technologinė linija.



## Literatūros sąrašas

1. Simsek B., Uygunoglu T., Korucu H., Kocakerim M.M. Performance of dioctyl terphalate concrete. Abstract. [Žiūrėta 2021.02.16] Prieiga per:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081026762000116>
2. PETRA, PET Resin Association [Žiūrėta 2021.02.16] Prieiga per:  
<http://www.petresin.org/aboutpet.asp>
3. Interviu su Orion Global chemiku inžinieriumi.
4. OSTRAUSKAITĖ, JOLITA, GRAŽULEVIČIUS, VIDAS, JUOZAS. Polimerinių atliekų grįžtamasis perdurbimas. Kaunas, Vitae Litera, 2007. ISBN 978-9955-686-26-2.
5. Orion Global PET įmonės vidinė informacija.
6. Navarro, R., Ferrándiz, S., López, J., & Seguí, V. J. (2008). The influence of polyethylene in the mechanical recycling of polyethylene terephthalate. *Journal of Materials Processing Technology*, 195(1-3), 110–116. [Žiūrėta 2021.02.16] Prieiga per:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013607004761>
7. McKeen, L. W. (2017). Polyester Plastics. *Permeability Properties of Plastics and Elastomers*, 95–114. [Žiūrėta 2021.02.16] Prieiga per:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323508599000063>
8. [Žiūrėta 2021.03.16] Prieiga per:  
<https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch06/final/c06s06-2.pdf>
9. ŽEMAITAITIS, ALGIRDAS. *Polimerų fizika ir chemija*. Kaunas, Technologija, 2001. ISBN 9955-09-052-9
10. Orion Global PET operatoriaus mokymo medžiaga
11. Paszun, D., & Szychaj, T. Chemical Recycling of Poly(ethylene terephthalate). *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 1997 36(4), 1373–1383. doi:10.1021/ie960563c [Žiūrėta 2021.02.21] Prieiga per:  
<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ie960563c>
12. Pacheco, E. B. A. V., Ronchetti, L. M., & Masanet, E. An overview of plastic recycling in Rio de Janeiro. *Resources, Conservation and Recycling*, 2012, 60, 140–146. [Žiūrėta 2021.02.23] Prieiga per:  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911002643?casa\\_token=Dmcfy4ciQK4AAAAA:oAWEtFplmWTDcl0scuEdeiUUS5Q82k1Cs1ypHixn1lth\\_JKaQoD1EcwKK2SIfhYJg4hQt3tQTY](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911002643?casa_token=Dmcfy4ciQK4AAAAA:oAWEtFplmWTDcl0scuEdeiUUS5Q82k1Cs1ypHixn1lth_JKaQoD1EcwKK2SIfhYJg4hQt3tQTY)
13. Awaja, F., & Pavel, D. *Recycling of PET*. *European Polymer Journal*, 41(7), 1453–1477. doi:10.1016/j.eurpolymj.2005.02.005  
<https://sci-ub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014305705000728>
14. OSTRAUSKAITĖ, JOLITA, GRAŽULEVIČIUS, VIDAS, JUOZAS. *Polimerinių atliekų grįžtamasis perdurbimas*. Kaunas, Vitae Litera, 2007. ISBN 978-9955-686-26-2.
15. S.H. Park, S.H. Kim, *Poly(ethylene terephthalate) recycling for high value added textiles*, *Fash. Text.* 1, 2014 1e17.
16. B. Suleiman, N. Ismarubie bt Zahari, A. Shaheem, Reduction of plastic waste in Maldives by implementing mechanical recycling, *Int. J. Emerg. Technol. Adv. Eng.* 6 (1) (2016) 219e231
17. S.M. Al-Salem, P. Lettieri, J. Baeyens, Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): a review, *Waste Manag.* 29 (2009) 1625e1643

18. J. Scheirs, Recycling of PET in: *Polymer Recycling: Science, Technology and Applications*, in: Wiley Series in Polymer Science, J. Wiley & Sons, Chichester, UK, 1998
19. A.M. Al-Sabagh, F.Z.Yehia, G. Eshaq, A.M. Rabie, A.E. ElMetwally, *Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate*, Egypt. J. Petrol. 25 (1) (2016) 53e64
20. Al-Sabagh, A. M., Yehia, F. Z., Eissa, A.-M. M. F., Moustafa, M. E., Eshaq, G., Rabie, A.-R. M., & ElMetwally, A. E. (2014). Glycolysis of Poly(ethylene terephthalate) Catalyzed by the Lewis Base Ionic Liquid [Bmim][OAc]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53(48), 18443–18451. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie503677w>
21. Hui Wang ,Yanqing Liu , Zengxi Li, Xiangping Zhang, Suojiang Zhang , Yanqiang Zhang Glycolysis of poly(ethylene terephthalate) catalyzed by ionic liquids, 2009, *European Polymer Journal*. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per: <http://sourcedb.ipe.cas.cn/zw/lwlb/200908/P020090901281390251116.pdf>
22. V. Sinha, M.R. Patel, J.V. Patel, Pet waste management by chemical recycling:a review, *J. Polym. Environ.* 18 (2010) 8e25.
23. D. Paszun, T. Spychaj, Chemical recycling of Polyethyleneterephthalate, *Ind. Eng. Chem. Res.* 36 (4) (1997) 1373e1383.
24. J. Scheirs, Recycling of PET in: *Polymer Recycling: Science, Technology and Applications*, in: Wiley Series in Polymer Science, J. Wiley & Sons, Chichester, UK, 1998
25. S.F. Puztaszeri, US 4 355 175, 1982.
26. G.P. Karayannidis,A.P. Chatziavgoustis,D.S.Achilias, Poly(ethyleneterephthalate) recycling and recovery of pure terephthalic acid by alkaline hydrolysis, *Adv. Polym. Technol.* 21 (4) (2002) 250e259.
27. S.R. Shukla, K.S. Kulkarni, Depolymerization of poly(ethyleneterephthalate) waste, *J. Appl. Polym. Sci.* 85 (2002) 1765e1770.
28. G.P. Karayannidis, D.S. Achilias, Chemical recycling of poly(-ethylene terephthalate), *Macromol. Mater. Eng.* 292 (2007) 128e146.
29. V. Sinha, M.R. Patel, J.V. Patel, Pet waste management by chemical recycling:a review, *J. Polym. Environ.* 18 (2010) 8e25.
30. T. Spychaj, D. Paszun, Sposób Chemicznej Degradacji Poli(tereftalanu Etylenu), 1995. *Pol. Pat.* 179018, B1
31. W. Sulkowski, J. Ossowski, B. Makarucha, Aminolysis of Waste Poly(ethylene Terephthalate), Technical University of Wroclaw, Ser Conferences, *Plastics Recycling*, Wroclaw, 2000, pp. 117e123
32. E. Fabrycy, A. Leistner, T. Spychaj, Neue Epoxid-harter aus PET-abfallen, *Adhesion* 44 (4) (2000) 35e39.
33. L. Bartolome, M. Imran, B.G. Cho, W.A. Al-Masry, D.H. Kim, Chapter 2 e Recent developments in the chemical recycling of PET, in: D.D. Achilias (Ed.), *Material Recycling e Trends and Perspectives*, In Tech, 2012, pp. 65e84
34. SIMONA NICA, ANAMARIA HANGANU, ANCA TANASE, MONICA DULDNER, STELA IANCU, CONSTANTIN DRAGHICI, PETRU IVAN FILIP, EMERIC BARTHA. Glycolytic Depolymerization of Polyethylene Terephthalate (PET) Wastes, 2015. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1049.3731&rep=rep1&type=pdf>
35. Xi, G., Lu, M., & Sun, C. (2005). Study on depolymerization of waste polyethylene terephthalate into monomer of bis(2-hydroxyethyl terephthalate). *Polymer Degradation and*

- Stability, 87(1), 117–120. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2004.07.017. [Žiūrėta 2021.02.28]  
 Prieiga per:  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391004002484?casa\\_token=C8KX7T-f9asAAAAA:z7sDS\\_s0Nc8IPQc8MDK-ds8r3m71puNB6tT-YgdYJhHnZlyn5f4VOWDWZa1i5cjx6xw1N-pkATw](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391004002484?casa_token=C8KX7T-f9asAAAAA:z7sDS_s0Nc8IPQc8MDK-ds8r3m71puNB6tT-YgdYJhHnZlyn5f4VOWDWZa1i5cjx6xw1N-pkATw)
36. Ghaemy, M., & Mossaddegh, K. (2005). Depolymerisation of poly(ethylene terephthalate) fibre wastes using ethylene glycol. *Polymer Degradation and Stability*, 90(3), 570–576. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2005.03.011. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per:  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139100500162X?casa\\_token=pxSw6OTZdkEAAAAA:ZeKs3uEhGOnFUBwe9J5OXiIeBC37l2kyikCcpkxlvvy0pTgrMLKxphVAEP1Aaydt6LuuNxBLBCYo](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139100500162X?casa_token=pxSw6OTZdkEAAAAA:ZeKs3uEhGOnFUBwe9J5OXiIeBC37l2kyikCcpkxlvvy0pTgrMLKxphVAEP1Aaydt6LuuNxBLBCYo)
  37. Navnath D. Pingale Vikrant S. Palekar S. R. Shukla, Glycolysis of postconsumer polyethylene terephthalate waste, 2010. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per:  
[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.31092?casa\\_token=L5dfAfXpPpkAAAAA%3AkGLCnKHn8zPIHocf0U0KbNcOFOj6iD6GapyaK1GIIdZzSSY6XNYshWAzd9zJJaKV8wqeuLdBqxXdB0str](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.31092?casa_token=L5dfAfXpPpkAAAAA%3AkGLCnKHn8zPIHocf0U0KbNcOFOj6iD6GapyaK1GIIdZzSSY6XNYshWAzd9zJJaKV8wqeuLdBqxXdB0str)
  38. K. Troev G. Grancharov R. Tsevi I. Gitsov, A novel catalyst for the glycolysis of poly(ethylene terephthalate), 2003. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per:  
[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.12711?casa\\_token=oVk07yTCnBYAAAAA%3A5IEkxIEytJbnXRNX5gQ4Ueuv4n\\_cZwnP0fQKFlx1Cz8nZGsQEV9OqI2we5S-F36qPPCsK5de8-3jxuu](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.12711?casa_token=oVk07yTCnBYAAAAA%3A5IEkxIEytJbnXRNX5gQ4Ueuv4n_cZwnP0fQKFlx1Cz8nZGsQEV9OqI2we5S-F36qPPCsK5de8-3jxuu)
  39. S. R. Shukla Ajay M. Harad, Glycolysis of polyethylene terephthalate waste fibers, 2005. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per:  
[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.21769?casa\\_token=hUU4MmH5PoAAAAA%3Amq0x27CIkSdOB15yQppHph220loLCP9rX0Bm1E98WzScC8q7FArqaAK9c92jqB4ibzwEBYM4hTkY1JYx](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.21769?casa_token=hUU4MmH5PoAAAAA%3Amq0x27CIkSdOB15yQppHph220loLCP9rX0Bm1E98WzScC8q7FArqaAK9c92jqB4ibzwEBYM4hTkY1JYx)
  40. Mir Mohammad Alavi Nikje Fatemeh Nazari, *Microwave-assisted depolymerization of poly(ethylene terephthalate) [PET] at atmospheric pressure*, 2007. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/adv.20080>
  41. López-Fonseca, R., Duque-Ingunza, I., de Rivas, B., Flores-Giraldo, L., & Gutiérrez-Ortiz, J. I. (2011). Kinetics of catalytic glycolysis of PET wastes with sodium carbonate. *Chemical Engineering Journal*, 168(1), 312–320. doi:10.1016/j.cej.2011.01.031. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894711000581>
  42. F. Hubert, G. Durand, G. Tersac, Equilibria in the alcoholysis reactions of terephthalic esters and chemical valorization of polyethylene terephthalate waste. I. Equilibrium constants determination, *J. Appl. Polym. Sci.* 72 (1999) 329e340
  43. López-Fonseca, R., Duque-Ingunza, I., de Rivas, B., Arnaiz, S., & Gutiérrez-Ortiz, J. I. Chemical recycling of post-consumer PET wastes by glycolysis in the presence of metal salts. *Polymer Degradation and Stability*, 2010, 95(6), 1022–1028. [Žiūrėta 2021.02.07] Prieiga per:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014139101000114X>
  44. Balandis A., Kantautas A., Leskauskas B., Vaickelionis G., Valančius Z. *Chemijos inžinerija 1 knyga*. ISBN 9955-25-100-X. Leidykla Technologija 2006.
  45. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per: <https://www.transvac.co.uk/how-an-ejector-works/>

46. [Žiūrėta 2021.02.28] Prieiga per: <http://www.solidliquid-separation.com/pressurefilters/Candle/candle.htm>
47. Juodagalvienė B., Gerdžiūnas P., Kvietkauskas R., Statybinė braižyba. Leidykla Technika, 2001, Vilnius.
48. [Žiūrėta 2021.05.18] Prieiga per: <https://indexfund.lt/profesionali-ssgg-analize/>
49. KROVININIŲ AUTOMOBILIŲ SUKELIAMO TRIUKŠMO BEI DEGALŲ SAŃAUDŲ TYRIMAS. Magistrantūros studijų baigiamasis darbas
50. Magistro baigiamojo darbo metodiniai nurodymai. Cheminės technologijos fakulteto Chemijos inžinerijos studijų programos magistrantams. [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://www.ebooks.ktu.lt/eb/1286/magistro-baigiamojo-darbo-metodiniai-nurodymai-chemines-technologijos-fakulteto-chemijos-inzinerijos-studiju-programos-magistrantams/>
51. LIETUVOS RESPUBLIKOS SPECIALIŲJŲ ŽEMĖS NAUDOJIMO SĄLYGŲ ĮSTATYMAS 2019 m. birželio 6 d. Nr. XIII-2166 Vilnius. [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/46c841f290cf11e98a8298567570d639>
52. PROFESINĖS RIZIKOS VERTINIMO BENDRIEJI NUOSTATAI. 2012 m. spalio 25 d. įsakymas Nr. A1-457/V-961 [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.435935?jfwid=rivwzvpvg>
53. LIETUVOS RESPUBLIKOS SOCIALINĖS APSAUGOS IR DARBO MINISTRAS LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRAS ĮSAKYMAS DĖL PROFESINĖS RIZIKOS VERTINIMO BENDRŲJŲ NUOSTATŲ PATVIRTINIMO 2012 m. spalio 25 d. Nr. A1-457/V-961 Vilnius
54. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRAS ĮSAKYMAS DĖL LIETUVOS HIGIENOS NORMOS HN 98:2014 „NATŪRALUS IR DIRBTINIS DARBO VIETŲ APŠVIETIMAS. APŠVIETOS MAŽIAUSIOS RIBINĖS VERTĖS IR BENDRIEJI MATAVIMO REIKALAVIMAI“ [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.101854/asr>
55. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRAS ĮSAKYMAS DĖL LIETUVOS HIGIENOS NORMOS HN 69:2003 „ŠILUMINIS KOMFORTAS IR PAKANKAMA ŠILUMINĖ APLINKA DARBO PATALPOSE. PARAMETRŲ NORMINĖS VERTĖS IR MATAVIMO REIKALAVIMAI“ [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
56. Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai. Valstybės žinios, 2005, Nr.531804 [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.254877?jfwid=q8i88m7to>
57. LIETUVOS RESPUBLIKOS SOCIALINĖS APSAUGOS IR DARBO MINISTRO IR LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRO ĮSAKYMAS DĖL DARBUOTOJŲ APSAUGOS NUO VIBRACIJOS KELIAMOS RIZIKOS NUOSTATŲ PATVIRTINIMO 2004 m. kovo 2 d. Nr. A1-55/V-91 Vilnius
58. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRO IR LIETUVOS RESPUBLIKOS SOCIALINĖS APSAUGOS IR DARBO MINISTRO ĮSAKYMAS DĖL LIETUVOS HIGIENOS NORMOS HN 23:2011 „CHEMINIŲ MEDŽIAGŲ PROFESINIO POVEIKIO RIBINIAI DYDŽIAI. MATAVIMO IR POVEIKIO VERTINIMO BENDRIEJI REIKALAVIMAI“. [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.405920>

59. ĮSAKYMAS DĖL SLĖGINIŲ ĮRENGINIŲ TECHNINIO REGLAMENTO TVIRTINIMO 2000 m. spalio 6 d. Nr. 349. [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: Vilnius <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.111325/DxYVXonZYg>
60. Apsauga nuo žaibo. Monografija. Baublys J.; Jankauskas P.; Markevičius L.; Morkvėnas A. ISBN 9986-858-28-3. AB „Lietuvos energija“, 2006.
61. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRAS ĮSAKYMAS DĖL LIETUVOS HIGIENOS NORMOS HN 69:2003 „ŠILUMINIS KOMFORTAS IR PAKANKAMA ŠILUMINĖ APLINKA DARBO PATALPOSE. PARAMETRŲ NORMINĖS VERTĖS IR MATAVIMO REIKALAVIMAI“ [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>
62. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTRAS ĮSAKYMAS DĖL LIETUVOS HIGIENOS NORMOS HN 98:2014 „NATŪRALUS IR DIRBTINIS DARBO VIETŲ APŠVIETIMAS. APŠVIETOS MAŽIAUSIOS RIBINĖS VERTĖS IR BENDRIEJI MATAVIMO REIKALAVIMAI“ [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.101854/asr>
63. DĖL DARBUOTOJŲ APRŪPINIMO ASMENINĖMIS APSAUGOS PRIEMONĖMIS NUOSTATŲ PATVIRTINIMO 2007 m. lapkričio 26 d. Nr. A1-331 Vilnius. . [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.309802>
64. „DĖL SAUGOS IR SVEIKATOS APSAUGOS ŽENKLŲ NAUDOJIMO DARBOVIETĖSE NUOSTATŲ“. [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/4cb21cd07fef11e49386e711974443ff>
65. Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai. Valstybės žinios, 2005, Nr.531804 [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.254877?jfwid=q8i88m7to>
66. PRIEŠGAISRINĖS APSAUGOS IR GELBĖJIMO DEPARTAMENTO PRIE VIDAUS REIKALŲ MINISTERIJOS DIREKTORIAUS Į S A K Y M A S DĖL GAMYBOS, PRAMONĖS IR SANDĖLIAVIMO STATINIŲ GAISRINĖS SAUGOS TAISYKLIŲ PATVIRTINIMO 2012 m. vasario 6 d. Nr. 1-45 Vilnius. [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.418484?jfwid=rivwzvvpvg>
67. Bendrosios priešgaisrinės saugos taisyklės. [Žiūrėta 2021.05.08] Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.250714/qwHdDNvCKS>

## **Priedai**

Pateikiamos įrenginių charakteristikų, kurie aptariami inžinerinėje dalyje suvestinės.

**4.7 lentelė.** PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų siurblių specifikacijos

<b>Pavadinimas</b>	<b>Tipas</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Medžiaga</b>	<b>Darbinė temperatūra, °C</b>	<b>Išvystomas slėgio aukštis, m</b>	<b>Našumas m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Našumas kg/h</b>	<b>Galia, kW</b>
DEG siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	40	100	-	120	0,8
Dažų siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	40	100	-	30	
Katalizatoriaus siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	80	64	3	-	1,5
Stabilizatoriaus siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	80	63	3	-	1,1
Priedo siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	80	60	3	-	1,1
Pastos siurblys	Sraigtinis	2	Nerūdijantis plienas	100	100	25	-	15
EG padavimo siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	120	55	5	-	2,2
EG cirkuliacijos siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	120	46	30	-	11,0
Pre-polimero siurblys	Krumpliaratinis	2	Nerūdijantis plienas	280	150		25000	45,0
Rektifikacijos kolonos siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	250	38	16	-	9,6
Panaudoto EG 12 talpos siurblys	Išcentrinis	1	Nerūdijantis plienas	70	82	16	-	15
1 kondensato talpos siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	100	78	83	-	30

4.7 lentelės tęsinys kitame puslapyje

4.7 lentelės tęsinys

<b>Pavadinimas</b>	<b>Tipas</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Medžiaga</b>	<b>Temperatūra, °C</b>	<b>Išvystomas slėgio aukštis, m</b>	<b>Našumas m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Našumas kg/h</b>	<b>Galia, kW</b>
2 kondensato talpos siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	120	94	110	-	55,0
3 kondensato talpos siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	120	68	24	-	18,5
Polimero siurblys	Išcentrinis	1	Nerūdijantis plienas	290	2400	-	25000	315,0
4 kondensato talpos siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	120	93	110	-	55,0
5 kondensato talpos siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	120	73	41	-	22,0
Ežektorių zonos siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	80	40	13	-	3,0
Degazavimo kolonos siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	100	53	6	-	1,5
Granuliavimo zonos siurblys	Išcentrinis	2	Nerūdijantis plienas	80	78	150	-	55,0



## Rotacinių vožtuvų suvestinė

**4.8 lentelė.** PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų rotacinių vožtuvų suvestinė

Pavadinimas	Kiekis	Medžiaga	Temperatūra, °C	Slėgis, bar	Našumas, kg/h	Galia, kW
PTA rotacinis vožtuvas	2	Nerūdijantis plienas	aplinkos	atmosferinis	30000	2,2

## Šilumokaičių suvestinė

**4.9 lentelė.** PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų šilumokaičių specifikacijų suvestinė

Pavadinimas	Kiekis	Medžiaga	Temperatūra, °C	Slėgis, bar	Našumas, kg/h	Našumas, m <sup>3</sup> /h	Plotas, m <sup>2</sup>	Galia, kW
EG 11 talpos šilumokaitis	2	Nerūdijantis plienas	150	6	241000	-	-	300
Esterifikacijos II sekcijos šilumokaitis	2	Anglinis plienas	320	-1/2	12491	60	24,6	1000
Esterifikacijos II sekcijos šilumokaitis (EG talpos)	2	Nerūdijantis plienas	90	9	81680	42	-	470
Esterifikacijos I sekcijos šilumokaitis	1	Anglinis plienas	320	-1/2	7722	37	32	610
Polikondensacijos I sekcija antro kondensato talpos dalies šilumokaitis	1	Nerūdijantis plienas	70	9	239777	13	-	75
Polikondensacijos II rekatoriaus šilumokaitis	1	Anglinis plienas	320	-1/2	4668	26	19	365
Polikondensacijos II sekcijos 2 kondensato talpos šilumokaitis	2	Nerūdijantis plienas	70	9	42200	19	-	110
Degazavimo zonos šilumokaitis	1	Nerūdijantis plienas	145	- 0,1/0,2	7544	-	-	59

## Kondensatorių suvestinė

**4.10 lentelė.** PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų kondensatorių suvestinė

Pavadinimas	Kiekis	Medžiaga	Temperatūra, °C	Slėgis, bar	Našumas, m <sup>3</sup> /h	Tūris, m <sup>3</sup>	Galia, kW
Esterifikacija II sekcijos kondensatorius	1	Nerūdijantis plienas	320	4	68	2,5	400
Polikondensacijos I sekcijos 1 kondensatorius	2	Nerūdijantis plienas	70	9	101	-	500
Polikondensacijos I sekcijos 2 kondensatorius	1	Nerūdijantis plienas	50	-1/1		6,7	365
Polikondensacijos II sekcijos 1 kondensatorius	2	Nerūdijantis plienas	70	9	101	-	10
Polikondensacijos II sekcijos 2 kondensatorius	1	Nerūdijantis plienas	50	-1/1	-	30	-

## Kompresorių suvestinė

**4.11 lentelė.** PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų kompresorių suvestinė

Pavadinimas	Kiekis	Medžiaga	Slėgis, bar	Našumas, m <sup>3</sup> /h	Galia, kW
Degazavimo zonos kompresorius	2	Anglinis plienas	0,1	7200	37

## Ežektorių suvestinė

**4.12 lentelė.** PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų ežektorių suvestinė

Pavadinimas	Kiekis	Medžiaga	Slėgis, bar	Našumas, kg/h	Vakuumas, mbar
Ežektorius	3	Nerūdijantis plienas	-1/3,5	33	0,5

**4.13 lentelė. PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų filtrų suvestinė**

<b>Pavadinimas</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Medžiaga</b>	<b>Temperatūra, °C</b>	<b>Slėgis, bar</b>	<b>Našumas, kg/h</b>	<b>Plotas, m<sup>2</sup></b>	<b>Porų dydis, μm</b>
DEG filtras	1	Nerūdijantis plienas	60	10,0	120	0,1	3
Katalizatoriaus filtras	2	Nerūdijantis plienas	120	10,5	675	0,1	3
Stabilizatoriaus filtras	2	Nerūdijantis plienas	80	10,5	145	0,1	3
Priedo filtras	2	Nerūdijantis plienas	80	atmosferinis	133	0,1	3
EG filtras	1	Nerūdijantis plienas	150	6	12000	1,8	3
Polikondensacija I kondensato 1 sekcijos filtras	2	Nerūdijantis plienas	70	12	101	0,3	500
Polikondensacija II kondensato 1 sekcijos filtras	2	Nerūdijantis plienas	70	12	101	0,3	500
Prieš granuliatorių esantis filtras	1	Nerūdijantis plienas	450	250	25000	70,0	40
Po granuliatoriaus esantis filtras	1	Nerūdijantis plienas	80	atmosferinis	140	-	100
Granuliatoriaus sekcijoje už vandens talpos esantis filtras	2	Nerūdijantis plienas	80	6	140	0,4	500

**4.14 lentelė.** PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų įrengimų suvestinė

Pavadinimas	Kiekis	Medžiaga	Darbinė temperatūra, °C	Slėgis, bar	Našumas	Tūris, m <sup>3</sup>	Galia, kW	Kiti
PTA transporteris	2	Nerūdijantis plienas	Aplinkos	Atmosferinis	30000 kg/h	-	5,5	-
DEG talpa	1	Nerūdijantis plienas	80	Atmosferinis	-	48,0	-	-
Dažiklio saugojimo talpa	2	Nerūdijantis plienas	80	Atmosferinis	-	1,0	-	-
Katalizatoriaus saugojimo talpa	1	Nerūdijantis plienas	200	Atmosferinis	-	32,7	-	-
Stabilizatoriaus saugojimo talpa	1	Nerūdijantis plienas	200	Atmosferinis	-	18,6	-	-
Priedo saugojimo talpa	1	Nerūdijantis plienas	200	Atmosferinis	-	9,2	-	-
Pastos maišyklė	1	Nerūdijantis plienas	195	Atmosferinis	-	-	55,0	5–45rpm
Esterifikacijos 1 maišyklė	1	Nerūdijantis plienas	320	-1/4	-	-	90,0	135 rpm
Esterifikacijos 1 reaktorius	1	Nerūdijantis plienas	320	-1/4	-	107,3	-	-
Rektifikacijos kolona	1	Nerūdijantis plienas	320	-1/4	-	24,0	-	Skersmuo 1700 mm, aukštis 12100 mm
Panaudoto EG talpa 12	1	Nerūdijantis plienas	100	Atmosferinis	-	44,0	-	-

4.14 lentelės tęsinys kitame puslapyje

4.14 lentelės tęsinys

Pavadinimas	Kiekis	Medžiaga	Temperatūra, °C	Slėgis, bar	Našumas	Tūris, m <sup>3</sup>	Galia, kW	Kiti
Esterifikacijos II kondensato talpa	1	Nerūdijantis plienas	100	atmosferinis	-	5,9	-	-
Esterifikacijos II reaktorius	1	Nerūdijantis plienas	320	-1/4	-	58,4	-	-
Polikondensacijos I reaktoriaus maišyklė	1	Nerūdijantis plienas	320	-1/1	-	-	15	10,6 rpm
Polikondensacijos tarpinė talpa	1	Nerūdijantis plienas	320	-1/1	-	5,0	-	-
Polikondensacijos I kondensato 1 talpa	1	Nerūdijantis plienas	70	atmosferinis	-	9,4	-	-
Polikondensacijos I reaktorius	1	Nerūdijantis plienas	320	-1/1	-	84,4	-	-
Polikondensacijos II reaktoriaus maišyklė	1	Anglinis plienas	320	-1/1	-	-	110	3,26 rpm
Polikondensacijos II kondensato 1 talpa	1	Nerūdijantis plienas	70	atmosferinis	-	9,4	-	-
Viskozimetras	1	Nerūdijantis plienas	330	-1/300	-	--	1,6	-
Polikondensacijos II reaktorius	1	Nerūdijantis plienas	320	-1/1	-	108,8	-	-
Degazavimo kolona	1	Nerūdijantis plienas	120	-	7200 m <sup>3</sup> /h	12,6	-	-

4.14 lentelės tęsinys kitame puslapyje

4.14 lentelės tęsinys

<b>Pavadinimas</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Medžiaga</b>	<b>Temperatūra, °C</b>	<b>Slėgis, bar</b>	<b>Našumas</b>	<b>Tūris, m<sup>3</sup></b>	<b>Galia, kW</b>	<b>Kiti</b>
Proceso vandens talpa	1	Nerūdijantis plienas	100	atmosferinis	-	13,1	-	-
Ekstruderis	3	Nerūdijantis plienas	350	160	-	-	-	-
Granuliatorius	3	Nerūdijantis plienas	-	-	9500 kg/h	-	35,5	-

Cheminio perdirbimo technologinės linijos įrengimų suvestinė

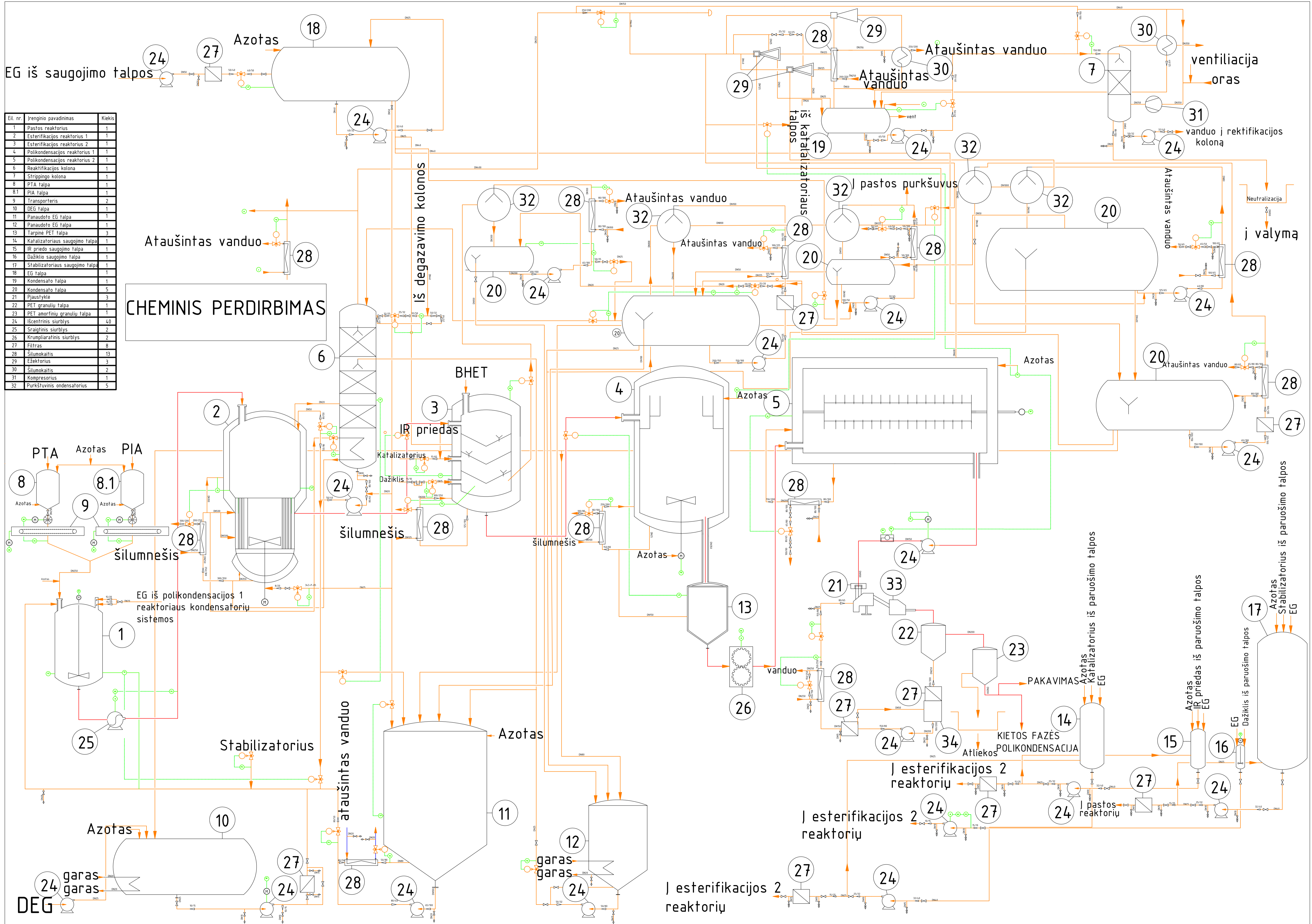
**4.15. lentelė.** PET gamybos technologinėje linijoje naudojamų įrengimų suvestinė

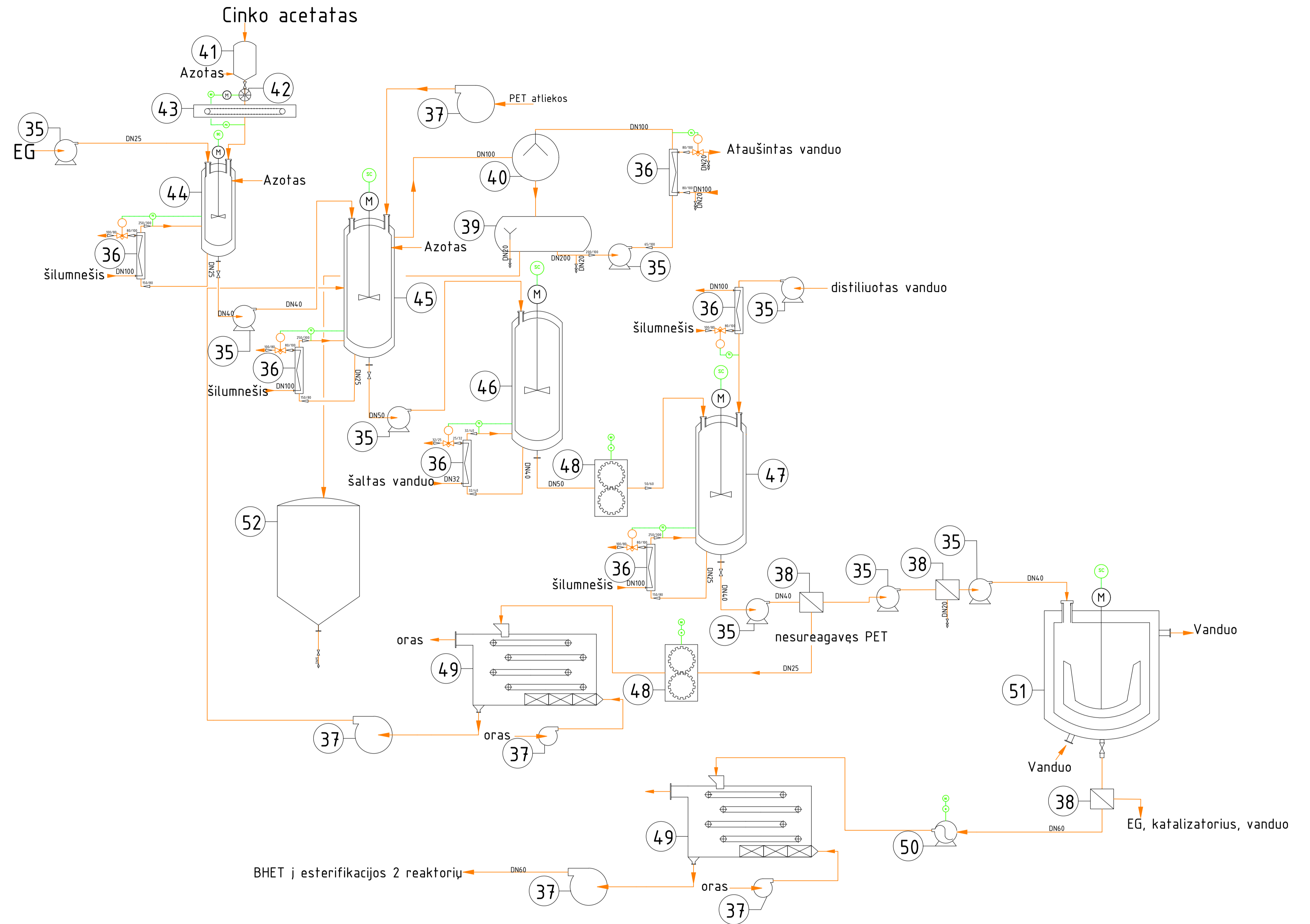
Pavadinimas	Kiekis	Medžiaga	Darbinė temperatūra, °C	Išvystomas slėgio aukštis, m	Našumas m <sup>3</sup> /h	Našumas kg/h	Galia, kW
<b>SiurbLIAI</b>							
Išcentrinis siurblys	16	Nerūdijantis plienas	250	38	16	-	9,6
Krumpliaratinis siurblys	4	Nerūdijantis plienas	280	50		25000	45,0
Sraigtinis siurblys	2	Nerūdijantis plienas	100	40	25	-	15,0
<b>Filtrai</b>							
Pavadinimas	Kiekis	Medžiaga	Temperatūra, °C	Slėgis, bar	Plotas, m <sup>2</sup>	Našumas kg/h	Porų dydis, μm
Filtrai	3	Nerūdijantis plienas	10	5	10	120	3
<b>Talpos</b>							
Pavadinimas	Kiekis	Medžiaga	Temperatūra, °C	Slėgis, bar	Tūris, m <sup>3</sup>	-	-
Kondensato talpa	1	Nerūdijantis plienas	70	atmosferinis	9,4	-	-
Katalizatoriaus talpa	1	Nerūdijantis plienas	220	atmosferinis	4	-	-
Sumaišymo reaktorius	1	Nerūdijantis plienas	220	atmosferinis	10	-	-
Glikolizės reaktorius	1	Nerūdijantis plienas	220	atmosferinis	15	-	-
Šaldymo reaktorius	1	Nerūdijantis plienas	5	atmosferinis	15	-	-
Tirpinimo reaktorius	1	Nerūdijantis plienas	120	atmosferinis	15	-	-
Panaudoto EG talpa	1	Nerūdijantis plienas	100	atmosferinis	15	-	-
Kristalizatorius	1	Nerūdijantis plienas	4	atmosferinis	20	-	-

<b>Kondensatoriai</b>							
<b>Pavadinimas</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Medžiaga</b>	<b>Temperatūra, °C</b>	<b>Slėgis, bar</b>	<b>Našumas, m<sup>3</sup>/h</b>	<b>Galia, kW</b>	<b>-</b>
Kondensatorius	1	Nerūdijantis plienas	70	9	101	10	-
<b>Rotaciniai vožtuvai</b>							
<b>Pavadinimas</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Medžiaga</b>	<b>Temperatūra, °C</b>	<b>Slėgis, bar</b>	<b>Našumas, kg/h</b>	<b>Galia, kW</b>	<b>-</b>
PTA rotacinis vožtuvas	2	Nerūdijantis plienas	aplinkos	atmosferinis	30000	2,2	-
<b>Džiovyklos</b>							
<b>Pavadinimas</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Medžiaga</b>	<b>Temperatūra, °C</b>	<b>Slėgis, bar</b>	<b>Galia, kW</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
Juostinės džiovyklos	2	Nerūdijantis plienas	60	atmosferinis	48	-	-
<b>Šilumokaičiai</b>							
<b>Pavadinimas</b>	<b>Kiekis</b>	<b>Medžiaga</b>	<b>Temperatūra, °C</b>	<b>Slėgis, bar</b>	<b>Našumas, kg/h</b>	<b>Galia, kW</b>	<b>-</b>
Šilumokaitis	6	Nerūdijantis plienas	220	9	5682	75	-



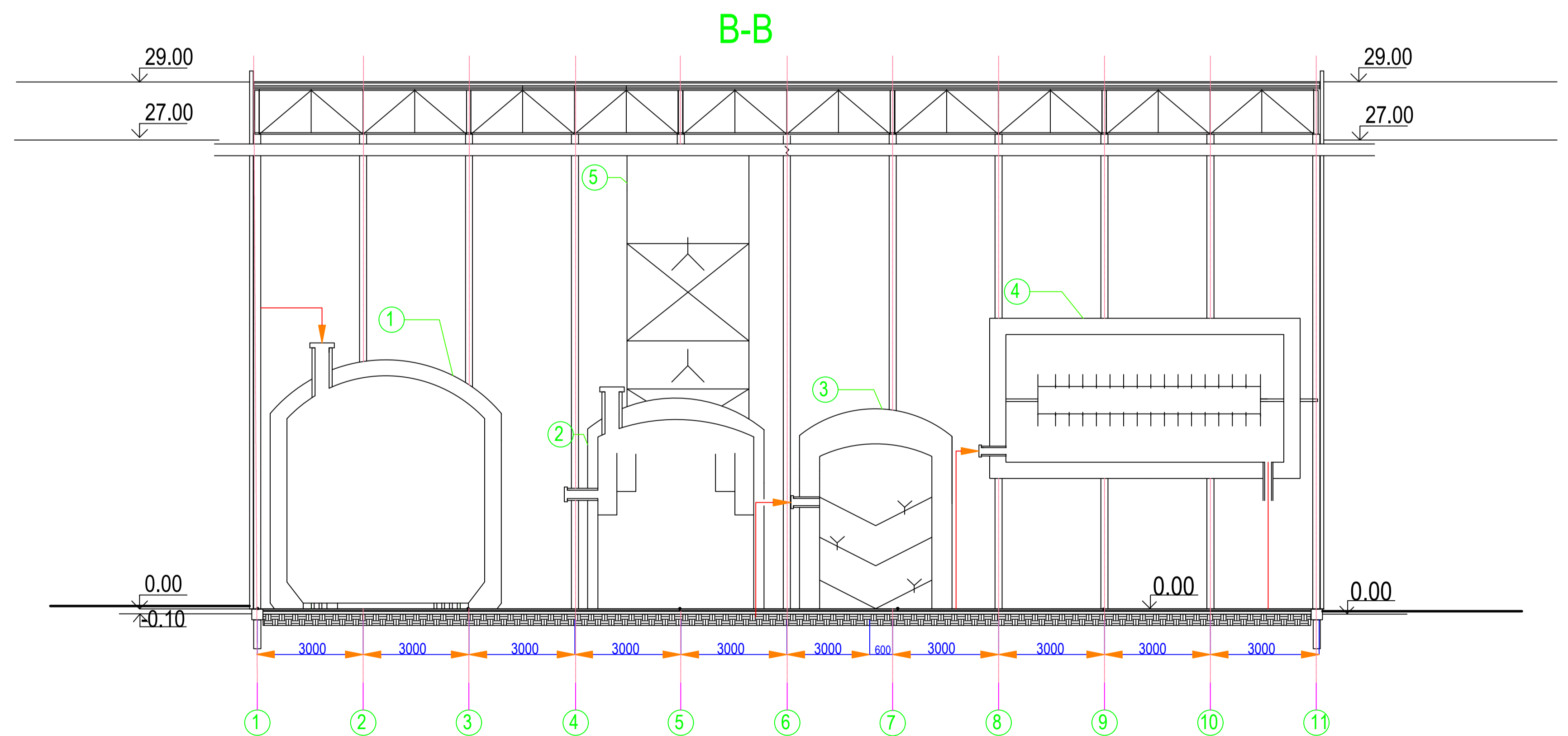
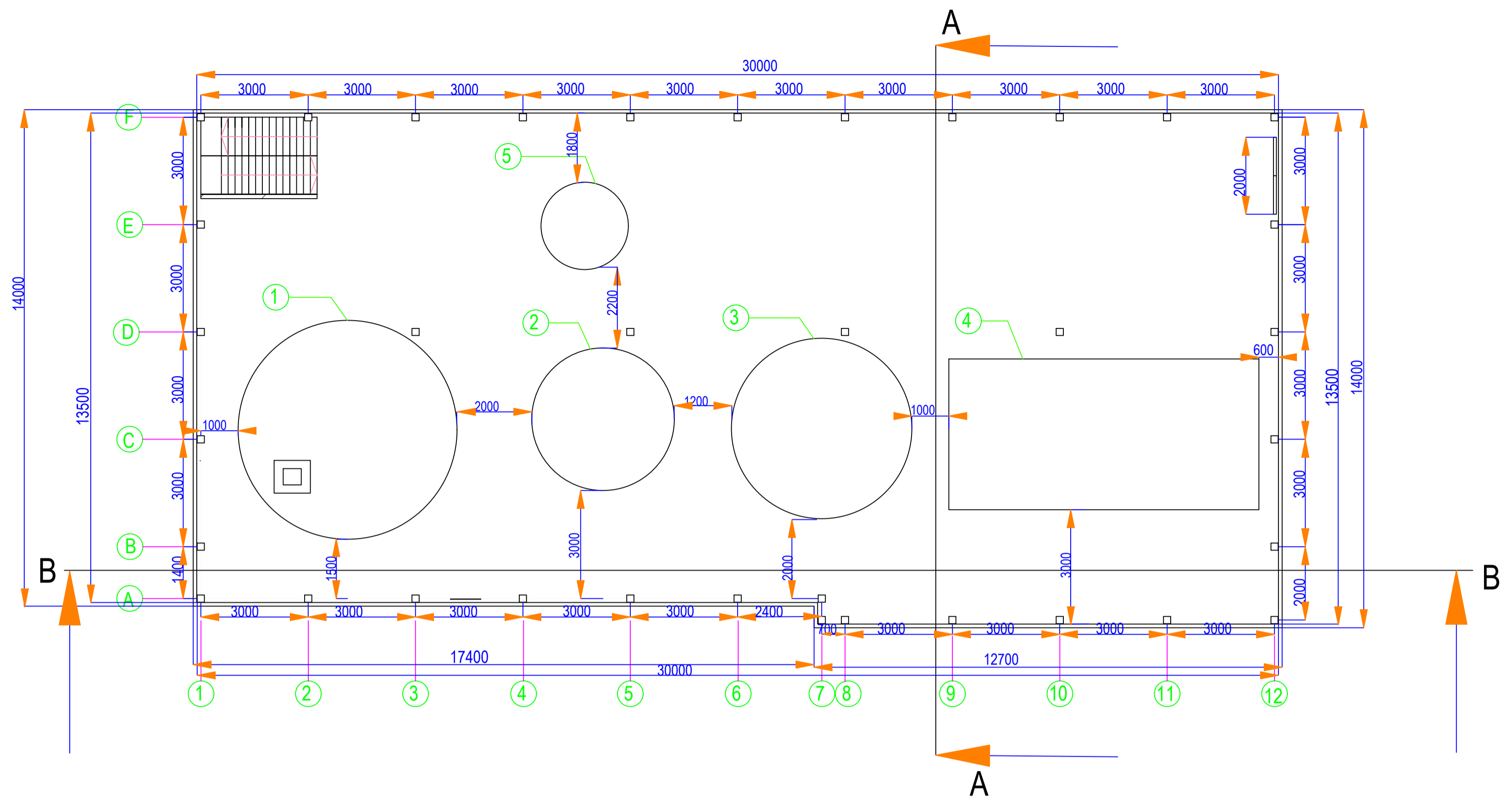
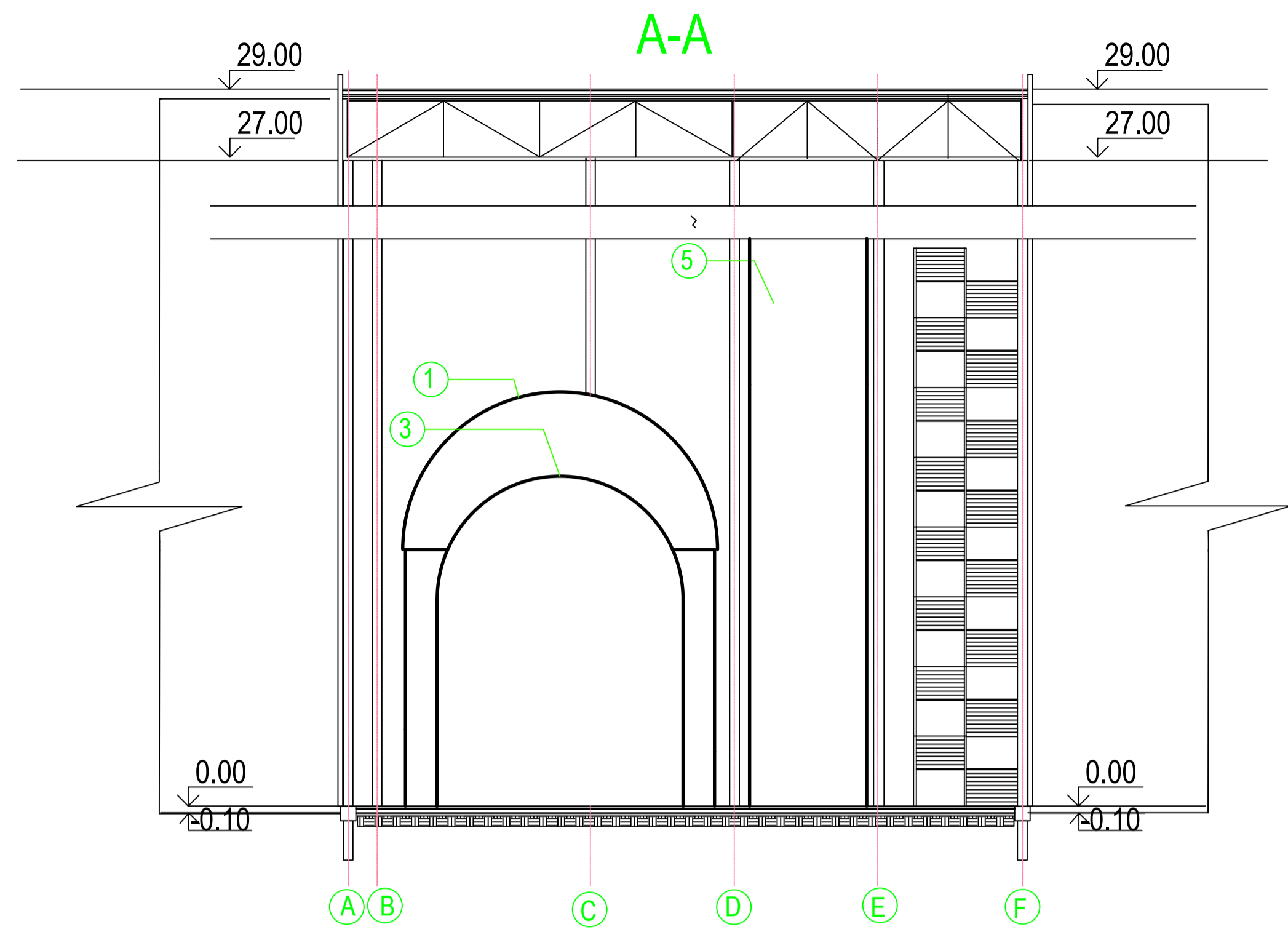
Eil. nr.	Įrenginio pavadinimas	Kiekis
1	Pastos reaktorius	1
2	Esterifikacijos reaktorius 1	1
3	Esterifikacijos reaktorius 2	1
4	Polikondensacijos reaktorius 1	1
5	Polikondensacijos reaktorius 2	1
6	Reaktyfikacijos kolona	1
7	Strippingo kolona	1
8	PTA talpa	1
8.1	PIA talpa	1
9	Transporteris	2
10	DEG talpa	1
11	Panaudoto EG talpa	1
12	Panaudoto EG talpa	1
13	Tarpinė PET talpa	3
14	Katalizatoriaus saugojimo talpa	1
15	IR priedo saugojimo talpa	1
16	Dažiklio saugojimo talpa	1
17	Stabilizatoriaus saugojimo talpa	1
18	EG talpa	1
19	Kondensato talpa	1
20	Kondensato talpa	5
21	Plauštyklė	3
22	PET granulių talpa	1
23	PET amorfinių granulių talpa	1
24	Išcentrinis siurblys	40
25	Sraigtinis siurblys	2
26	Krumpliaratinis siurblys	2
27	Filtrai	8
28	Šilumokaitis	13
29	Ežektorius	3
30	Šilumokaitis	2
31	Kompresorius	1
32	Purkštuvinis kondensatorius	5





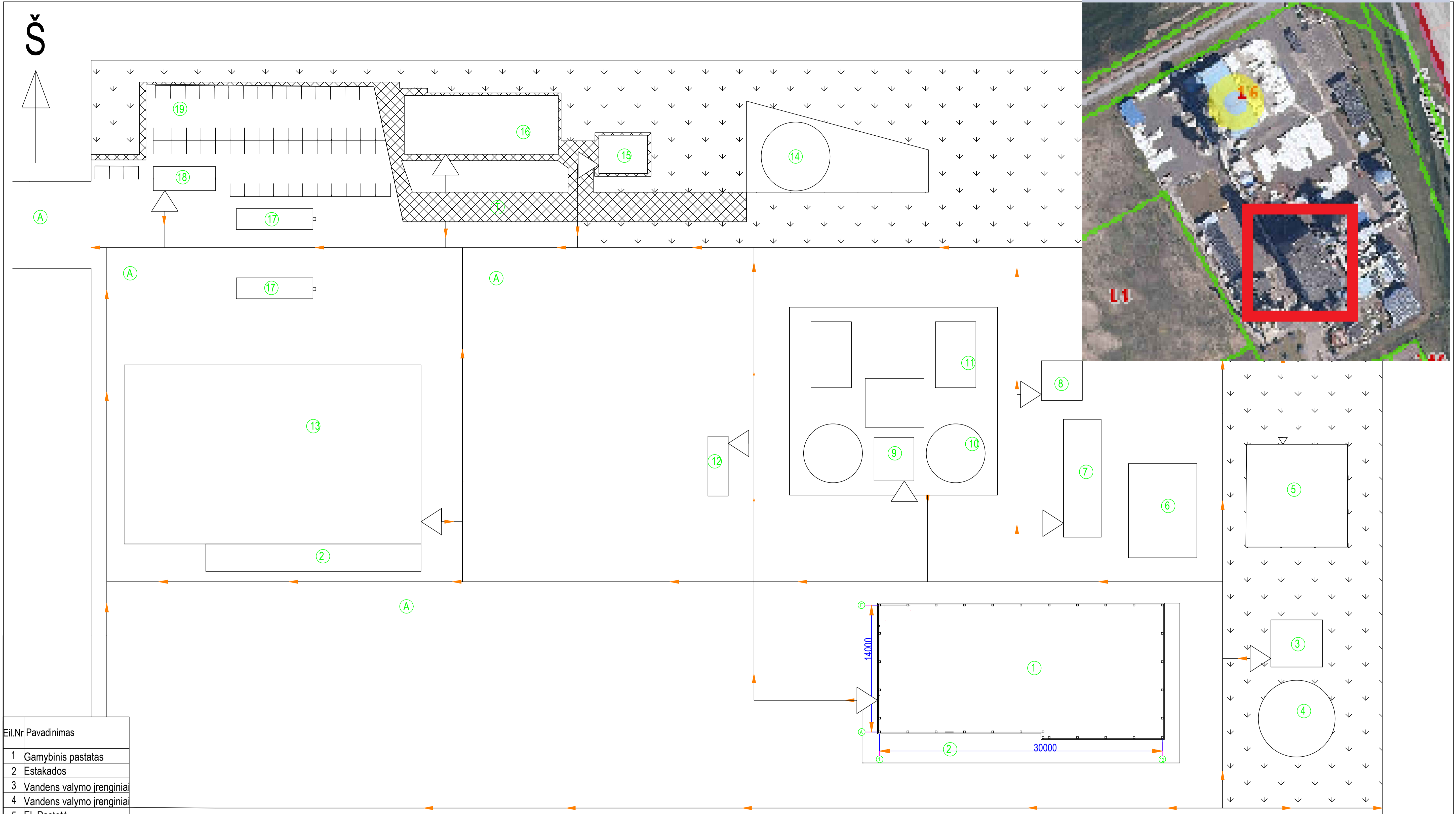
Eil. nr.	Įrenginio pavadinimas	Kiekis
35	Įcentrinis siurblys	8
36	Šilumokaitis	6
37	Orapūtė	5
38	Filtras	3
39	Kondensato talpa	1
40	Maišymosi kondensatorius	1
41	Katalizatoriaus talpa	1
42	Rotacinis vožtuvas	1
43	Transporteris	1
44	Sumaišymo reaktorius	2
45	Ėtiklizės reaktorius	1
46	Šaldymo reaktorius	1
47	Tirpinimo reaktorius	1
48	Krumpliaratinis siurblys	2
49	Džiovykla	2
50	Sraigtnis siurblys	1
51	Kristalizatorius	1
52	Panaudoto EG talpa	1

Grupė	KTU cheminės technologijos universitetas	Magistro baigiamasis darbas
TMC-9	Projektavo K. Laušikyte Vadovas J. Bendoraitienė	Amorfinių PET granulių gamyba
	Recenzentas	PET cheminio perdirbimo linijos įdiegimas į granulių gamybą
	Polimerų chemijos ir technologijos katedra Pr. etapas LT-50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas	2021-MBD-0T
		Laida 0
		Lapai 2 2



Eil.Nr	Pavadinimas	Žymuo	Kiekis
1	Esterifikacijos 1 reaktorius	1	1
2	Esterifikacijos 2 reaktorius	2	1
3	Polikondensacijos 1 reakt.	3	1
4	Polikondensacijos 2 reakt.	4	1
5	Reaktifikacijos kolona	5	1

Grupė		KTU cheminės technologijos universitetas		Magistro baigiamasis darbas	
TMC-9	Projektavo Vadovas Konsultantas	K. Laušiškytė J. Bendoraitienė O. Vilionienė		Pagrindinių įrenginių išdėstymas	
				PET cheminio perdirbimo linijos įdiegimas į granuliu gamybą	Laida 0
Pr. etapas	Polimerų chemijos ir technologijos katedra LT-50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas			2021-MBD-OT	Lapas Lapų 1 2



Eil.Nr	Pavadinimas
1	Gamybinis pastatas
2	Estakados
3	Vandens valymo įrenginiai
4	Vandens valymo įrenginiai
5	El. Pastotė
6	Vandens paruošimo talpa
7	Techninis pastatas
8	Katilinė
9	PTA saugykla
10	Azoto rezervuaras
11	Azoto įrenginys
12	Pagalbinis pastatas
13	Sandėlys
14	MEG rezervuaras
15	Priešgaisrinė stotis
16	Biuras
17	Svarstyklės
18	Sargybinė
19	Stovėjimo aikštelė

Eil.Nr	Pavadinimas	Žymuo
1	Veja	(V)
2	Asfaltas	(A)
3	Trinkelės	(T)

Grupė		KTU cheminės technologijos universitetas		Magistro baigiamasis darbas	
TMC-9	Projektavo	K. Laušiškytė		Generalinis planas	
	Vadovas	J. Bendoraitienė			
	Konsultantas	O. Vilionienė			
				PET cheminio perdirbimo linijos įdiegimas į granuliuojamąją gamybą	
				Laida	
				0	
				Lapas Lapų	
				1 2	
Pr. etapas	Polimerų chemijos ir technologijos katedra LT-50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas			2021-MBD-OT	