



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Polietilentereftalato plėvelės koekstruzijos būdu gamybos technologija

Baigiamasis magistro projektas

Gediminas Biknys

Projekto autorius

Asist. dr. Monika Čekavičiūtė

Vadovė

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Polietilentereftalato plėvelės koekstruzijos būdu gamybos technologija

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Konsultantai

Aplinkosauginio vertinimo
Prof. dr. Gintaras Denafas

Ekonominių skaičiavimų
Prof. dr. Irena Pekarskienė

Statybinių sprendimų
Lekt. dr. Odeta Viliūnienė

Darbuotojų saugos ir sveikatos
Doc. dr. Dalia Nizevičienė

Gediminas Biknys

Projekto autorius

Asist. dr. Monika Čekavičiūtė

Vadovė

Doc. dr. Daiva Tavgenienė

Recenzentė

Kaunas, 2025



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Gediminas Biknys

Polietilentereftalato plėvelės koekstruzijos būdu gamybos technologija

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.

Gediminas Biknys

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:
Cheminės technologijos fakulteto dekanė
prof. dr. V. Kitrytė-Syrpa

Suderinta:
Polimerų chemijos ir technologijos katedros vedėju
doc. dr. A. Bučinsku

Dekano potvarkis Nr. V25-02-22
2025 m. gegužės mėn. 20 d.

2025 m. vasario mėn. 4 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Polietilentereftalato plėvelės koekstruzijos būdu gamybos technologija

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – suprojektuoti PET plėvelės gamybos koekstruzijos būdu gamybinį pastatą, įvertinant šiuolaikinius inžinerinius ir aplinkosauginius sprendimus, leidžiančius užtikrinti kokybišką gamybą, efektyvų žaliavų panaudojimą bei integruoti perdirbtas medžiagas į gamybos procesą.

Uždaviniai:

1. nustatyti gamyboje naudojamų priedų įtaką fizinėms ir optinėms PET plėvelės savybėms;
2. suprojektuoti technologinę gamybos schemą bei atlikus inžinerinius skaičiavimus parinkti įrenginius;
3. įvertinti ir pateikti statybinius sprendimus su brėžiniais;
4. atlikti ekonominius skaičiavimus;
5. atlikti aplinkosauginį projektuojamo objekto vertinimą ir aprašyti darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimą.

Reikalavimai ir sąlygos

Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanų 2024 m. kovo 6 d. potvarkiu Nr. V25-02-10 patvirtintuose „Pirmosios pakopos studijų programos Cheminė technologija ir inžinerija ir antrosios pakopos studijų programos Chemijos inžinerija baigiamųjų projektų rengimo ir gynimo metodiniuose reikalavimuose“.

Vadovė

Asist. dr. Monika Čekavičiūtė

2025-02-04

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau:

Gediminas Biknys
(studento vardas, pavardė)

2025-02-04
(parašas, data)

Biknys Gediminas. Polietilentereftalato plėvelės koekstruzijos būdu gamybos technologija. Magistro studijų baigiamasis projektas vadovė asist. dr. Monika Čekavičiūtė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: Polietilentereftalatas, koekstruzija, dvisraigtis ekstruderis, plastifikatorius, vakuumas, liejimas.

Kaunas, 2025. 76 p.

Santrauka

Baigiamojo magistro projekto tikslas – suprojektuoti polietilentereftalato (PET) plėvelės gamybos koekstruzijos būdu gamybinį pastatą, įvertinant šiuolaikinius inžinerinius ir aplinkosauginius sprendimus, leidžiančius užtikrinti kokybišką gamybą, efektyvų žaliavų panaudojimą bei integruoti perdirbtas medžiagas į gamybos procesą. Projektas susideda iš literatūros apžvalgos, tiriamosios dalies, inžinerinės dalies, finansinių ir ekonominių skaičiavimų, statybinių sprendimų, aplinkosauginio vertinimo bei darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimo.

Projektuojama PET plėvelės gamybos linija, pagrįsta A–B–A trijų sluoksnių koekstruzijos principu, kurioje naudojami įvairūs žaliavų deriniai, pirminis PET, mechaniškai perdirbtas PET bei funkciniai priedai (plastifikatorius AB ir dažai). Siekiant sumažinti gamybos poveikį aplinkai, technologija leidžia naudoti iki 60 % perdirbto PET. Diegiami sprendimai leidžia pašalinti drėgmę iš PET lydalo tiesiogiai ekstruderyje vakuuminiais siurbliais, taip eliminuojant granuliu džiovinimo etapą. Naudojama uždara aušinimo sistema kalandras, kuri sumažina susidarančias atliekas aušinimo metu.

Tiriamosioje darbo dalyje analizuojamos įvairių žaliavų, pirminio PET, mechaniškai perdirbto PET bei funkcinių priedų savybės, jų įtaka plėvelės mechaninėms ir optinėms savybėms. Įvertinama plastifikatoriaus AB įtaka plėvelės trinties koeficientui.

Inžinerinėje dalyje parinkta gamybos technologija, koekstruzijos įranga, atlikti įrenginių ir medžiagų balanso skaičiavimai. Įvertintas linijos našumo poreikis, medžiagų srautai, žaliavų tiekimo ir aušinimo sprendimai. Parinkti PET plėvelės gamybos cecho statybiniai sprendimai, atlikti ekonominiai ir finansiniai projekto skaičiavimai bei jų vertinimas. Aplinkosauginėje dalyje pateikta fizikinė ir aplinkos oro tarša, taip pat pateiktas susidarančių atliekų kiekis ir jų šalinimo būdai bei suvartojamas elektros energijos kiekis. Įvertinta darbuotojų profesinė rizika, numatyti gaisrinės saugos sprendimai. Pateiktas evakuacijos planas, žymėjimo priemonės ir gesinimo įranga.

Grafinėje dalyje pateikti penki brėžiniai: PET plėvelės gamybos pastato planas su įrenginių išdėstymu, principinė technologinė schema, technologinės linijos vaizdas iš šono gamybinėse patalpose, technologinės linijos vaizdas iš galo gamybinėse patalpose ir sklypo planas.

Biknys Gediminas. Production Technology for Polyethylene Terephthalate Film by Coextrusion. Master's Final Degree supervisor Asst. Prof. dr. Monika Čekavičiūtė; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: Polyethylene terephthalate, co-extrusion, twin-screw extruder, plasticizer, vacuum, casting.

Kaunas, 2025. 76.

Summary

The aim of this Master's thesis is to design a production facility for polyethylene terephthalate (PET) film manufacturing based on the co-extrusion process, taking into account modern engineering and environmental solutions that ensure high product quality, efficient raw material utilization, and the integration of recycled materials into the production cycle. The project consists of a literature review, research section, engineering part, and an assessment of occupational health and safety.

The proposed PET film production line is based on the A–B–A three-layer co-extrusion principle, employing a combination of various raw materials including virgin PET, mechanically recycled PET, and functional additives (plasticizer AB and colorants). In order to reduce environmental impact, the technology allows the incorporation of up to 60% recycled PET. The system includes solutions for direct melt dehumidification inside the extruder using vacuum pumps, thereby eliminating the need for a separate pellet drying stage. A closed-loop cooling system for the calender is implemented to reduce waste generation during the cooling process.

The research section analyses the properties of different raw materials virgin PET, recycled PET, and functional additives and their influence on the mechanical and optical properties of the final film. The effect of the plasticizer AB on the film's coefficient of friction is also evaluated.

In the engineering section, the production technology and co-extrusion equipment are selected, along with calculations of equipment parameters and the material balance. The required line throughput, material flows, raw material feeding, and cooling solutions are assessed. Construction solutions for the PET film production facility are selected, and both economic and financial assessments of the project are performed. The environmental part presents physical and atmospheric air pollution calculations, the amount and management of generated waste, and total electricity consumption. Occupational risk assessment is conducted, and fire safety solutions are proposed, including an evacuation plan, signage systems, and fire extinguishing equipment.

The graphical section includes five drawings: the layout of the PET film production building with equipment arrangement, a process flow diagram, a side view of the production line within the facility, a rear view of the technological line, and the site layout plan.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	11
Santrumpų ir terminų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Literatūros apžvalga	15
1.1. Polietilentereftalato granulių gamyba.....	15
1.2. PET plėvelės koekstruzinis liejimas	17
1.2.1. Ekstruzija.....	18
1.2.2. Paskirstymo blokai	21
1.2.3. Liejimo galvutė.....	22
1.2.4. Plėvelės formavimas.....	22
2. Tiriamoji dalis.....	24
2.1. Tyrimo objektas.....	24
2.2. Produkto klampos matavimas.....	25
2.2.1. Įranga ir matavimų metodika.....	25
2.3. PET plėvelės mechaninių savybių tyrimas	27
2.4. PET plėvelės pralaidumas UV ir regimajai šviesai	28
2.5. PET plėvelės trinties koeficiento matavimas	29
2.6. PET plėvelės stiklėjimo temperatūros nustatymas	30
3. Inžinerinė dalis.....	32
3.1. Technologinė dalis.....	32
3.1.1. Technologinė schema	32
3.1.2. Medžiagų balansas.....	33
3.1.3. Technologiniai skaičiavimai.....	35
3.1.4. Žaliavos bei produkto reikalavimai	40
3.2. Statybiniai sprendimai	40
3.2.1. Bendri duomenys.....	40
3.2.2. Sklypo planas.....	41
3.2.3. Projektuojamas pastatas.....	42
3.2.4. Statinio architektūrinė ir konstrukcinė sandara	42
3.2.5. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai	42
3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai	43
3.3.1. Projekto inovacijos ir diegimo analizė PET plėvelės gamybos didinimui	43
3.3.2. Projektui reikalingos investicijos ir jų finansavimo būdai	43
3.3.3. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas	44
3.3.4. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas	45
3.3.5. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas	47
3.3.6. Veiklos kaštai	51
3.3.7. Gaminio kainos skaičiavimas	52
3.3.8. PET plėvelės projekto prognozuojamas pelnas ir pinigų srautai.....	53
3.3.9. Projekto investicijų efektyvumo vertinimas	53
3.4. Aplinkosauginis vertinimas	56
3.4.1. Naudojamų žaliavų ir energijos išteklių aplinkosauginis poveikis	56
3.4.2. Atliekos ir jų tvarkymas	57

3.4.3. Gamyboje naudojamas vanduo ir susidaranti nuotekos	58
3.4.4. PET plėvelės gamybos cecho poveikis aplinkos orui.....	59
3.4.5. Fizinė tarša	59
4. Darbuotojų sauga ir sveikata	61
4.1. Projektuojamo objekto charakteristika	61
4.2. Profesinės rizikos vertinimas.....	61
4.3. Saugi gamyba	63
4.4. Darbo higiena	65
4.5. Gaisrinė sauga	66
Išvados	69
Literatūros sąrašas	71
Priedai.....	76
1 priedas. Sklypo planas	76
2 priedas. Pastato planas	76
3 priedas. Pastato pjūvis 1:1	76
4 priedas. Pastato pjūvis 2:2	76
5 priedas. Principinė technologinė schema	76
6 priedas. Konsultantų atsiliepimai	82

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Plėvelės bandinių sudėtis.....	24
2 lentelė. Plastifikatoriaus AB savybės.....	25
3 lentelė. Gauti bandinių savitosios klampos ir molekulinės masės rezultatai	26
4 lentelė. Gauti PET plėvelės mechaninių savybių rezultatai	27
5 lentelė. Bandinių dinaminio ir kinematinio trinties koeficiento rezultatai.....	30
6 lentelė. Bandinių stiklėjimo temperatūros.....	31
7 lentelė. Žaliavų sąnaudos siekiant pagaminti 45540 t kg PET plėvelės	35
8 lentelė. Krumpliaratinio siurblio A ekstruderio modeliavimo pradiniai duomenys [42].....	35
9 lentelė. Vietinės kliūtys nuo A ekstruderio siurblio iki liejimo lūpų	38
10 lentelė. Krumpliaratinio siurblio B ekstruderio modeliavimo rezultatai [42].....	39
11 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai [45]	41
12 lentelė. Pradiniai duomenys projektavimui.....	41
13 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai.....	44
14 lentelė. Pastatų ir technologinių įrengimų vertė.....	45
15 lentelė. Apyvartinių lėšų poreikis	45
16 lentelė. Produkcijos gamybos apimtys planavimas.....	46
17 lentelė. Išlaidos gamybai reikalingoms žaliavoms.....	46
18 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui	47
19 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros sąnaudoms	47
20 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui.....	48
21 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui	49
22 lentelė. Netiesioginės išlaidos patalpų šildymui	49
23 lentelė. Netiesioginės išlaidos patalpų apšvietimui.....	50
24 lentelė. Pagrindinių įrenginių ir pastatų nusidėvėjimas (amortizacija).....	50
25 lentelė. Netiesioginių gamybos išlaidų sąmata	50
26 lentelė. Gamybos kaštai	51
27 lentelė. Veiklos sąnaudos	52
28 lentelė. Paskolos gražinimo planas	52
29 lentelė. Gaminių kainų apskaičiavimas.....	52
30 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita, tūkst. Eur	53
31 lentelė. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita tūkst. Eur	53
32 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai	54
33 lentelė. Lūžio taško skaičiavimų rezultatai.....	54
34 lentelė. Projekto balansas	55
35 lentelė. Projekto finansiniai ekonominiai rodikliai	55
36 lentelė. Duomenys apie naudojamas žaliavas, chemines medžiagas ar preparatus [51].....	56
37 lentelė. Duomenys apie gaminius (produkciją).....	57
38 lentelė. Kuro ir energijos vartojimas.....	57
39 lentelė. Energijos gamyba	57
40 lentelė. Atliekos, atliekų tvarkymas [52]	57
41 lentelė. Numatomas vandens paėmimas ir vartojimas	58
42 lentelė. Duomenys apie nuotekų šaltinius ir/arba išleistuvus.....	58
43 lentelė. Tarša į aplinkos orą	59
44 lentelė. Fizikinės taršos duomenys.....	60

45 lentelė. Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [57].....	61
46 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai [58].....	62
47 lentelė. Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sproginimo ir gaisro pavojų, pavojingų vietų zonos [59]	63
48 lentelė. Darbo patalpų pakankamos šiluminės aplinkos parametrų norminės vertės [62]	66
49 lentelė. Gaisrinės saugos ženklai ir jų reikšmės [66]	68

Paveikslų sąrašas

1 pav.	PET gamyba naudojant dimetiltereftalatą ir etilenglikolį	16
2 pav.	PET gamybos iš tereftalio rūgšties ir etilenglikolio schema	16
3 pav.	PET gamyba naudojant tereftalio rūgštį ir etilenglikolį	17
4 pav.	PET plėvelės koekstruzijos procesas 1 ir 2 ekstruderiai, 3 paskirstymo blokas, 4 liejimo galvutė	18
5 pav.	Ekstruderio su degazavimo zona schema	19
6 pav.	Paskirstymo bloko kartu su liejimo galvute vaizdas iš šono [19]	21
7 pav.	Paskirstymo bloko A–B–A PET plėvelei schema	22
8 pav.	PET plėvelės liejimo galvutės schema	22
9 pav.	PET plėvelės gamybos koekstruzijos būdu technologinė linija	23
10 pav.	Trijų sluoksnių PET plėvelė A – išorinis sluoksnis, B – vidinis sluoksnis	25
11 pav.	PET plėvelės bandinių pralaidumas UV ir regimajai šviesai	29
12 pav.	PET plėvelės bandinio Nr. 12 diferencinės skenuojamosios kolorimetrijos grafikas	31
13 pav.	PET plėvelės gamybos koekstruzijos būdu technologinė schema	33
14 pav.	PET rinkos augimas 2019 – 2031 [2]	43
15 pav.	Projekto atsipirkimo laikotarpis	54
16 pav.	Lūžio taškas	55
17 pav.	PET plėvelės gamybinio pastato evakuacinis planas	67

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

Doc. – docentas;

Asist. – asistentas;

Lekt. – lektorius;

Prof. – profesorius;

Dr. – daktaras;

PET – polietilentereftalatas;

DMT – dimetiltereftalatas;

TPA – tereftalio rūgštis;

EG – etilenglikolis;

BHET – bis(2-hidroksietil)tereftalatas;

Plastifikatorius AB – „A SA 1041 ST Slip/Antriblock“;

CPET – kristalizuotas polietilentereftalatas;

RPET – cheminiu būdu perdirbtas PET;

PET dribsniai – mechaniniu būdu perdirbtas PET;

UV – ultravioletiniai spinduliai;

UAB – uždaroji akcinė bendrovė;

DSK – diferencinė skenuojamoji kolorimetrija;

PIR – poliizocianurato putplasčio užpildas, plačiai naudojamas kaip šilumos izoliacinė medžiaga.

Terminai:

A–B–A struktūra – PET plėvelių liejimo mašinų gamintojų naudojamas terminas, apibūdinti plėvelės struktūrą, kai A yra išorinis sluoksnis, o B vidinis.

Matiškumo priedas – priedas suteikiantis plėvelei matini paviršių, dispersuotos neorganinės mikrodalelės (SiO₂) PET matricoje.

Esterinimas – tai cheminė reakcija, kurios metu rūgštis reaguoja su alkoholiu, susidarant esterui ir mažamolekuliniui junginiui, dažniausiai vandeniui.

Koekstruzija – tai plastikų perdirbimo technologija, kai vienu metu iš kelių ekstruderių išspaudžiami keli skirtingi polimerų lydalai ir suformuojama daugiasluoksnė plėvelė, profilis ar gaminys.

Stiklėjimo temperatūra – temperatūra, kurioje prasideda stiklėjimas, t. y., kieto, amorfinio polimero virsmas iš stikliškosios fizikinės būsenos į elastiškąją.

Įvadas

Polietilentereftalatas (PET) yra vienas plačiausiai naudojamų pusiau kristalinių termoplastinių poliesterių daugelyje pramonės šakų. Dėl puikių mechaninių savybių, gero terminio stabilumo, cheminio atsparumo bei lengvo perdirbimo, PET išlieka vienu universaliausių polimerų tiek pakuočių, tiek techninių pritaikymų srityse. Ši medžiaga plačiai naudojama maisto ir gėrimų pakuotėse, optinėje elektronikoje, medicinoje ir tekstilėje. [1] Pastaruoju metu PET paklausa nuolat auga, ir šis augimas yra glaudžiai susijęs su globaliomis demografinėmis ir ekonominėmis tendencijomis. Dėl didėjančio gyventojų skaičiaus, kylančių disponuojamų pajamų ir augančios vartotojų perkamosios galios, PET vartojimas plečiasi sparčiau nei tikėtasi. Didžiausias poreikis jaučiamas gėrimų ir maisto pakuočių sektoriuose, kuriuose siekiama suderinti ekonomiškumą, medžiagų efektyvumą ir perdirbimą. Remiantis naujausiais duomenimis, plastikinių pakuočių rinka iki 2031 m. turėtų išaugti nuo 47,7 mlrd. iki 72,2 mlrd. JAV dolerių. [2] Dėl nuosekliai didėjančio PET naudojimo per pastaruosius du dešimtmečius, jis yra tapęs vienu pagrindinių inžinerinių polimerų, leidžiančių kurti pažangias daugiakomponentes struktūras. Tuo pačiu metu, aplinkosauginis spaudimas ir Europos Sąjungos žiedinės ekonomikos tikslai skatina PET gamintojus bei perdirbėjus ieškoti tvarių sprendimų. Vienas iš jų didesnio kiekio perdirbto PET įtraukimas į gamybos procesus, siekiant sumažinti pirminių žaliavų naudojimą ir sumažinti susidarančių atliekų kiekį.

Šio projekto objektas yra koekstruzijos būdu gaminama PET plėvelė. Koekstruzija leidžia vienu metu formuoti kelių sluoksnių plėveles, kurios pasižymi specifinėmis barjerinėmis, mechaninėmis ir optinėmis savybėmis. Šiame darbe nagrinėjama A–B–A struktūra, kurioje išorinis sluoksnis atlieka apsauginę funkciją, o vidinis sluoksnis leidžia integruoti perdirbtas žaliavas. Vienas iš svarbiausių aspektų tai perdirbtų žaliavų integracija į gamybos procesą. Projektuojama PET koekstruzijos gamybinė linija leidžia naudoti iki 60 % mechanškai perdirbto PET, kuris įmaišomas per dvisraigį ekstruderį. Toks technologinis sprendimas ne tik užtikrina aukštą produkto kokybę, bet ir prisideda prie žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimo, sumažinamos sąnaudos, energijos poreikis, o kartu mažėja ir aplinkos tarša. Kitas pažangus sprendimas – naujos kartos vakuuminė drėgmės šalinimo sistema, kuri leidžia šalinti drėgmę tiesiogiai iš polimero lydalo ekstruderio viduje, eliminuojant poreikį naudoti atskirus granulių džiovintuvus. Tai ženkliai sumažina energijos sąnaudas, supaprastina įrangos priežiūrą bei sumažina visos gamybos linijos užimamą plotą. Be to, naudojama uždaro ciklo aušinimo sistema (kalandro tipo), užtikrinanti stabilų plėvelės aušinimą bei storio kontrolę. Ši sistema padeda sumažinti šilumos nuostolius, sumažina aušinimo vandens suvartojimą ir prisideda prie bendro atliekų kiekio mažinimo. Kartu su įdiegtu automatinio storio matavimo įrenginiu ir optine plėvelės defektų aptikimo sistema, leidžia pasiekti aukštą PET plėvelės gamybos tikslumą bei stabilumą, išlaikant griežtus kokybės reikalavimus.

Darbo tikslas – suprojektuoti PET plėvelės gamybos koekstruzijos būdu gamybinį pastatą, įvertinant šiuolaikinius inžinerinius ir aplinkosauginius sprendimus, leidžiančius užtikrinti kokybišką gamybą, efektyvų žaliavų panaudojimą bei integruoti perdirbtas medžiagas į gamybos procesą.

Uždaviniai:

1. nustatyti gamyboje naudojamų priedų įtaką fiziniams ir optiniams PET plėvelės savybėms;
2. suprojektuoti technologinę gamybos schemą bei atlikus inžinerinius skaičiavimus parinkti įrenginius;
3. įvertinti ir pateikti statybinius sprendimus su brėžiniais;
4. atlikti ekonominius skaičiavimus;

5. atlikti aplinkosauginį projektuojamo objekto vertinimą ir aprašyti darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimą.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Polietilentereftalato granulių gamyba

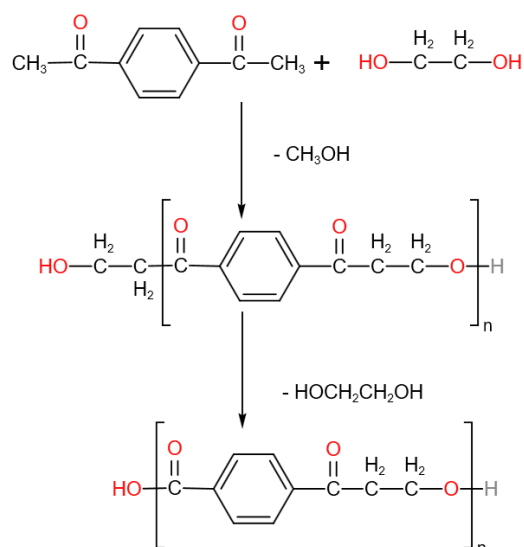
Polietilentereftalatas (PET) yra poliesterio klasės termoplastinis polimeras, naudojamas skysčių, maisto ir gėrimų laikymui, transportavimui, bei sintetinių pluoštų gamybai. Šis poliesteris yra lengva, tvirta, skaidri ir lengvai apdorojama medžiaga, kuri gali būti nudažyta bet kokia pasirinkta spalva. Be to, jis pasižymi cheminiu inertiškumu ir nepakeičia gėrimų skonio ar kvapo.[3] Pagrindinės PET savybės, lemiančios šios medžiagos tinkamumą maisto pakuočių gamybai, yra:

- aukštas sienelių skaidrumo laipsnis ir glotnus paviršius;
- mechaninis stiprumas bei smūgiams atspari struktūra;
- atsparumas cheminiams poveikiams;
- maža dujų difuzija per medžiagos sluoksnį;
- geros perdirbimo galimybės;
- forma išlieka stabili veikiant mechaninėms apkrovoms (nedidelis polinkis deformuotis).

Svarbus PET medžiagos privalumas, kad jos pagrindu gaminami indai pasižymi gerokai mažesne mase, palyginti su stiklo ar kitų medžiagų analogais.

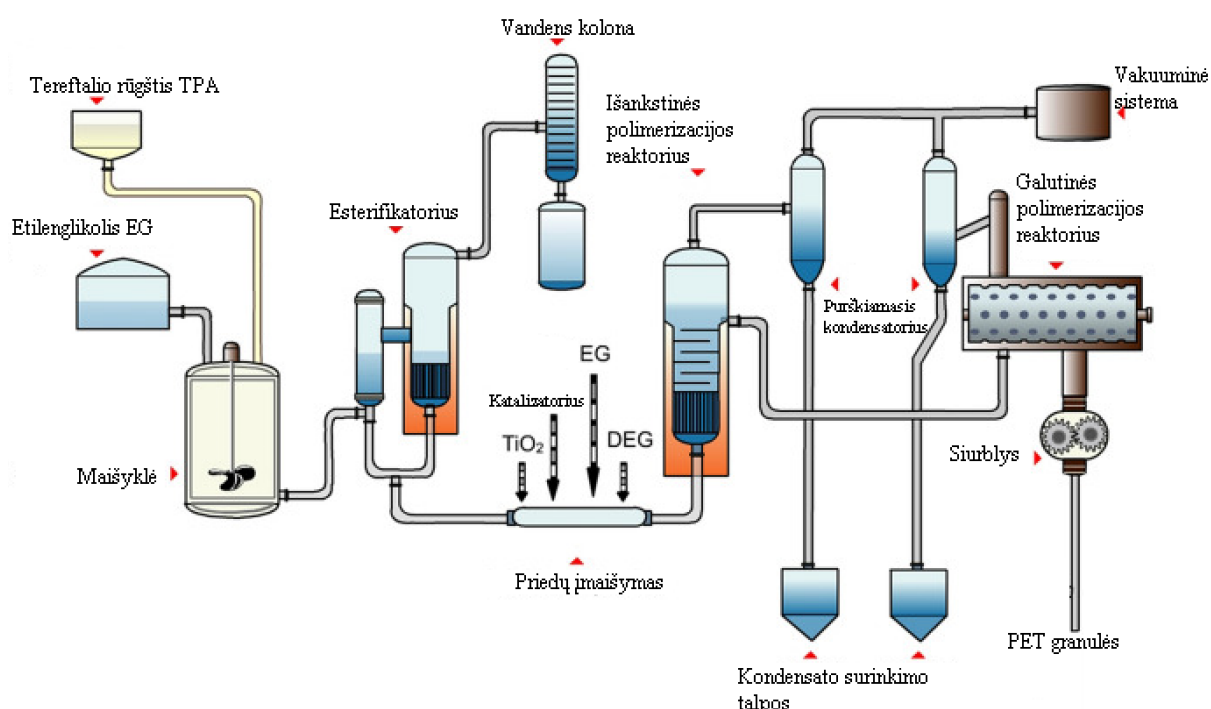
Poliesteriai susidaro reaguojant difunkcinėms rūgštims ir alkoholiams dalyvaujant metaliniam katalizatoriui. Pagrindinis polimerizacijos etapas – kondensacijos reakcija, kurios metu reaguojant kelioms molekulėms susidaro mažos molekulinės masės šalutinis produktas. [4] Po to vyksta antroji polimerizacijos reakcija, kietoje fazėje. PET yra amorfinė medžiaga, kurios kristališkumą galima pagerinti įvedant naujus priedus arba termiškai apdorojant polimero lydalą. PET gali būti gaminamas dviem skirtingais būdais.

Pirmasis būdas atliekamas pramonėje, kuriame naudojamas dimetiltereftalatas (DMT, $C_{10}H_{10}O_4$), tereftalio rūgštis (TPA, $C_8H_6O_4$) ir etilenglikolis (EG, $C_2H_6O_2$). Nors DMT yra gaminamas iš metanolio ir žalios naftos, tačiau taip pat gali būti gaminamas ir iš gamtinių dujų, ir iš distiliuotos žalios naftos. TPA gaminamas iš distiliuotos žalios naftos, atitinkamai naudojant pirminio benzino riformingo, paraksileno ekstrahavimo ir žalios naftos gamybos procesus. DMT taip pat gaminamas tais pačiais proceso etapais.[5] Klasikinis PET gamybos metodas yra trijų etapų procesas (1 pav.). Pirmajame etape DMT lydomas 160 °C temperatūroje, antroje pakopoje jis reaguoja su EG 150 – 200 °C temperatūroje, dalyvaujant silpnai šarminiams katalizatoriams. Stibio, cinko, germanio, titano pagrindu pagaminti sunkiųjų metalų katalizatoriai dažnai naudojami PET gamybos procesuose. Palaikoma žema temperatūra, kad būtų išvengta DMT sublimacijos reakcijos pradžioje, o reakcijos pabaigoje išsiskyręs metanolis (CH_3OH) pašalinamas, kad būtų gautas tarpinis bis(2-hidroksietil)tereftalatas (BHET, $C_{12}H_{14}O_6$). BHET gali būti gaminamas esterinant DMT su EG. Esterinimo reakcijai dažnai naudojamas katalizatorius mangano/cinko acetatas. Trečiajame etape BHET yra polikondensuojamas atmosferos slėgyje, esant šiek tiek aukštesnei nei 250 °C temperatūrai. Reakcijos metu išsiskiriantis EG perteklius pašalinamas, pašalinus EG perteklių sumažinamas slėgis ir pakeliama temperatūra, galiausiai polikondensacijos reakcija baigiama esant 270 – 280 °C.

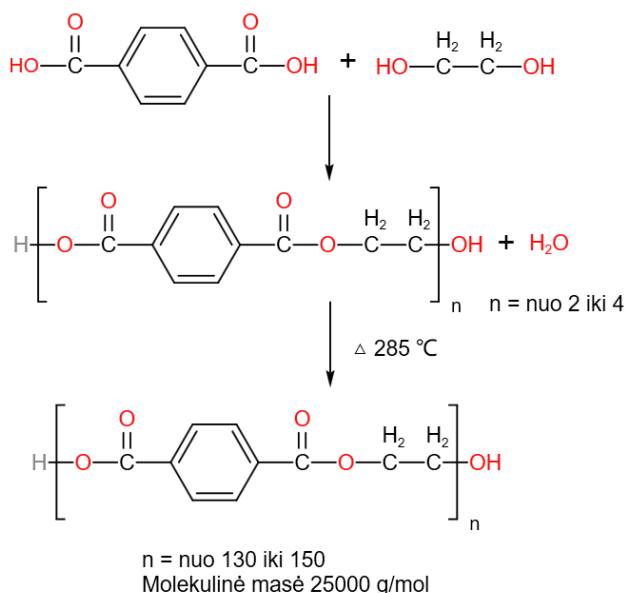


1 pav. PET sintezė naudojant dimetiltereftalatą ir etilenglikolį

Antras dažniau pramonėje taikomas PET gamybos būdas yra naudojant TPA ir EG. PET gaunamas polimerizuojant EG ir TPA (2 ir 3 pav.). EG yra bespalvis skystis, gaminamas iš etileno, o TPA yra kristalinė kieta medžiaga, gaminama iš ksileno. Panašiai kaip DMT ir EG metodu, kai TPA ir EG kaitinami kartu vyksta esterinimas, kurios metu susidaro monomeras BHET, susimaišęs su mažos molekulinės masės polimerais (oligomerais). Reakcijos metu temperatūra palaikoma 220 – 280 °C, dėl mažo tereftalio rūgšties tirpumo. Susidaręs šalutinis produktas – vanduo, nuolat pašalinamas, kad reakcijos balansas būtų pastumtas poliesterinimo naudai (3 pav.). [6] Nors reakcija vyksta ir be katalizatoriaus, reakcijai paspartinti naudojami baziniai katalizatoriai, tokie kaip aminai, titano junginiai, mangano ar cinko acetatai. Įvykus cheminei reakcijai slėgis sumažinamas ir pakeliama temperatūra. EG perteklius pašalinamas distiliuojant. Galiausiai gautas klampus PET gali būti perdirbamas į norimą formą, dažniausiai į granules. [5]



2 pav. PET gamybos iš tereftalio rūgšties ir etilenglikolio schema

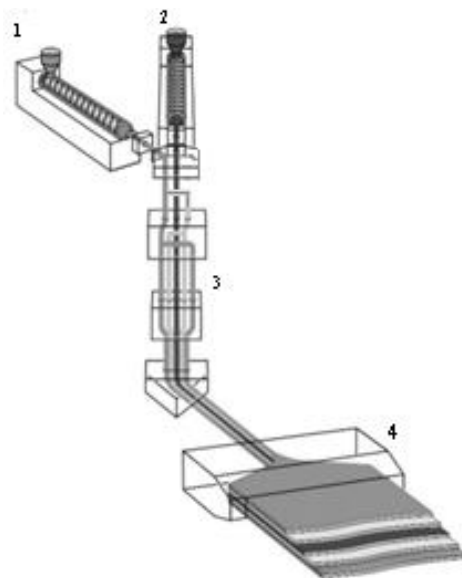


3 pav. PET sintezė naudojant tereftalio rūgštį ir etilenglikolį

1.2. PET plėvelės koekstruzinis liejimas

Pagamintoms iš polimerų plėvelėms keliami labai aukšti reikalavimai, todėl dažniausiai vienasluoksnės plėvelės tampa nepajėgios patenkinti visų rinkos keliamų reikalavimų. Siekiant patenkinti visus rinkos poreikius sukurta daugiasluoksnių plėvelių gamyba, kitaip vadinama koekstruzija. Tokių polimerinių plėvelių privalumas yra tai, kad jose derinami iš skirtingų polimerų pagaminamų plėvelių privalumai, tai yra vieno polimero trūkumai kompensuojami kito polimero privalumais. [7] Taip pat koekstruzijos būdu liejamos plėvelės gali prisidėti prie plastiko atliekų mažinimo. [7] Pavyzdžiui, vidiniam plėvelės sluoksniui naudojant mechaniškai perdirbtas žaliavas. Koekstruzijos proceso metu dviejų ar daugiau polimerų granulės išlydomos atskiruose ekstruderiuose, sujungiamos tiekimo bloke ir išliejamos per plokščiaplyšę galvutę, sudarant daugiasluoksnę plėvelę, kuri išlaiko kiekvieno polimero savybes atskiruose sluoksniuose. A–B–A koekstruzijos sistema susideda iš išorinio A sluoksnio ir vidinio B sluoksnio, kuriuose gali būti naudojami skirtingi polimerai pagal keliamus reikalavimus, arba vidinis sluoksnis užpildomas perdirbtomis A sluoksnio žaliavomis, siekiant užpildyti reikiamą tūrį. Šią sistemą sudaro dvi atskiros ekstruzijos ir lydymo sistemos, naudojamos išlydytiems polimerams paruošti 4 pav. ekstruderiai, filtrai ir lydalo siurbliai, lydalo vamzdžiai, naudojami polimerams tiekti iš ekstruderių, koekstruzijos tiekimo blokas, skirtas formuoti ir sujungti tolygią daugiasluoksnę lydalo formą ir formavimo galvutę. Daugiasluoksnės PET plėvelės gamyba sudaro penkios pagrindinės operacijos: [8]

1. žaliavos paruošimas (džiovinimas, transportavimas);
2. žaliavų išlydymas ekstruderiuose;
3. lydalo tiekimas į koekstruzijos bloką ir liejimo galvutę;
4. plėvelės formavimas kalandre ir aušinimas;
5. plėvelės pjaustymas ir vyniojimas.



4 pav. PET plėvelės koekstruzijos procesas
1 ir 2 ekstruderiai, 3 paskirstymo blokas, 4 liejimo galvutė

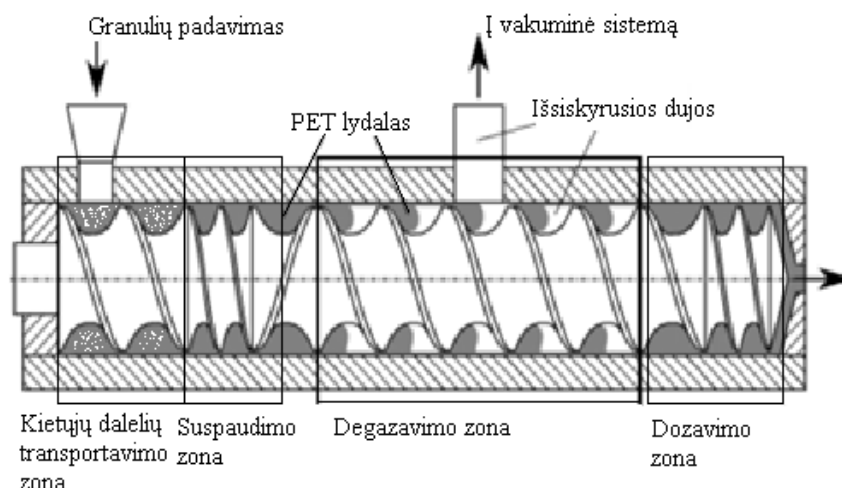
1.2.1. Ekstruzija

Beveik visais plastiko pakuočių gamybos atvejais pirmasis veiksmas yra kietą granulių plastiką paversti lydalais. Šiam tikslui pasiekti naudojama šilumos energija ir slėgis. Tam naudojami ekstruderiai. Ekstruderis naudojamas plėvelėms ir lakštams gaminti, taip pat yra butelių pūtimo ir ekstruzinio liejimo mašinos dalis. Visose šiose srityse naudojami ekstruderiai veikia panašiai, tačiau jie skirtingai tiekia lydalą į formuojančias dalis. PET plėvelės gamyboje dažniausiai naudojama ekstruderių konfigūracija. Kalbant apie A–B–A koekstruzijos sistemą [9] paminėtina tai, kad naudojami du ekstruderiai. A sluoksniui naudojamas viensraigtis ekstruderis, kadangi A sluoksnis naudojamas kaip apsauginis, kuriame naudojamas pirminis PET (pagamintas iš polimerinant TPA ir EG), kuris turės sąlyti su maisto produktais. B sluoksniui naudojamas dvisraigtis ekstruderis, kuriame naudojama PET butelių permala, plėvelės atraižų permala, maišant kartu su pirminiu PET. B sluoksnis naudojamas kaip užpildas, siekiant pasiekti reikiamą PET plėvelės storį, kad būtų galima vėliau lengviau jį perdirbti ir tokiu būdu sumažinti gamybos išlaidas. [10] Kadangi šioje A–B–A PET plėvelės koekstruzijos sistemoje PET granulių išdžiovinimui nėra naudojami džiovintuvai, todėl džiovinimas vyksta ekstruderiuose, naudojant vakuuminius siurblius. Kadangi PET degradoja daug greičiau dėl drėgmės ekstruzijos metu vykstant hidrolizės reakcijai, (kai stambiamolekulinis junginys skyla į monomerus) nei dėl terminės degradacijos. [11] Todėl granulių džiovinimas yra ypač svarbus ekstruzijos proceso metu. Vakuuminis drėgmės pašalinimas vykdomas tiek viensraigčiame, tiek dvisraigčiame ekstruderiuose. Siekiant pašalinti drėgmę yra keičiami tam tikri komponentai lyginant su įprastu ekstruzijos procesu, kuriam naudojami džiovintuvai.

1.2.1.1. Viensraigtis ekstruderis

Viensraigtis ekstruderis PET granules išlydo naudodamas cilindą – tuščiavidurį vamzdį, kuriame yra sraigtas su spiralės formos kanalais. Supaprastinta A–B–A PET plėvelės koekstruzijos sistemos ekstruderio schema pateikta 5 pav. Sraigtas paprastai suskirstytas į keturias dalis: (1) kietųjų dalelių transportavimo sekciją, (2) suspaudimo arba lydymosi sekciją, (3) degazavimo sekciją ir (4) dozavimo sekciją. Koekstruzijos viensraigtis ekstruderis turi dešininės krypties spiralę ant sraigto, o pats sraigtas sukasi prieš laikrodžio rodyklę. Kiti svarbūs komponentai yra bunkeris, kuris tiekia

granules ar kitas medžiagas į ekstruderį per padavimo angą, ir antgalis, per kurį išsilydęs plastikas išeina iš ekstruderio. [12]



5 pav. Ekstruderio su degazavimo zona schema

1.2.1.2. Bunkeris ir tiekimo anga

PET granulės pirmiausia perkeliama iš sandėliavimo talpyklos į ekstruderio bunkerį, kuris veikia kaip rezervuaras, tiekiantis kietąsias daleles į cilindą. Dauguma ekstruzijos procesų yra automatizuoti bent jau tiek, kad medžiaga į bunkerį būtų tiekama automatiškai pneumatiniu būdu naudojant vakuuminius siurblius. Taip pat bunkeriuose įrengta specializuota įranga, skirta papildomai dozuoti spalvos pigmentus ar kitus priedus, tokius kaip antioksidantai ar slydimo agentai. Bunkeriai paprastai yra apskritimo arba apverstos piramidės formos, kad būtų išvengta žaliavos tiekimo netolygumų. Jų skersmuo palaipsniui mažėja artėjant prie padavimo angos. Paprastai plastiko patekimą į ekstruderį užtikrina gravitacija, tačiau naudojant antrines žaliavas, tokias kaip sumaltos plėvelės atliekos, į tiekimo bunkerį dedami vibraciniai varikliai arba maišytuvai, skirti priverstinai tiekti žaliavą į ekstruderį.[13]

1.2.1.3. Kietųjų dalelių transportavimo sekcija

Pagrindinė transportavimo sekcijos funkcija yra tiekti PET granules į priekį iki suspaudimo zonos, kai jos per bunkerį ir padavimo angą patenka į cilindą. Transportuojant PET granules per padavimo sekciją, pašalinami tiekimo netolygumai, granulės suspaudžiamos ir padidėja tankis. Transportavimo sekcijoje, kaip ir visame ekstruderyje, plastiko judėjimą į priekį lemia trintis tarp PET granulių ir cilindro. Jei šios trinties nebūtų, plastikas tiesiog suktųsi kartu su sraigtu ir nejudėtų į priekį. Siekiant padidinti trintį sraige padavimo sekcija yra išraižoma grioveliais tai pagerina plastiko transportavimą sraigtu. Šie grioveliai paprastai išdėstomi išilgai cilindro ašies per kelis sraigto skersmenis. Svarbu, kad griovelių turinti sekcija būtų aušinama, kad besilydantis plastikas nesikaupytų grioveliuose ir neįvyktų terminė PET degradacija. [14]

1.2.1.4. Suspaudimo sekcija

Sraigto suspaudimo sekcijos pagrindinė funkcija yra PET granulių išlydimas. Sraigto kanalo gylis mažėja, dėl to didėja slėgis, granulės spaudžiamos prie cilindro sienelės didesne jėga. Plastiko lydymą lemia tiek išoriniai elektriniai kaitinimo elementai, tiek susidaranti papildoma šilumos energija dėl trinties tarp PET granulių ir cilindro taip pat tarp pačių granulių. Mažuose ekstruderiuose, kurių cilindro skersmuo mažesnis nei 5 cm, didžioji dalis šilumos dažniausiai gaunama iš išorinių kaitinimo elementų. Pramoniniuose ekstruderiuose didžiąją dalį šilumos sukuria trintis. Tokiuose ekstruderiuose cilindro galinėse sekcijose gali tekti pašalinti šilumos perteklių naudojant vandeniu arba oru aušinamus šilumokaičius, siekiant išvengti plastiko terminės degradacijos. Intensyviausias lydymasis vyksta ties riba tarp kieto sluoksnio ir susidariusio išlydyto plastiko, kuris kaupiasi vadinamojoje lydalo zonoje. Idealiu atveju kietasis sluoksnis turėtų išlikti vientisas tol, kol visiškai virsta lydalų. [12]

1.2.1.5. Degazavimo ir dozavimo sekcija

Svarbiausia degazavimo zonos paskirtis pašalinti susidariusias dujas iš ekstruderio. 270 – 300 °C temperatūroje hidrolizinis skilimas yra 5000 – 10 000 kartų spartesnis nei terminė polimero degradacija, todėl šioje zonoje vakuuminiais siurbliais palaikomas 1 – 10 mbar absoliutus slėgis. Taip pat šioje sekcijoje iš lydalo pašalinami visi dar esantys arba naujai susidarę (dėl medžiagos skilimo) mažos molekulinės masės komponentai ir vanduo. Veiksmingas degazavimas pasiekiamas dėl tinkamo degazavimo zonos ilgio, padidėjusio kanalo gylio, kuris padidina lydalo paviršiaus plotą, kadangi sraigto vijos nėra pilnai užpildomos polimero lydalų, kas užtikrina veiksmingą dujų pašalinimą iš ekstruderio per vakuuminę ventiliacijos angą. Tai sumažina energijos sąnaudas daugiau nei 30 %, lyginant su žaliavos džiovinimu džiovintuvuose. [15] Sraigto dozavimo sekcijoje kanalo gylis vėl tampa pastovus. Ši sraigto dalis yra atsakinga už išlydyto polimero tiekimą reikiamu ir tolygiu greičiu į formavimo įrenginį. Taigi, jos pagrindinė funkcija yra išlydyto polimero transportavimas. [16]

1.2.1.6. Dvisraigis ekstruderis

Dvisraigiai ekstruderiai A–B–A PET plėvelės koekstruzijos sistemoje atlieka tuos pačius pagrindinius polimerų apdorojimo etapus kaip ir viensraigis ekstruderis. Tai yra jų veikimo principas toks pats, kadangi sraigčiai turi tas pačias tris pagrindines zonas, skirtas polimerams išlydyti, pagrindinis skirtumas, kad ekstruderis susideda iš dviejų šalia esančių sraigtų viename cilindre. Dvisraigiai ekstruderiai skirstomi pagal sraigto išdėstymą cilindre ir sraigtų sukimosi kryptį. Dažniausiai PET plėvelės gamyboje naudojama dvisraigčio ekstruderio konfigūracija – kartu besisukantys, iš dalies persidengiantys sraigčiai. [17] Ši konfigūracija leidžia naudoti iki 100 % amorfinio, mechanškai perdirbto PET, kadangi amorfinis PET daug geriau absorbuoja drėgmę iš aplinkos nei kristalinis PET. Dėl unikalių sraigtų tarpusavio sąveikų, tokių kaip intensyvus maišymas, dalinis sraigto užpildymas žaliava, labiau kontroliuojamas šilumos perdavimas, kurių nėra viensraigčiuose ekstruderiuose, todėl drėgmės pašalinimas iš ekstruderio vyksta žymiai efektyviau. [15]

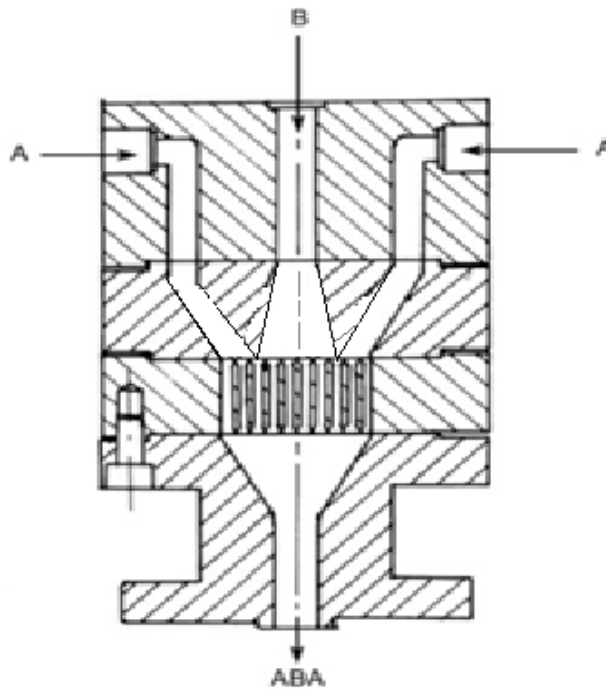
1.2.2. Paskirstymo blokai

Paskirstymo blokas tai yra lyg sujungimo taškas, kuriame sujungiamos skirtingos išlydyto polimero srovės prieš patekdamos į formavimo galvutę 6 pav. Tuomet prie paskirstymo bloko prijungiama formuojančioji galvutė, kad būtų suformuota koekstruzinė struktūra. Paskirstymo blokai daugiausia naudojami liejamosios plėvelės gamybos procesuose. Išlydyto polimero masė teka paskirstymo bloke laminariniu tekėjimu, tai reiškia, kad skirtingi sluoksniai nesusimaišo tarpusavyje. Kiekvienas sluoksnis išlaiko savo atskiras savybes viso gamybos proceso metu. [18]



6 pav. Paskirstymo bloko kartu su liejimo galvute vaizdas iš šono [19]

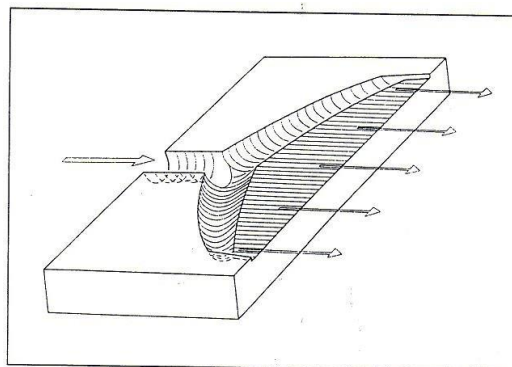
Paskirstymo blokas yra suprojektuotas su angomis kiekvienam koekstruzinės struktūros sluoksniui. Pavyzdžiui, 7 pav. pavaizduotas sumodeliuotas paskirstymo blokas, turintis tris angas, per kurias gali būti tiekiami trys skirtingi polimerų srautai, arba gali būti gaminama A–B–A koekstruzinės plėvelės struktūra, kai vidinis polimeras apgaubiamas išoriniu sluoksniu aplink jį. Šiame pavyzdyje paskirstymo blokas prijungtas prie dviejų ekstruderių, kad būtų pagaminta A–B–A sluoksnių struktūra. Ekstruderyje A išlydytas polimeras paskirstymo bloke yra padalijamas į dvi dalis – viena dalis nukreipiama į viršutinį kanalą, kita į apatinį. Polimeras B, tiekiamas iš antro ekstruderio, gali patekti į centrinį kanalą paskirstymo bloke. Reikalingas ekstruderių našumas priklauso nuo kiekvieno sluoksnio storio galutiniame koekstruzinės plėvelės produkte. [19] Jei sluoksnis A yra skirtas barjerinėms savybėms arba sąlyčiui su maisto produktais, tai šiam sluoksniui gali būti naudojamas mažesnis ekstruderis, nes šis sluoksnis paprastai sudaro tik 14 – 25 % visos srauto masės. Jei B sluoksnis sudaro vidinį plėvelės sluoksnį ir yra pagrindinė konstrukcijos dalis, tai jam gali būti naudojamas didesnio našumo ekstruderis. Paskirstymo bloko angos yra suprojektuotos atsižvelgiant į sluoksnių santykinius storius galutinėje struktūroje. Pavyzdžiui, jei gaminama trijų sluoksnių plėvelė su A–B–A struktūra ir sluoksnių pasiskirstymas yra 10:80:10, tuomet ir paskirstymo bloko angų dydžiai yra atitinkamai pritaikomi.



7 pav. Paskirstymo bloko A–B–A PET plėvelei schema

1.2.3. Liejimo galvutė

Pagrindinės liejimo galvutės sudedamosios dalys yra įėjimo kanalas, kuris tiekia išlydytą masę iš paskirstymo bloko į liejimo lūpas. Liejimo lūpos suprojektuotos taip, kad tolygiai paskirstytą išlydytą masę per visą liejimo lūpų ilgį. Dažniausiai koekstruzijos būdu gaminamos PET plėvelės gamyboje naudojama pakabos formos liejimo lūpos 8 pav. Būtent šio tipo liejimo formos pasirenkamos dėl keleto priežasčių, tai yra lydalo tekėjimo greitis bet kuriame liejimo lūpų taške išlieka vienodas, tai leidžia tolygiai paskirstyti išlydytą masę per visą liejimo lūpų ilgį ir gauti vienodo storio plėvelę. Liejimo galvutės paprastai aprūpintos srauto regulatoriais, pavyzdžiui liejimo lūpų tarpo reguliavimu. Kuris leidžia koreguoti procesinius nuokrypius, temperatūros ar srauto greičio svyravimus. [12]

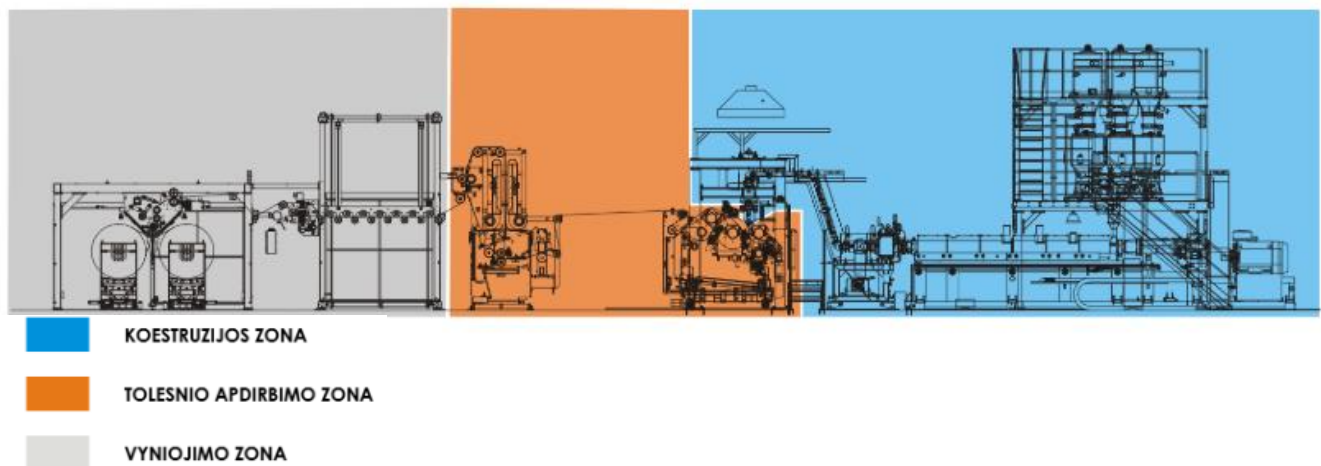


8 pav. PET plėvelės liejimo galvutės schema

1.2.4. Plėvelės formavimas

Koekstruziniu liejimo būdu gaminama plėvelė gaunama išlydytą polimerą ekstruduoiant pro liejimo galvutę žemyn tarp dviejų poliruotų aušinimo volelių su chromo danga, siekiant suteikti plėvelei

tinkamas paviršiaus savybes (kuo lygesnį paviršių), kaip parodyta 9 pav. Iš liejimo galvutės ištekėjusi polimero masė krenta tarp dviejų besisukančių aušinimo volų. Keičiant volų sukimosi greiti ir tarpą tarp volų, keičiamas reikiamas plėvelės storis, tuo pačiu plėvelė ataušinama žemiau polimero stiklėjimo temperatūros. [20] Siekiant gauti skaidrią amorfinę PET plėvelę reikia polimero lydalą greitai ataušinti žemiau 80 °C temperatūros. Kadangi PET stiklėjimo temperatūra 80 °C, jei aušinimas vyktų lėtai arba iki aukštesnės nei 80 °C temperatūros šituo atveju prasideda PET kristalizacija, tai yra susidaro kristalizacijos centai, gaunama drumsta, trapi PET plėvelė, kuri nėra tinkama maisto pakuočių gamyboje. [21] Suformuota plėvelė toliau juda S formos trajektorija aplink du ar daugiau aušinimo volelių. Pirmieji du aušinimo voleliai dažniausiai veikia ne žemesnėje kaip 35 °C temperatūroje, o tolimesni voleliai palaipsniui mažina temperatūrą, kad plėvelė pakankamai atvėstų ir ją būtų galima supjaustyti reikiamu pločiu bei susukti į ritinius.



9 pav. PET plėvelės gamybos koekstruzijos būdu technologinė linija

2. Tiriamoji dalis

2.1. Tyrimo objektas

A–B–A tipo 3 sluoksnių PET plėvelių bandiniai, kurių sudėtis pateikta 1 lentelėje, buvo pagaminti įmonėje UAB „Doloop“. PET plėvelės išorinių sluoksnių storis sudaro 8 % viso skerspjūvio ploto, vidinis sluoksnis 84 %. Išoriniam sluoksniui naudotas tik 100 % pirminis PET (pagamintas iš polimerizuojant TPA ir EG) kartu su plastifikatoriumi AB, kuris naudojamas skirtingais kiekiais. Vidiniam sluoksniui naudojamas po vartojimo mechaniškai perdirbtas PET (plėvelės atraizos, PET butelių dribsniai), esant poreikiui naudojami polipropileno pagrindu pagaminti dažai. Taip pat naudojami skysti priedai paviršiaus apdorojimui, tokie kaip slydimo agentas, rasojimą stabdantis priedas, kurie padengiami suformavus PET plėvelę. Žemiau, 1 lentelėje pateikiama PET plėvelės mėginių sudėtis, naudojamos žaliavos ir priedų kiekis (A – išorinis sluoksnis, B – vidinis).

1 lentelė. Plėvelės bandinių sudėtis

Bandinys	Plėvelės storis μm	A sluoksnio sudėtis	B sluoksnio sudėtis
1	180	97,6 % PET; 2,4 % AB	20 % RPET; 80 % PET
2	220	97,6 % PET; 2,4 % AB	20 % RPET; 80 % PET
3	600	97,6 % CPET; 2,4 % AB	40 % PET dribsniai; 60 % PET
4	600	97,6 % PET; 2,4 % AB	15 % PET dribsniai; 85 % PET
5	350	97,6 % PET; 2,4 % AB	15 % PET dribsniai; 85 % PET
6	500	96,7 % PET; 3,3 % AB	15 % PET dribsniai; 85 % PET
7	340	96,7 % PET; 3,3 % AB	20 % PET dribsniai; 80 % PET
8	1000	97,6 % PET; 2,4 % AB	100 % PET dribsniai
9	400	97,4 % PET; 2,6 % AB	76 % PET dribsniai; 20 % PET; 4 % balti dažai
10	400	92,6 % PET; 2,4 % AB; 5% matiškumo priedas	50 % PET dribsniai; 47 % PET; 3 % rudi dažai
11	260	97,6 % PET; 2,4 % AB	46,5 % PET dribsniai; 50 % PET; 3,5 % pilki dažai
12	500	97,6 % PET; 2,4 % AB	70 % PET dribsniai; 23 % PET; 3 % juodi dažai
13	700	97,6 % PET; 2,4 % AB	70 % PET dribsniai; 23 % PET; 3 % juodi dažai

AB – naudojamas plastifikatorius „A SA 1041 ST Slip/Antriblock“.

CPET – kristalizuotas polietilentereftalatas, turintis aukštesnę stiklėjimo temperatūrą ir pasižymintis geresnėmis barjerinėmis savybėmis.

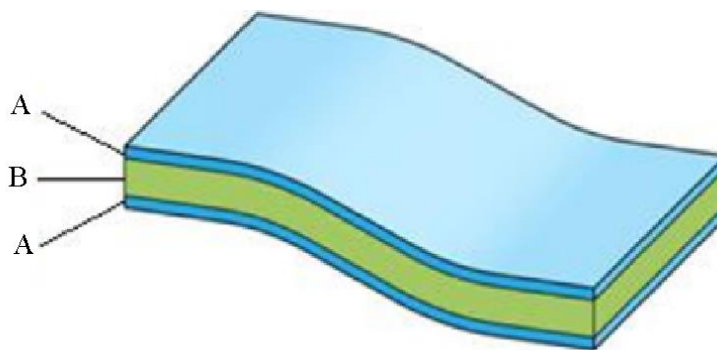
RPET – cheminiu būdu perdirbtas PET.

PET dribsniai – mechaniniu būdu perdirbtas PET.

Matiškumo priedas – priedas suteikiantis plėvelei matinį paviršių, dispersuotos neorganinės mikrodalelės (SiO_2) PET matricos pagrindas.

Visi prieš tai išvardinti bandiniai pagaminti tiek įmanoma gamyboje, panašiomis sąlygomis, tai yra ekstruderių našumas visų gamybų metu buvo toks pats 1100 kg/h PET plėvelės, naudotos tos pačios kaitinimo temperatūros, prieš pradedant gamybą ir jos metu išliko toks pats žaliavų drėgnumas (remiantis vakuuminių siurblių rodmenimis, kuris šalina drėgmę iš ekstruderio, ekstruzijos metu).

Bandiniai formuoti vienodomis sąlygomis, siekiant įvertinti priedų ir žaliavos įtaką gaminamam produktui.



10 pav. Trijų sluoksnių PET plėvelė A – išorinis sluoksnis, B – vidinis sluoksnis

Plastifikatorius AB, kartu sumaišomas su PET granulėmis ekstruderyje. Jis sumažina gaminamos PET plėvelės trinties koeficientą, tačiau minimaliai veikia plėvelės skaidrumą todėl didinant jo kiekį gaunama mažiau skaidri plėvelė. Plastifikatorius skirtas PET plėvelėms, naudojamoms termoformavimui. Jį galima naudoti pakuotėse turinčioms sąlyti su maisto produktais.

Žemiau pateikiamos plastifikatoriaus savybės ir apdorojimas prieš naudojimą.

2 lentelė. Plastifikatoriaus AB savybės

Savybė	Vienetai	
Polimeras		PET (poliesteris, kristalizuotas)
Sudėtis		Antiblokavimo dalelės ir vaškas
Stiklėjimo temperatūra	°C	Apie 80
Savitasis tankis	g/cm ³	1,35
Tankis	kg/m ³	880
Drėgmė	%	Kiekis ne didesnis nei 0,5 % paimtos bandymui masės.
Granulių dydis	mm	Ilgis 2,5
Pritaikymas		Daugiasluoksnės plėvelės ekstruzija
Džiovinimas		4 valandos ne aukštesnėje nei 60 °C temperatūroje. Sausinantis oro džiovintuvas, kurio rasos taškas ne aukščiau – 40 °C.
Dozavimas		1,0 – 2,5 % tikrasis dozavimo kiekis turi būti paremtas bandymais.

2.2. Produkto klampos matavimas

2.2.1. Įranga ir matavimų metodika

Iš kiekvieno pagaminto PET plėvelės ritinio yra paimamas produkto mėginys, siekiant vėliau nustatyti gaminio savitąją klampą. Tai padaryti yra labai svarbu, nes gavus šią informaciją galima nustatyti termoformavimo proceso sąlygas, tai lyg kokybės indeksas skirtas užtikrinti keliamus kokybės reikalavimus. PET mėginių tirpalų savitąją klampą galima lengvai nustatyti iš praskiestųjų polimero tirpalų naudojant kapiliarinį viskozimetrą. Polimerinio tirpalo klampos nustatymas gali suteikti informacijos apie tam tikrų polimerų molekulinės charakteristikas, tokias kaip molekulinė masė ir polimerinių grandinelių ilgis. [22] PET mėginių tirpalų klampa matuojama siekiant nustatyti

savitąją klampą. Klampa apskaičiuojama pagal standartinius metodus ASTM D 4603 arba ASTM D 2857. Šie du metodai skiriasi tuo, kad ASTM D 4603 leidžia nustatyti PET mėginio savitąją klampą naudojant vieną koncentraciją, o ne skiedžiant pradinį tirpalą kaip atliekama pagal ASTM D 2857 standartą. Daugiasluoksnės PET plėvelės tirpalo klamos matavimai atlikti pagal ASTM D 4603 standartą. ASTM D 4603 taikomas tik 30 °C temperatūroje. PET tirpalams ruošti naudojamas tirpiklis, sudarytas iš fenolio ir 1,1,2,2-tetrachloretano santykiu 60:40. [23] Tirpiklis ir PET maišomas kol polimeras ištirpsta, tada tirpalas filtruojamas, o tiksli gautų tirpalų koncentracija nustatoma išgarinant žinomą tirpalo tūrį. Naudojant Billmeyerio lygtį (1) galima nustatyti polimerinio tirpalo savitąją klampą 30 °C temperatūroje, esant unikaliam koncentracijai:

$$[\eta] = 0,25 \cdot \left(\frac{\eta_r^{-1+3 \cdot \ln \eta_r}}{c} \right) \quad (1)$$

Tyrimams buvo naudojamas viskozimetras U 4944 2KRK, kuriame nurodoma naudojamo PET tirpalo koncentracija 0,005 g/cm³ ir tirpiklio kinematinė klampa 3,345 mm²/s. Gauti rezultatai pateikiami žemiau 3 lentelėje. Klamos ir polimero mėginio vidutinės molekulinės masės santykį galima apskaičiuoti pagal Marko-Houwinko lygtį (2) naudojant gautą PET tirpalo savitąją klampą.

$$[\eta] = K \cdot M^\alpha \quad (2)$$

Tačiau norint naudoti lygtį (2), reikia žinoti tikslias konstantų K ir α vertes, kurios yra specifinės naudojamo polimero tipo, tirpiklio ir temperatūros sąlygoms. PET, kuris tirpsta 60:40 fenolio/1,1,2,2-tetrachloretano tirpale 30 °C temperatūroje, konstantų $K = 2,1 \cdot 10^{-4}$ ir $\alpha = 0,82$. Remiantis konstantomis apskaičiuotos vidutinės molekulinės masės vertės. [23]

3 lentelė. Gauti bandinių savitosios klamos ir molekulinės masės rezultatai

Bandinys	Savitoji klampa dl/g	Molekulinė masė g/mol
1	0,69	40 150
2	0,69	40 150
3	0,68	39 310
4	0,73	43 570
5	0,72	42 680
6	0,70	40 940
7	0,68	39 310
8	0,65	36 940
9	0,67	38 470
10	0,64	36 120
11	0,66	37 690
12	0,65	36 940
13	0,65	36 940

Remiantis tyrimo rezultatais galima teigti, kad priedai mažina PET plėvelės savitąją klampą ir molekulinę masę, tačiau nesumažina iki nepriimtinos ribos. Leistina savitoji klampa PET plėvelėms, kurios naudojamos termoformavimui yra 0,6 – 0,85 dl/g. [24]

2.3. PET plėvelės mechaninių savybių tyrimas

Plastikų atsparumas tempimui vertinamas nustatant jų įtempio – deformacijos priklausomybę, kuri yra viena svarbiausių PET plėvelės mechaninių savybių. Šios priklausomybės nustatymui naudojami standartizuotos formos bandiniai, o tempimo greitis svyruoja nuo 1 iki 500 mm/min fiksuojant tempimo jėgą ir santykinį pailgėjimą. Atsparumo tempimui riba apibūdinamas medžiagos gebėjimas priešintis tempimo jėgai iki bandinio nutrūkimo ribos. Tempimo bandymas atliktas su prieš tai išvardintais bandiniais (žr. 1 lentelę) 23 ± 3 °C temperatūroje ir patalpoje esantis drėgnis 50 ± 5 %. Bandymas atliekamas pagal standartą ASTM D882. Iš PET plėvelės buvo išpjauti 150 mm ilgio ir 25 mm pločio bandiniai. Bandymai buvo atliekami su elektromechaniniu, universaliu tempimo aparatu Testometric M500-50CT, nustatytas tempimo greitis 150 mm/min ir įrašomas matuojamos plėvelės storis. Bandiniai įtvirtinami griebtuvuose taip, kad neišslystų ir paleidžiamas bandymas. Bandymo metu matuojami šie parametrai: tempimo stipris (σ), santykinis pailgėjimas (ϵ) esant didžiausiai jėgai ir plėvelei nutrūkus. [25] Gauti rezultatai pateikiami 5 lentelėje.

4 lentelė. Gauti PET plėvelės mechaninių savybių rezultatai

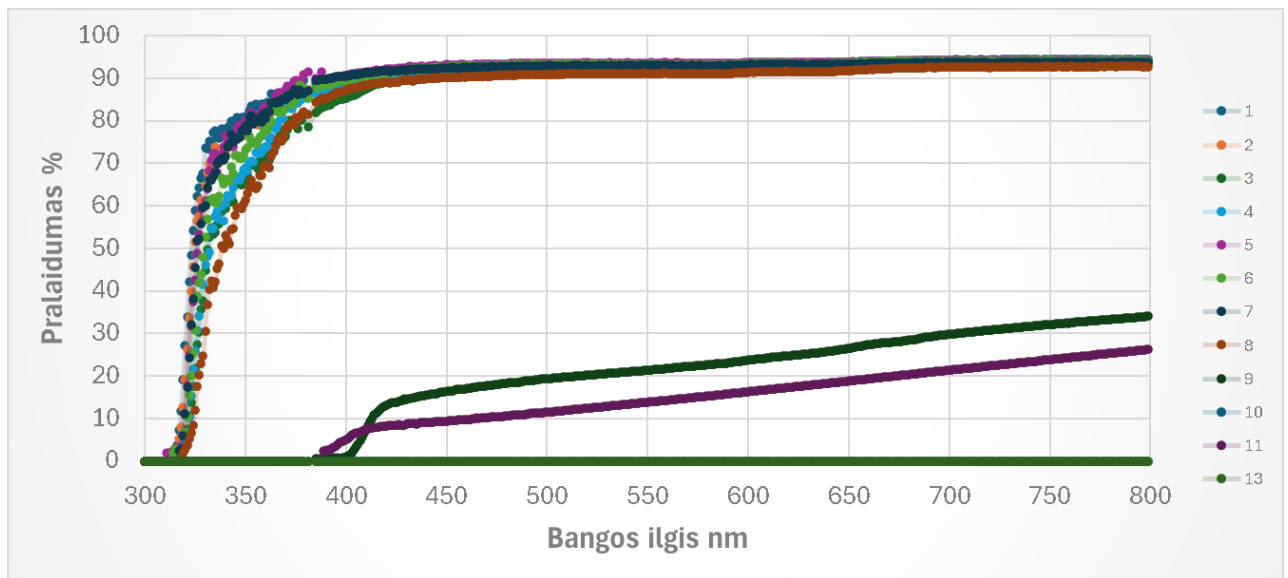
Bandinio Nr.	σ , MPa	ϵ , mm
1	46,00	2,205
2	51,23	2,612
3	55,13	2,831
4	56,06	3,667
5	55,51	2,767
6	48,78	2,759
7	51,62	3,006
8	56,15	3,411
9	51,03	2,848
10	58,33	2,758
11	53,38	2,706
12	53,07	2,765
13	57,83	2,769

Atlikti PET plėvelės tempimo bandymai, siekiant ištirti priedų įtaką PET plėvelės mechaninėms savybėms. Etalonu pasirinkta laikyti 4 bandinį, kadangi jis pagamintas naudojant daugiausiai priminės žaliavos, turintis mažiausią priedų kiekį. Plėvelės sudėtyje didinant plastifikatoriaus AB kiekį nuo 2,4% (4 bandinys – etalonas) iki 3,3 % (6 bandinys) pastebimas ganėtinai nemažas stiprumo ribos sumažėjimas nuo 56,6 MPa iki 48,72 MPa, taip pat pastebimas santykinio pailgėjimo sumažėjimas nuo 3,667 mm iki 2,756 mm. Užpildžius visą vidinį PET plėvelės sluoksnį sumaltų butelių dribsniais (8 bandinys) matomas menkas santykinio pailgėjimo sumažėjimas iki 3,411 mm. Naudojant 20 % RPET į vidinį PET plėvelės sluoksnį matomas ryškus plėvelės mechaninių savybių suprastėjimas, stiprumo riba sumažėja iki 46 MPa ir santykinis pailgėjimas iki 2,205 mm. Naudojant dažus PET plėvelės gamyboje matomas mechaninių savybių pasikeitimas, lyginant su etalonu. 9, 10, 11, 12, 13 bandiniuose matomas nežymus stiprumo ribos padidėjimas iki 56,68MPa, bet santykinio pailgėjimo sumažėjimas nuo 3,89mm iki 2,768mm. Remiantis gautais rezultatais galima teigti, kad

bandinius turinčius didesnę santykinę pailgėjimą (nuo 3,667 mm iki 3,006 mm) galima naudoti sudėtingesnio dizaino termoformuojamiems indeliams gaminti, kadangi sumažėja rizika PET plėvelei trūkti termoformavimo metu. PET plėvelės bandinius, kurių santykinis pailgėjimas yra mažesnis nei 3 mm patartina naudoti, paprastesnio dizaino formose, kuriose nereikalingas didelis PET plėvelės ištempimas. [26,27]

2.4. PET plėvelės pralaidumas UV ir regimajai šviesai

Ultravioletinių spindulių spektroskopija arba spektrofotometrija yra kiekybinis metodas, naudojamas matuoti, kiek cheminė medžiaga sugeria šviesos. Tai veiksminga analitinė priemonė tiriant, kaip molekulės sugeria matomąją ir ultravioletinę šviesą. Tai atliekama matuojant šviesos intensyvumą, prasiskverbusį pro mėginį, ir šviesos intensyvumą, prasiskverbusį pro etaloninį mėginį arba tuščią mėginį. Ultravioletinės ir regimosios spektroskopijos principas pagrįstas cheminių junginių ultravioletinės arba regimosios šviesos absorbcija, dėl kurios susidaro skirtingi spektrai. [28] PET plėvelė skirta kontaktui su maisto produktais UV spindulių pralaidumas tampa ypač reikšmingas, nes tai tiesiogiai gali daryti įtaką maisto apsaugai, kokybei ir maisto produktų galiojimo laikui. Maisto produktai turintys baltymų, riebalų ar vitaminų ir t.t. veikiant UV spinduliams patiria cheminius pokyčius, kurie sukelia kvapo, skonio ar spalvos pokyčius. UV spinduliai gali inicijuoti fotodegradaciją, kurios metu susidaro reaktyvios deguonies rūgštys, kurios reaguodamos su maistu skatina kenksmingų medžiagų (ketonų, aldehydų) susidarymą. Taigi maisto pakuotės, kurios turi mažą UV spindulių pralaidumą gali prailginti maisto produktų galiojimo laiką, kurie laikomi apšviestose vietose, kaip prekybos centrai. [29–31] Bandymams atlikti naudotas UV-VIS spektrofotometras Perkin Elmer Lambda 35. Bandymas atliktas 300 – 800 nm bangos ilgio intervale, kuris apima UV spindulių, regimosios šviesos ir IR spindulių, dar kitaip vadinama optinių bangų diapazonu. Iš 10 pav. matome, kad trumpėjant bangos ilgiui pastebimas staigus pralaidumo sumažėjimas ties 380 nm bangos ilgio riba, bespalvėms PET plėvelės bandiniams tik 8 bandiniui (kuris pagamintas iš 100 % sumaltų butelių dribsnių), pralaidumo sumažėjimas yra greitesnis lyginant su kitais bespalvės plėvelės bandiniais. Pažvelgus į spalvotus PET plėvelės bandinius (9, 10, 11, 13), matome, kad baltos plėvelės bandinys (9), visai nepraleidžia UV spindulių, bet pailgėjus bangos ilgiui matomas šviesos pralaidumo padidėjimas iki 43 %. Pilkos plėvelės (11) pralaidumo spektras panašus į baltos (9), tačiau pastebimas nedidelis UV spindulių pralaidumas (nuo 360 nm). Bandiniai 10 (rudos spalvos), 13 (juodos spalvos) viso bandymo metu nepraleidžia šviesos spindulių.



11 pav. PET plėvelės bandinių pralaidumas UV ir regimajai šviesai

Remiantis bandymo duomenimis galima teigti, kad naudojami priedai ir jų koncentracija bespalvių PET plėvelės gamyboje nepakeičia plėvelės pralaidumo savybių. Naudojant dažus, kaip priedą, galima sumažinti UV spindulių pralaidumą ir net regimosios šviesos spindulius. Siekiant naudoti bespalves plėveles maisto pakuočių gamyboje, kurie turi baltymų, riebalų ar vitaminų, būtų naudinga apsvarstyti apie UV filtrų įmaišymą į galutinį produktą, o spalvotos plėvelės pakuotės būtų tinkamos naudoti maisto produktams, kurie yra jautresni fotodegradacijai.

2.5. PET plėvelės trinties koeficiento matavimas

Siekiant išlaikyti tinkamą maisto produktų išvaizdą pakuotėse t.y. sumažinti pakuotės nusidėvėjimą, palengvinti maisto pakuočių gamybą iš PET plėvelės, yra naudojami priedai, kuriais sumažinamas gaminamos plėvelės trinties koeficientas. Šiame tyrime naudojamas plastifikatorius AB. Slydimo ir antiblokavimo priemonė apsaugo lakštus nuo prilipimo prie ritinių pirminio gamybos proceso metu, pagerina pagamintos PET plėvelės suvyniojimą į ritinius, padeda termoformavimo proceso metu išimti iš formų termoformuotas pakuotes. [32] Tyrimas atliekamas pagal bandymų standartą BS EN ISO 8295 [33] leidžia apskaičiuoti dviejų paviršių statinį ir kinetinį trinties koeficientą μ . Šis standartas taikomas plastikinėms plėvelėms ir lakštams, kurie apibrėžiami kaip nelipnūs ir ne storesni nei 1 mm. PET plėvelės trinties koeficientai įvertinami iš anksto paruoštus bandinius tempiant judamuoju šliaužikliu ant nejudančios plokštelės, ant kurios įtvirtinama tos pačios plėvelės, skirtos bandiniui pagaminti. Tyrimas atliekamas matuojant trinties koeficientą vidinei PET plėvelės pusei slystant kito bandinio vidine puse. Bandinių paruošimui keliama reikalavimai, tai kad bandiniai tyrimui paliekami tris paras 20 °C temperatūroje esant 50 % santykinei oro drėgmei prieš bandymų pradžią. PET plėvelė neturi būti užteršta pašalinėmis medžiagomis (dulkėmis, pirštų antspaudais), kad nepakenktų tyrimo rezultatams. Taip pat paruošiami dviejų tipų bandiniai. pirmas bandinys atpjaunamas 7 x 10 cm stačiakampio formos, antras bandinys 16 x 45 cm stačiakampio formos. Pirmasis bandinys klijuojamas ant judamojo šliaužiklio (svoris 200 g) dvipuse lipnia juosta, o antrasis spaustukais įtvirtinamas į nejudančią plokštelę. [34] Naudojant trinties koeficiento matavimo įrenginį „MECMESIN“ pasirenkamas bandymų standartas BS EN ISO 8295, tuo pačiu nustatomas

100 ± 10 mm/min bandinio tempimo greitis ir paleidžiama programa. Atliekant eksperimentą svarbu, kad šliaužiklis ir nejudančioji plokštelė išliktų viename aukštyje, taip pat kad tempimas vyktų tiesia linija. Bandiniams naudojama 300 µm trijų sluoksnių PET plėvelė pagaminta iš tų pačių žaliavų tik naudojamas skirtingas plastifikatoriaus AB kiekis į išorinį plėvelės sluoksnį. 6 lentelėje pateikiami gauti rezultatai.

5 lentelė. Bandinių dinaminio ir kinematinio trinties koeficiento rezultatai

Bandinys	Statinis trinties koeficientas μ	Kinematinis trinties koeficientas μ
0 % AB	0,51	0,38
1 % AB	0,41	0,31
2 % AB	0,37	0,28
2,4 % AB	0,31	0,23
3 % AB	0,27	0,20
3,3 % AB	0,24	0,18
3,5 % AB	0,20	0,15

Remiantis bandymo rezultatais galima teigti, kad naudojamas plastifikatoriaus AB ganėtinai veiksmingai mažina tiek statinį tiek kinematinį trinties koeficientą, kuris padeda termoformavimo proceso metu gaminant plastikinius indelius. Remiantis AB plastifikatoriaus gamintojo rekomendacijomis, naudojamo priedo koncentracija mišinyje neturi viršyti 2,5 %, tačiau gamintojo deklaracijoje minima, kad siekiant ištirti konkrečią plastifikatoriaus AB koncentraciją mišinyje, reikalingi bandymai. Atlikus bandymus galima teigti, kad naudojant didesnę kiekį plastifikatoriaus AB jis išlieka veiksmingas. 2,4 % ir 3,3 % plastifikatoriaus koncentracijos buvo parinktos pagal kliento reikalavimus, siekiant užtikrinti sklandų PET plėvelės termoformavimą skirtingų tipų įrangoje. Nustatyta, kad esant mažesnei nei 2,4 % plastifikatoriaus koncentracijai padidėja plėvelės paviršiaus trintis, todėl kyla problemų termoformuojant, plėvelė stringa arba netolygiai slenka per įrangą. 2,4 % kiekis užtikrina minimalų, bet pakankamą trinties sumažinimą lėtesnėms termoformavimo linijoms. Tuo tarpu 3,3 % koncentracija tinka greitesnių termoformavimo įrenginių reikalavimus, kur svarbu dar mažesnė trintis ir didesnis proceso stabilumas. [32] Taip pat siekiant sumažinti PET plėvelės trinties koeficientą gali būti naudojamas silikoninės dangos, kurios tepamos jau ant pagamintos plėvelės, tačiau slydimo ir antiblokavimo priedai turi keletą privalumų, palyginti su silikoninėmis dangomis, naudojamomis PET plėvelės trinties koeficientui mažinti. Silikoninės dangos gali trukdyti termoformavimo proceso metu, kadangi po termoformavimo dalis silikoninės dangos lieka ant formos, kurią reikia valyti reguliariai. Silikoninės dangos taip pat apsunkina perdirbimo procesą, kadangi sumalta plėvelė negali būti gražinama į gamybą. Mechaniniu būdu perdirbtą silikonuotą plėvelę naudojant ekstruzijos procese, gaunama prastų optinių savybių plėvelė (pilkšva, sunkiai permatoma). Net kai kuriose Europos šalyse dėl aplinkosaugos, sveikatos ir saugos reikalavimų yra draudžiama naudoti silikonines dangas sąlyčiui su maistu. [35,36]

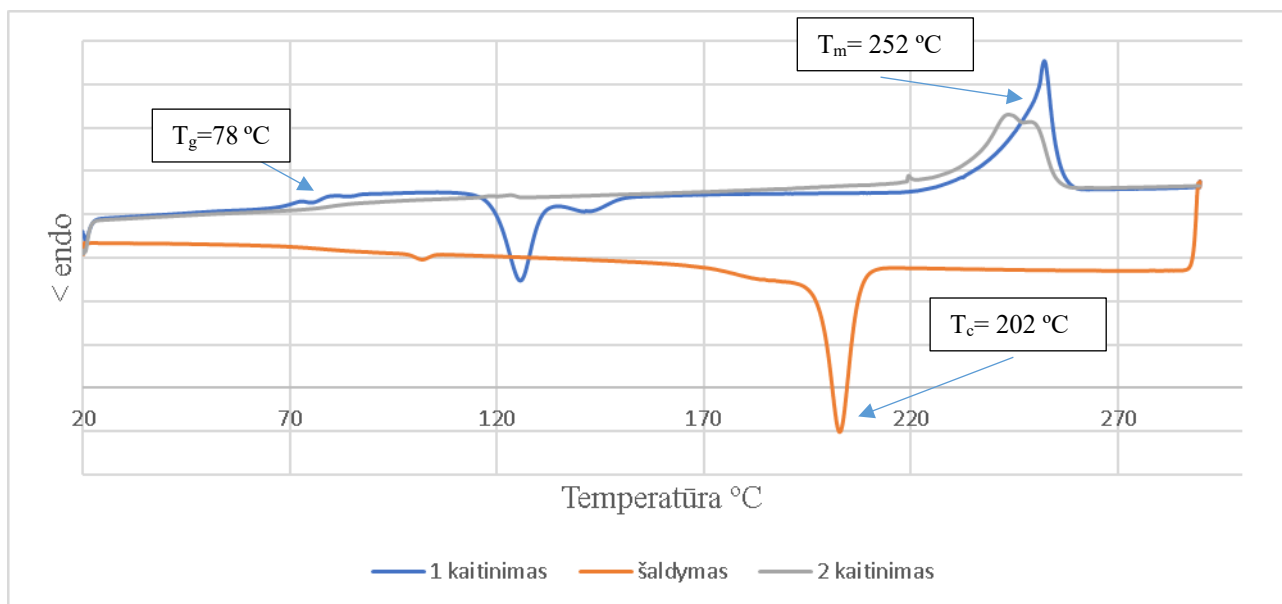
2.6. PET plėvelės stiklėjimo temperatūros nustatymas

Plastikinių pakuočių gamyboje iš PET plėvelės stiklėjimo temperatūros (T_g) nustatymas yra labai svarbus. Stiklėjimo temperatūra – temperatūra, kurią pasiekus kietas, amorfinis polimeras tampa elastinės būsenos medžiaga. Stiklėjimo temperatūra priklauso nuo polimero cheminės sudėties, makromolekulių išsidėstymo bei naudojamų priedų. [37] Nustačius pagamintos PET plėvelės stiklėjimo temperatūrą, galima tiksliai prognozuoti gaminio elgesį naudojimo ir perdirbimo sąlygomis, tai ypač svarbu termoformavimo proceso metu, siekiant sudaryti temperatūrinį profilį, kuris užtikrina stabilų procesą. PET plėvelės termoformavimas atliekamas aukštesnėje už stiklėjimo

temperatūra, tačiau žemesnėje nei medžiagos lydymosi temperatūra. Taip pat nustatant stiklėjimo temperatūrą, galima apibrėžti gaminio naudojimo sąlygas, tai yra siekiant kad indeliai išlaikytų savo formą ir pageidautinas mechanines savybes, jų negalima naudoti aukštesnėje nei stiklėjimo temperatūra. Siekiant nustatyti bandinių stiklėjimo ir lydymosi temperatūras naudotas diferencinės skenuojamosios kolorimetrijos (DSK) metodas. [38] Šiuo terminės analizės metodu matuojamas šilumos srautas praeinantis bandinio ir tuščio (palyginamojo) celes. DSK galima nustatyti savitąją šilumą, fazinių virsmų temperatūra ir fizinių virsmų energiją. [39] Šiam bandymui naudotas Perkin Elmer DSC 8500 aparatas, kurį sudaro du mikrokolorimetrai, kuriuose yra temperatūros davikliai, bandinių celės, ir kaitinimo elementai. Viename kalorimetre dedamas bandinys, o kitame tuščias (palyginamasis) bandinys. Abiejose mikrokolorimetruose temperatūra keliama pastoviu greičiu 10 °C/min, užfiksuojamas energijos kiekis išspinduliuotas iš kaitinimo elementų, siekiant išlaikyti vienodą temperatūrą abiejose celėse. Tuščio ir bandinio energijos kiekiai lyginami ir pokyčiai yra lygūs bandinio fizikinių virsmų energijos pokyčiams. [40] Bandymai atlikti su 2, 5, 7, 12 bandiniais, kurių sudėtis pateikta 1 lentelėje.

6 lentelė. Bandinių stiklėjimo temperatūros

Bandinys	Stiklėjimo temperatūra T_g , °C	Lydymosi temperatūra T_m , °C
2	79	252
5	78	251
7	79	251
12	78	252



12 pav. PET plėvelės bandinio Nr. 12 diferencinės skenuojamosios kolorimetrijos grafikas, kaitinimo greitis 10 °C/min

Remiantis gautais rezultatais, galima teigti, kad naudojami priedai PET plėvelės gamyboje daro labai mažą įtaką stiklėjimo ir lydymosi temperatūroms. Bet pasinaudojant gautais rezultatais, galima tinkamai optimizuoti termoformavimo procesą.

3. Inžinerinė dalis

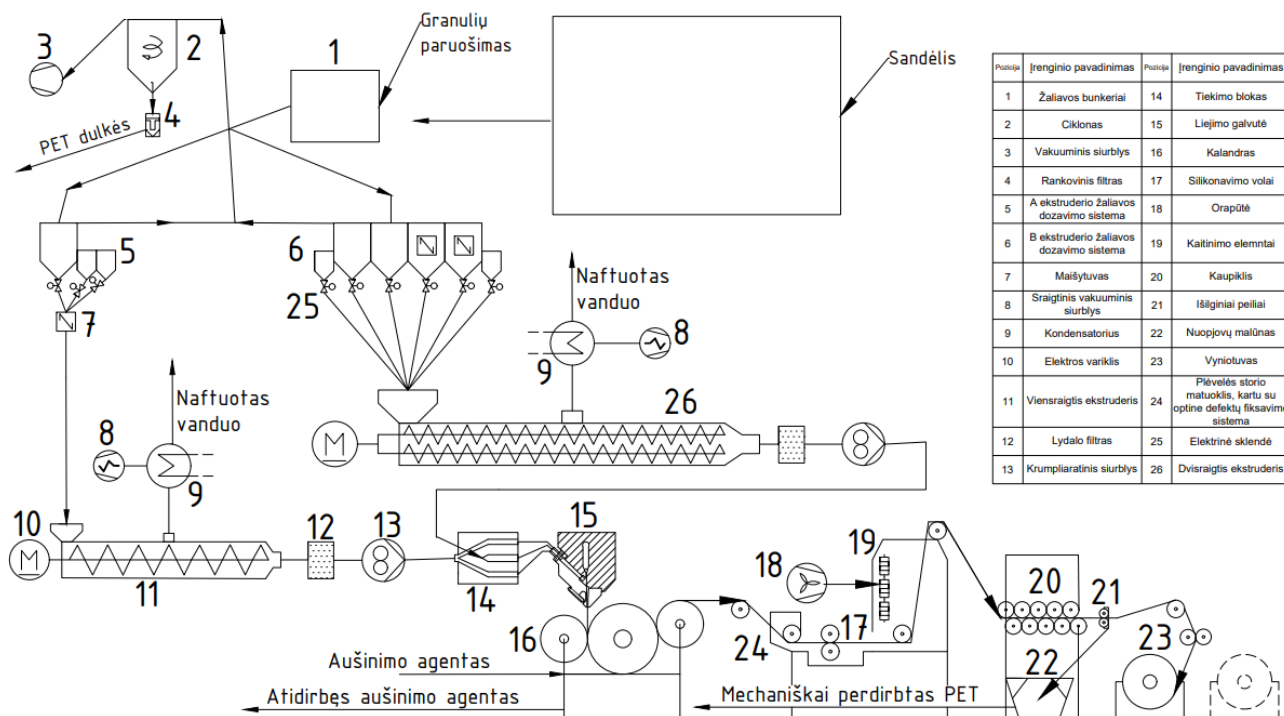
3.1. Technologinė dalis

Šiame skyriuje pateikiama visa technologinė linija, nuo žaliavų paruošimo iki galutinio produkto supakavimo ir transportavimo, bei pateikiama technologinė schema. Pateikiami masės balansai, technologinės linijos įrenginių skaičiavimai, kartu su finansiniais ir ekonominiais skaičiavimais. Aprašomos naudojamos žaliavos, gaunamas produktas ir keliama reikalavimai. Planuojama, kad PET plėvelės gamybos cechą dirbs 345 dienas per metus, likusios 20 dienų skirtos profilaktikos ir remonto darbams. Vienos PET plėvelės gamybos linijos našumas 1100 kg/h, tačiau projektuojamas visas gamybos pastatas, kuriame suprojektuotos penkios vienodo našumo gamybinės linijos. Tai per metus planuojama pagaminti 45540 t PET plėvelės.

3.1.1. Technologinė schema

Technologinė schema pateikta 13 pav. Žaliavos atvežamos į gamyklą sunkvežimiais, cisternomis arba supakuotos į didmašius po 1 t. Tada žaliavos sandėliuojamos sandėlyje, kuris veikia kaip buferinė zona, siekiant apsaugoti nuo žaliavos tiekimo sutrikimo penkių dienų laikotarpyje. Iš sandėlio žaliavos autokrautuvais transportuojamos į žaliavų paruošimą, kuriame supilamos į bunkerius. Iš bunkerių žaliava transportuojama vamzdynu iki gamybinės linijos. Transportavimas vyksta pneumotransportu, tai yra sukuriama vakuumas ir žaliava siurbama į tarpinę talpą. Žaliavos dozavimo sistemą sudaro dviejų skirtingų sistemų derinys. Žaliavos į A ekstruderį tiekiamos per „Maguire“ sistemą, tai automatizuota dozavimo sistema, kurią sudaro svarstyklės ir maišyklė. Į „Maguire“ sistemą, galima dozuoti iki keturių skirtingų žaliavų ar priedų, kurie atsveriami pagal nustatytą žaliavos procentą mišinyje. Į A ekstruderį tiekiamas pirminio PET granulės, kartu su priedais. Priedai į „Maguire“ sistemą tiekiami iš talpyklų esančių šalia A ekstruderio, kurios užpildomos rankiniu būdu ir transportuojamos vakuuminiu būdu. Atsvėrus reikiamą kiekį žaliavų, viena mišinio porcija sudaro apie 3,5 kg, žaliavos tiekiamos į maišyklę, kurioje jos sumaišomos. Atsidarius pneumatinei sklendei sukomponuotas žaliavų mišinys tiekiamas į A ekstruderio tiekimo vamzdį, kuris užpildomas pilnai, siekiant užtikrinti tolygų žaliavos tiekimą. Sumažėjus žaliavos kiekiui tiekimo vamzdyje, dozavimo procesas atliekamas pakartotinai. Žaliavos į B ekstruderį tiekiamos per „Plastic Systems“ dozavimo sistemą. Šią sistemą sudaro du aukštai. Viršutinio aukšto paskirtis skirta žaliavos prisiurbimui ir žaliavos lygio stebėjimui. Kadangi sistema sukurta dirbti iki 100 % su mechaniškai perdirbtu PET, kiekviena talpykla viduje turi maišyklę skirta neleisti PET dribsniams sukibti ir susidaryti kamščiu, kuris sukels dozavimo sistemos nestabilumą. Iš viršutinės talpyklos, atsidarius pneumatinei sklendei žaliavos subyra į pirmame aukšte esančius bunkerius, kurie sumontuoti ant svarstyklių, siekiant sekti žaliavos išbyrėjimą, kadangi žaliavų dozavimas vyksta gravimetriniu (tikslus žaliavos byrėjimo kiekis per laiko vienetą) būdu tuo pačiu stebint bunkerių užsipildymo kiekį. Prie apatinių bunkerių sumontuoti nuožulnūs lovėliai skirti žaliavos byrėjimui į B ekstruderio tiekimo vamzdį. Šiame etape žaliavos byrėjimą lovėliu užtikrina vibraciniai varikliai. Ši procedūra atliekama būtent dėl B ekstruderio sandaros. B ekstruderis yra dvisraigis, kurio konfigūracija yra kartu besisukantys, iš dalies persidengiantys sraigčiai. Būtent šiai konfigūracijai taikomas „Starve feeding“ žaliavos dozavimo metodas. „Starve feeding“ – tai riboto ir kontroliuojamo padavimo metodas, kai žaliava į ekstruderį tiekama mažesniu kiekiu, tai yra padavimo vamzdis pilnai neužpildomas žaliava, tuo pačiu siekiant neužpildyti pilnai dvisraigčio ekstruderio. Tai padeda pašalinant drėgmę iš ekstruderio, naudojant vakuuminius siurblius. Ekstruderiuose palaikoma temperatūra nuo 290 °C iki 265 °C, siekiant išlydyti tiek PET granules, tiek

mechaniškai perdirbtą PET. Išlydytas plastikas ekstruderiuose tiekiamas pro filtrus į krumpliaratinius siurblius, kurie yra sinchronizuojami valdymo programa išlaikant pastovų plastiko tekėjimą į paskirstymo bloką. Iš krumpliaratinių siurblių lydalas tiekiamas į paskirstymo bloką, kuris skirtas sudaryti A–B–A plėvelės struktūra, tai yra lydalas iš ekstruderių paskirstomas atitinkamu santykiu 10:80:10. Suformavus A–B–A plėvelės struktūra, lydalas tiekiamas į liejimo lūpas, kuriose sudaromas tolygus plastiko tekėjimas per visą liejimo lūpų plotį. Iš liejimo lūpų ištekęs plastikas krenta tarp dviejų aušinimo volų, kur suformuojamas reikiamas plėvelės storis ir plastikas ataušinamas žemiau 80 °C temperatūros. Trečiasis aušinimo volas skirtas PET plėvelę atvėsinti iki 30 °C temperatūros. Ataušinta plėvelė tiekama į kaupiklį, kuriame keičiant plėvelės ritinius susikaupia PET plėvelės perteklius. Po kaupiklio PET plėvelė supjaustoma išilginiais peiliais į reikiamą plotį, nupjaustomos nuopjovos. Nuopjovos sumalamos šalia technologinės linijos esančiame malūne, o supjaustyta plėvelė suvyniojama į ritinius. [41]



13 pav. PET plėvelės gamybos koekstruzijos būdu technologinė schema

3.1.2. Medžiagų balansas

Kaip ir minėta anksčiau, kad per metus planuojama pagaminti 45540 t PET plėvelės. Šiam kiekiui pagaminti sudaromas masės balansas priimant šias sąlygas, pirmoji tai kad PET plėvelės gamybos linijos nors ir pajėgios į B sluoksnį naudoti 100 % mechaniškai perdirbtą PET, kuris nėra maišomas kartu su pirminiu PET, tačiau sudarinėjant masės balansą skaičiuojama, kad į B sluoksnį naudojamas 60 % mechaniškai perdirbtas PET kartu su 40 % pirminiu PET. Į A sluoksnį naudojamas tik pirminis PET, kartu su priedu AB, kurio vidutiniškai naudojama 2,4 %. Kaip ir minėta anksčiau PET plėvelė yra A–B–A struktūros, kurią sudaro masės dalys santykiu 10:80:10. Gamybos proceso metu nevyksta, jokie žaliavų masės pokyčiai (žaliava negaruoja, netirpsta ir pan.), į masės balansą įtraukiami tik susidarę šalutiniai produktai, brokuota PET plėvelė, kuri sumalama ir gražinama į gamybos procesą, PET plėvelės luitai, kurie surenkami ir šalinami, kadangi jų į gamybos procesą gražinti nėra galimybės, ir PET dulkės, kurios susidaro žaliavos transportavimo metu bei kaip kitos atliekos yra šalinamos. Atlikus vienos gamybinės linijos analizę, galima teigti, kad galutinis produktas sudaro tik

86,5 % visos išlietos polimerinės masės, 5,7 % sudaro nuopjovos, kurios malamos šalia gamybinės linijos ir gražinamos į gamybos procesą, 0,3 % sudaro PET plėvelės luitai, kurie susidaro mašinos paleidimo ir filtrų valymosi metu, 7,48 % sudaro gamybos metu susidariusi brokuota PET plėvelė (keičiant gaminamos plėvelės storį ir plotį, netinkamai suregulius liejimo mašiną) ir 0,02 % PET dulkės. Siekiant pagaminti 45540 t PET plėvelės, medžiagų sąnaudos pateikiamos 8 lentelėje.

Žinant, kad produkto išeiga siekia 86,5 %:

$$\text{Sunaudojamas žaliavų kiekis} = \frac{45540}{0,865} = 52693,70 \text{ t};$$

A ekstruderui sunaudojama 20 % nuo viso reikiamo PET plėvelės kiekio:

$$A \text{ ekstruderis} = 45540 \cdot 0,2 = 9108 \text{ t};$$

Šį kiekį sudaro pirminis PET ir 2,4 % AB

$$AB \text{ kiekis} = 9108 \cdot 0,024 = 218,59 \text{ t};$$

Likęs kiekis yra pirminis PET naudojamas A ekstruderyje:

$$\text{Pirminis PET A ekstruderui} = 9108 - 218,59 = 8889,41 \text{ t};$$

B sluoksnis sudaro 80 % visos reikiamos PET plėvelės masės:

$$B \text{ ekstruderis} = 45540 \cdot 0,8 = 36432 \text{ t};$$

Šį žaliavų kiekį sudaro 60 % mechaniškai perdirbto PET, ir 40 % pirminio PET:

$$\text{Perdirbtas PET} = 36432 \cdot 0,6 = 21859,20 \text{ t};$$

$$\text{Pirminis PET B ekstruderui} = 36432 \cdot 0,4 = 14572,8 \text{ t};$$

Nuostoliai skaičiuojami nuo bendro žaliavos kiekio įvertinus nuostolius:

Nuopjovos sudaro 5,7 %:

$$\text{Nuopjovos} = 52693,7 \cdot 0,057 = 3005,55 \text{ t};$$

Brokuota PET plėvelė 7,48 %:

$$\text{Brokuota PET plėvelė} = 52693,7 \cdot 0,0748 = 3944,38 \text{ t};$$

PET plėvelės luitai 0,3 %:

$$\text{PET plėvelės luitai} = 52693,7 \cdot 0,003 = 158,08 \text{ t};$$

PET dulkės 0,02 %:

$$\text{PET dulkės} = 52693,7 \cdot 0,0002 = 10,54 \text{ t};$$

Brokuota PET plėvelė ir nuopjovos sumalamos ir gražinamos į procesą, tai reikalingas mechaniškai perdirbto PET kiekis B ekstruderui:

$$\text{Reikalingas mechaniskai perdirbto PET kiekis} = 21859,20 - 6928,93 = 14930,27 \text{ t};$$

Šis kiekis bus perkamas iš termodormavimo įmonių, PET butelių surinkėjų.

7 lentelė. Žaliavų sąnaudos siekiant pagaminti 45540 t kg PET plėvelės

Srautas	Kiekis t,	Pastabos
Pirminis PET A ekstruderis	8889,41	Nuo bendro A ekstruderio srauto 97,6 %
AB priedas	218,59	Nuo bendro A ekstruderio srauto 2,4 %
Pirminis PET B ekstruderis	14572,8	Nuo bendro B ekstruderio srauto 40 %
Mechaniškai perdirbtas PET B ekstruderis, iš tiekėjų	14899,27	Nuo bendro B ekstruderio srauto 60 %, tačiau po žaliavos gražinimo
PET plėvelės nuopjovos	3005,55	Gražinamos į procesą
Brokuota PET plėvelė	3944,38	Gražinamos į procesą
PET plėvelės luitai	158,08	Pašalinamos (nuostoliai)
PET dulkės	10,54	Pašalinamos (nuostoliai)
Galutinis produktas	45540	
Bendras žaliavos kiekis	52693,7	

3.1.3. Technologiniai skaičiavimai

Projektuojami du krumpliaratiniai siurbliai, A ekstruderui ir B ekstruderui, transportuoti lydalą iš ekstruderio į tiekimo bloką, kuriame sudaroma A–B–A plėvelės struktūra, tuo pačiu sukurti pakankamą slėgį išstumti sudarytą struktūrą pro liejimo lūpas. Projektavimui pasirinktas būtent krumpliaratinio siurblio tipas, kadangi jie labiausiai tinkami transportuoti plastiko lydalui dėl savo unikalios struktūros. Kadangi krumpliaratiniai siurbliai turi labai mažai judančių dalių tai yra du velenai, kurie yra įtvirtinti korpuse, jie gali išvystyti iki 500 bar slėgį. Taip pat transportuojant polimero lydalą krumpliaratiniu siurbliu, lydalo sraute nesusidaro nesikondensuojančios dujos (oro burbuliukai). Žinant, kad plėvelės liejimo mašinos bendras našumas yra 1100 kg/h, kuris pasiskirsto pagal sluoksnių storį, tai yra A ekstruderio našumas tampa 220 kg/h, o B ekstruderio 880 kg/h.

8 lentelė. Krumpliaratinio siurblio A ekstruderui modeliavimo pradiniai duomenys [42]

Žymėjimas	Paaiškinimas	Matavimo vienetai	Reikšmė
μ	Dinaminė klampa	Pa·s	1150
L	Vamzdyno ilgis	m	7,5
η	Siurblio naudingumo koeficientas		0,9
ρ	Tankis	kg/m ³	1270

d	Vamzdžio skersmuo	m	0,025
η_{pav}	Pavaros naudingumo koeficientas		0,9
η_v	Variklio naudingumo koeficientas		0,9
H	Aukštis į kurį transportuojamas skystis	m	2,5
k	Atsargos koeficientas		1,25
t	Laikas	s	60

Perskaičiuojame masinį debitą.

$$G = \frac{m}{t} \quad (3)$$

G – masinis debitas kg/s, t – laikas, per kurį transportuojama masė s.

$$G = \frac{220}{3600}$$

$$G = 0,061 \text{ kg/s}$$

Turint masinį debitą apskaičiuojamas tūrinis debitas

$$V_s = \frac{G}{\rho} \quad (4)$$

V_s – tūrinis debitas m^3/s ; ρ – PET lydalo tankis kg/m^3

$$V_s = \frac{0,061}{1270}$$

$$V_s = 0,00005 \text{ m}^3/\text{s}$$

Apskaičiavę tūrinį debitą, apskaičiuojamas esantis tūris tarp dviejų krumplių. [42]

$$V_s = 2 \cdot m \cdot z \cdot n \cdot \eta_t \quad (5)$$

m – tūris tarp dviejų krumplių m^3 ; z – vieno krumpliaračio krumplių skaičius; n – krumpliaračių sukimosi dažnis s^{-1} ; η_t – tūrio naudingumo koeficientas 0,7.

$$m = \frac{V_s}{2 \cdot z \cdot n \cdot \eta_t} \quad (6)$$

$$m = \frac{0,00005}{2 \cdot 9 \cdot 25 \cdot 0,7}$$

$$m = 1,59 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

Apskaičiuojamas PET lydalo tėkmės skerspjūvio plotas. [42]

$$F = 0,785 \cdot d^2 \quad (7)$$

F – tėkmės skerspjūvio plotas m^2 ; d – vamzdžio vidinis skersmuo m.

$$F = 0,785 \cdot 0,025^2$$

$$F = 0,0005 \text{ m}^2$$

Apskaičiuojamas lydalų vidutinis tėkmės greitis. [42]

$$w = \frac{V_s}{F} \quad (8)$$

$$w = \frac{0,00005}{0,0005}$$

$$w = 0,098 \text{ m/s}$$

Apskaičiuojamas Reinoldso kriterijus, skirtas nustatyti srauto tekėjimo režimui.

$$Re = \frac{w \cdot d_{ekv} \cdot \rho}{\mu} \quad (9)$$

d_{ekv} – vamzdžio m; μ – dinaminė klampa, Pa·s.

$$Re = \frac{0,098 \cdot 0,025 \cdot 1270}{1150}$$

$$Re = 0,0027$$

Apskaičiuojami visi reikiami slėgio nuostoliai nuo A ekstruderio siurblio iki liejimo lūpų. Visų pirma apskaičiuojamas slėgis norint išjudinti PET lydalą iš rimties būsenos iki apskaičiuoto srauto greičio. (42)

$$\Delta p_{gr} = \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \quad (10)$$

Δp_{gr} – slėgio nuostoliai susidarantys dėl agento perėjimo iš ramybės būsenos į pastovaus judėjimo, Pa.

$$\Delta p_{gr} = \frac{0,098^2 \cdot 1270}{2}$$

$$\Delta p_{gr} = 6,11 \text{ Pa}$$

Apskaičiuojami susidarantys slėgio nuostoliai lydalui trinantis į vidinę vamzdžio sienelę.

$$\Delta p_{tr} = \zeta \cdot \frac{L}{d_{ekv}} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \quad (11)$$

ζ – trinties koeficientas; w – srauto greitis, m/s; d_{ekv} – ekvivalentinis vamzdžio skersmuo, m; ρ – skysčio tankis, kg/m³; L – vamzdžio ilgis, m.

Trinties koeficiento ζ skaičiavimo eiga: [42]

1. Apskaičiuoti Re kriterijų;

2. Jeigu $Re \leq 2300$ (Laminarinis tekėjimo režimas), tai $\zeta = \frac{64}{Re}$;

Jeigu $Re > 2300$, tai $\zeta = f(Re, \frac{d}{\Delta e}) \Delta e$ – santykinis šiurkštumas

Trinties koeficiento skaičiavimo eiga žinant, kad Reinoldso kriterijus ≤ 2300 .

$$\zeta = \frac{64}{0,0027}$$

$$\zeta = 23635,64$$

$$\Delta p_{tr} = 23635,64 \cdot \frac{7,5}{0,025} \cdot \frac{0,098^2 \cdot 1270}{2} \quad (12)$$

$$\Delta p_{tr} = 43310764,5 \text{ Pa}$$

Apskaičiuojame susidarančius slėgio nuostolius dėl vietinių kliūčių vamzdyne. [42]

9 lentelė. Vietinės kliūtys nuo A ekstruderio siurblio iki liejimo lūpų

Vietinės kliūtys	Tiekimo blokas	Liejimo lūpos	iš vamzdžio	alkūnė 45°	alkūnė 90°	suma
Reikšmė	20	30	1,00	0,32	1,19	
	1	1	1	2	1	52,83

$$\Delta p_{v.k} = \sum \zeta \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} \quad (13)$$

$\Delta p_{v.k}$ – slėgio nuostoliai dėl vietinių kliūčių vamzdyne Pa; $\sum \zeta$ – vietinių kliūčių koeficientų suma, kuri lygi atskirų kliūčių koeficientų sumai.

$$\Delta p_{v.k} = 52,83 \cdot \frac{0,098^2 \cdot 1270}{2}$$

$$\Delta p_{v.k} = 322,69 \text{ Pa}$$

Apskaičiuojami slėgio nuostoliai susidarantys dėl lydalų pakėlimo į reikiamą aukštį.

$$\Delta p_{pak} = \rho \cdot g \cdot H \quad (14)$$

g – laisvo kritimo pagreitis 9,81 m/s; H – aukštis į kurį keliamas skystis m.

$$\Delta p_{pak} = 1270 \cdot 9,81 \cdot 2,5$$

$$\Delta p_{pak} = 31146,75 \text{ Pa}$$

Žinant kad darbinis slėgis liejimo lūpose turi būti apie 100 bar, siekiant užtikrinti tolygų plastiko pasiskirstymą liejimo lūpose

$$\Delta p_{sistemos} = 10000000 \text{ Pa}$$

Sudedame visus slėgio nuostolius.

$$\Delta p = \Delta p_{gr} + \Delta p_{tr} + \Delta p_{v.k} + \Delta p_{pak} + \Delta p_{sistemos} \quad (15)$$

$$\Delta p = 6,11 + 43310764,5 + 322,69 + 31146,75 + 10000000$$

$$\Delta p = 53342240,05 \text{ Pa}$$

Apskaičiavus visus slėgio nuostolius, A ekstruderio sistemoje, galima apskaičiuoti krumpliaratinio siurblio veleno galią, kuri perduodama transportuojamam lydalui. [42]

$$N_{vel} = \frac{V_s \cdot \Delta p}{1000 \cdot \eta} \quad (16)$$

$$N_{vel} = \frac{0,00005 \cdot 53342240,05}{1000 \cdot 0,9}$$

$$N_{vel} = 2,85 \text{ kW}$$

Apskaičiuojama reikalinga krumpliaratinio siurblio variklio galia, įvertinant variklio ir pavaros naudingumo koeficientus kartu su atsargos koeficientu.

$$N_v = k \cdot \frac{N_v}{\eta_p \cdot \eta_v} \quad (17)$$

$$N_v = 1,25 \cdot \frac{2,85}{0,9 \cdot 0,9}$$

$$N_v = 4,4 \text{ kW}$$

Analogiškai skaičiavimai atliekami B ekstruderio krumpliaratiniui siurbliui, tačiau keičiasi masės debitas ir palaikomas sisteminis slėgis, kuris yra 65 bar ir naudojamas 50 mm skersmens vamzdis, ilgis ir vietinės kliūtys išlieka tos pačios.

10 lentelė. Krumpliaratinio siurblio B ekstruderio modeliavimo rezultatai [42]

Žymėjimas	Paaiškinimas	Matavimo vienetai	Reikšmė
G	Masinis debitas	kg/s	0,244
V _s	Tūrinis debitas	m ³ /s	0,00019
w	Vidutinis tėkmės greitis	m/s	0,121
f	Vamzdžio skerspjūvio plotas	m ²	0,002
m	Tūris tarp dviejų krumplių	m ³	0,000001
Re	Reinoldso kriterijus		0,01
ζ	Trinties koeficientas		10636,04
Δp _{gr}	Slėgio nuostoliai dėl rimties	Pa	9,31
Δp _{tr}	Slėgio nuostoliai dėl trinties	Pa	16503111
Δp _{v.k}	Slėgio nuostoliai dėl vietinių kliūčių	Pa	491,83
Δp _{pak}	Slėgio nuostoliai dėl skysčio pakėlimo į aukštį	Pa	31146,75
Δp _{sistemos}		Pa	6500000

Δp	Slėgio nuostolių suma	Pa	23034758,89
N_{vel}	Skysčiui perduodama galia	kW	4,93
N_v	Variklio galia	kW	7,6

3.1.4. Žaliavos bei produkto reikalavimai

Gaminant PET plėvelę, skirtą sąlyčiui su maisto produktais, žaliavoms ir galutiniam produktui keliami griežti reikalavimai, kad būtų užtikrintas tiek saugumas, tiek atitiktis teisės aktams. Visų pirma, žaliavos turi būti tinkamos naudoti kontaktui su maistu, tai yra, kad jos turi būti gaminamos iš maistinės klasės PET granulių (angl. food grade PET), kuri atitinka Europos Sąjungos reglamento (ES) Nr. 10/2011 arba JAV FDA (Food and Drug Administration) reikalavimus. [43] Tokia žaliava neturi turėti pavojingų priemaišų, o galimi monomerų ar priedų migracijos kiekiai turi būti žemiau nustatytų specifinių migracijos ribų (SML). Be to, naudojamas mechaniškai perdirbtas PET, kuris turi būti perdirbtas autorizuotu būdu, kad užtikrintų pašalinių medžiagų pašalinimą iki saugaus lygio – tokius procesus ES turi patvirtinti EFSA (Europos maisto saugos tarnyba). [43]

Kalbant apie galutinį produktą – PET plėvelę, ji turi būti be kvapo, be skonio ir nepaveikti maisto kokybės. Ji taip pat turi būti chemiškai stabili ir neišskirti kenksmingų medžiagų net esant kontaktui su riebalais, drėgme ar aukštesne temperatūra (pvz., karšto užpildymo metu). Plėvelė turi atitikti bendrą migracijos ribą – ne daugiau kaip 10 mg/dm² arba 60 mg/kg maisto, priklausomai nuo testavimo metodo. Taip pat atliekami specifiniai migracijos testai tam tikroms medžiagoms, pvz., acetaldehidui, kuris gali būti randamas PET gamyboje. [43]

Galiausiai, visa gamyba turi vykti laikantis gero gamybos praktikos (GMP) principų, apibrėžtų 2006 m. gruodžio 22 d. Komisijos reglamente (EB) Nr. 2023/2006 dėl medžiagų ir gaminių, skirtų liestis su maistu, geros gamybos praktikos, užtikrinant, kad nėra kryžminės taršos, o medžiagų atsekamumas yra pilnas. Tiek žaliava, tiek plėvelė turi būti dokumentuotai sertifikuotos kaip tinkamos sąlyčiui su konkrečiais maisto produktais t. y., sertifikatai turi nurodyti, ar plėvelė tinkama sąlyčiui su riebiais, rūgštiniais, alkoholio turinčiais ar karštais produktais. [44]

3.2. Statybiniai sprendimai

3.2.1. Bendri duomenys

UAB „Doloop“ – lyderiaujantis Šiaurės Europos PET pakuotės gamintojas, siekiantis globalių aplinkosauginių iniciatyvų. Jau 30 metų bendradarbiaujantis su maisto ir gėrimų gamintojais bei teikiantis jiems inovatyvius ir kokybiškus pakuočių sprendimus bei diegiantis naujausias technologijas į gamybos procesą. Įmonė yra 6 km į pietryčius nuo Šiaulių miesto. Įmonės teritorija užima 7,1 ha plotą. Statybai buvo parinkta aikštelė lygiu reljefu. Vanduo gamybai imamas iš Šiaulių miesto vandentiekio, dujos šilumos energijai išgauti ir elektros energija gaunama iš ESO dujotiekio ir elektros energijos tinklų. Įmonė pradėjo dirbti 1994 metais. UAB „Doloop“ teritorijoje projektuojamas plėvelės gamybos pastatas bus orientuotas šiaurės rytų kryptimi. PET plėvelės gamybos pastatas užima 6600 m² plotą. Teritorijoje taip pat yra ruošinių gamybos cechų kartu su sandėliais, butelių pūtimo cechais, penki atskiri žaliavos sandėliai. Po gamybinio pastato įrengimo ir gamybos pradžios planuojama pagaminti 45540 t PET plėvelės.

11 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai [45]

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis
1	I. Sklypas		
	1.1 sklypo plotas	ha	7,1
	1.2 statinio užimamas žemės plotas	m ²	6600
	1.3 apželdintas žemės plotas (žalasis plotas)	ha	1,88
	1.4 automobilių stovėjimo vietų skaičius	vnt.	75
	1.5 sanitarinės (apsaugos) zonos plotis	m	300
2	II. PASTATAI		
	2.1. paskirties rodikliai (gamybos (kitos veiklos), paslaugų apimtys, aptarnaujamų žmonių skaičius, kiti rodikliai)		
	2.2. bendrasis plotas:	m ²	6600
	2.3. pastato tūris	m ³	79200
	2.4. aukštų skaičius	vnt.	1
	2.5. pastato aukštis	m	12
	2.6. pastato atsparumas ugniai (I, II ar III)	MJ/m ²	I

12 lentelė. Pradiniai duomenys projektavimui

Pastato aukštų skaičius	1
Pastato plotis (tarp ašių), m	75
Pastato ilgis (tarp ašių), m	88
Darbuotojų skaičius	65
Miestas	Šiauliai
Pastato orientacija	I šiaurės rytus
Instaliuota galia	80 kW

3.2.2. Sklypo planas

Įmonės 7,1 ha plote yra keli gamybiniai pastatai ir penki sandėliai. Projektuojamo PET plėvelės gamybinio pastato užimamas plotas yra 6600 m². Kadangi visi architektūriniai statiniai yra išdėstyti per visą sklypo plotą ir įmonės teritorijoje numatoma didelė žaliavų atvežimo ir produktų išvežimo apimtis, būtina užtikrinti tinkamą infrastruktūrą transportui. Automobilių keliai turi būti projektuojami taip, kad kelio plotis būtų nuo 4 iki 6 metrų, užtikrinant kad pagalbos tarnybos avarinių situacijų metu greitai ir efektyviai galėtų pasiekti įvykio vietą, kartu užtikrinant sklandų lengvųjų ir krovinių automobilių eismą. Taip pat projektuojamos apsisukimo aikštelės kroviniams automobiliams, kurios padės nuo netyčinio įmonės turto apgadinimo. Trinkelėmis grysti takeliai darbuotojams būtų ne siauresni nei kaip 1 metras ir ne arčiau nei 0,8 metro atstumu nuo važiuojamosios dalies, siekiant išvengti nelaimingų atsitikimų skaičių. [46]

3.2.3. Projektuojamas pastatas

UAB „Doloop“ teritorijoje projektuojamas plėvelės gamybos pastatas bus orientuotas šiaurės rytų kryptimi. Jo matmenys: ilgis $L = 88$ m, plotis $B = 75$ m, aukštis $H = 12$ m. Statyboje bus naudojamos metalinės konstrukcijos, tokios kaip kraštinės ir vidurinės kolonos, perdangos bei denginio plokštės, kolonų pamatai, pamatų sijos. Kolonų tinklėlis projektuotas 12×12 m. Pastato išorinės sienos bus pagamintos iš daugiasluoksnių poliuretano (PIR) (poliizocianurato putplasčio užpildas, plačiai naudojamas kaip šilumos izoliacinė medžiaga) užpildo plokščių, turinčių lygų profilį. Viduje palaikoma temperatūra apie 19°C . Langams bus naudojamas „GEALAN“ profilio trijų kamerų stiklo paketai. Negamybinės patalpos, persirengimo kambariai, virtuvė, administracinės patalpos bus šildomos centralizuotu Šiaulių miesto energijos tinklu. Gamybinėse patalpose bus naudojami elektriniai šildytuvai „LEO EL S BMS“, jie skirti tik palaikyti vienodą temperatūrą gamybinėse patalpose, kadangi PET plėvelės gamybos metu į aplinką išsiskiria didelis kiekis šilumos. Vėdinimui gamybinėse patalpose ir sandėliuose bus naudojami „ZIEHL-ABEGG“ ventiliatoriai, kurie pašalins susidariusias dujas ir vėsins patalpas šiltuoju metų laiku. Vienoje pamainoje planuojamas darbuotojų skaičius yra 18.

3.2.4. Statinio architektūrinė ir konstrukcinė sandara

Projektuojamas PET plėvelės gamybos pastatas statomas šalia esančio ruošinių gamybos cecho. Projektuojamo pastato gabaritas plane 88×75 m, o aukštis iki stogą laikančių konstrukcijų nuo nulinės altitudės sieks 12 m. Projektuojamo gamybinio pastato pamatai gelžbetoniniai. Pastato sienos pagamintos iš daugiasluoksnių plokščių su PIR užpildu, padengtų poliesterio danga. Patalpos skirstomos į 19 atskirų erdvių, atskirtų pertvaromis iš daugiasluoksnių plokščių su PIR užpildu. Grindys betoninės, padengtos kietikliu, užtikrinančiu atsparumą dilimui.

3.2.5. Bendrųjų pastato inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai

Gamybiniame pastate esančią technologinę įrangą sudaro, penkios PET plėvelės liejimo mašinos, kurias sudaro po du ekstruderius, dozavimo sistemos, kalandras, vyniotuvas, devyni žaliavų bunkeriai, penki PET plėvelės nuopjovų malūnai, du atskiri malūnai skirti brokuotai plėvelei sumalti, aušinimo sistemos talpykla, penkios aušyklės ant stogo, skirtos ataušinti aušinti aušinimo skysčiui, laboratorinė įranga skirta PET plėvelės tyrimams, Septyniasdešimt septyni saulės elektrinių moduliai ant stogo, siekiant sumažinti didelį elektros energijos suvartojimą.

Gamybos pastate bus vykdomi PET plėvelės liejimo procesai. Žaliavos bus pristatomos sunkvežimiais per specialiai tam suprojektuotus 8 atskirus vartus. Pagaminta produkcija bus išvežama kitoje pastato pusėje per atskirus vartus, kurių yra 9, siekiant užkirti kelią pagamintos produkcijos užteršimui pašalinėmis medžiagomis.

Sanitarinės ir asmens higienos patalpos yra suplanuotos remiantis Kolegialių institucijų 2024 m. spalio 3 d. įsakymu Nr. V-959/A1-650 „Dėl Buities, sanitarinių ir higienos patalpų įrengimo reikalavimų aprašo patvirtinimo“. [47]

Tualetai:

- Vienas unitazas – 18 vyrų arba 12 moterų;
- Vienas pisuaras – 18 vyrų;
- Viena praustuvė – 48 vyrams arba moterims;
- Moterų ir vyrų tualetuose įrengtas dušas.

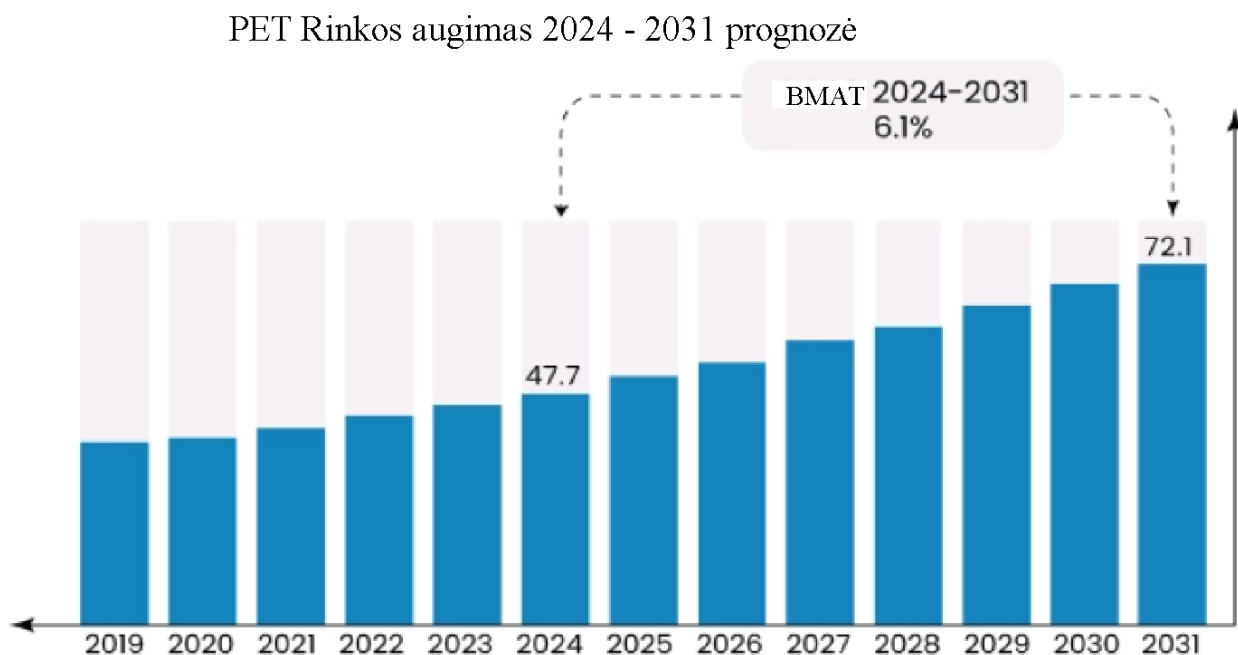
Pastate įrengti du sanitariniai mazgai visiškai atitinka darbuotojų poreikius. Atstumas nuo darbo vietų gamybinėse patalpose iki tualetų bei poilsio zonų neviršija 75 metrų. Persirengimo patalpos, dušai,

prausyklos ir tualetai suprojektuoti atskirai vyrams ir moterims. Valgymo ir poilsio kambaryje kiekvienam darbuotojui tenka ne mažiau kaip 1 m², o bendras šios patalpos plotas viršija 22 m² (numatytas plotas – 81,2 m²).

3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

3.3.1. Projekto inovacijos ir diegimo analizė PET plėvelės gamybos didinimui

UAB „Doloop“ yra vidutinio dydžio PET pakuočių gamintoja įsikūrusi šiaurės Lietuvoje. Įmonėje gaminami PET butelių ruošiniai, dalis jų yra išpučiami į butelius ir parduodami gėrimų tiekėjams, taip pat įmonė gamina PET plėvelę skirtą termoformavimo procesui. Dėl sparčiai augančio poreikio pakavimo sektoriuje, remiantis rinkos analize pakuočių pramonė išliks didžiausia PET medžiagų vartotoja. PET plačiai naudojamas tiek pakuočių, tiek elektronikos sektoriuose. Dėl didelio skaidrumo ir mechaninio tvirtumo jis ypač tinka maisto produktų pakuotėms, nes veiksmingai demonstruoja produktus ir kartu užtikrina jų apsaugą. Tikimasi, kad plastikinių pakuočių rinka iki 2031 m. padidės nuo 47,7 mlrd. iki 72,2 mlrd. dolerių (10 pav.). [2] Dėl šių priežasčių įmonės tikslas padidinti PET plėvelės gamybos našumą. Šiam tikslui pasiekti projektuojamas naujas gamybinis pastatas, kuriame planuojama pastatyti penkias PET plėvelės liejimo linijas.



14 pav. PET rinkos augimas 2019 – 2031 [2]

3.3.2. Projektui reikalingos investicijos ir jų finansavimo būdai

Projekto įgyvendinimui numatoma investuoti apie 18,81 mln. eurų. Investicijos apima naujo 6600 m² ploto gamybinio pastato statybą, kurio vertė siekia apie 5,61 mln. eurų, į šią sumą nėra įtraukiamas reikiamas pinigų kiekis sklypo įsigijimui, kadangi projektuojamas pastatas UAB „Doloop“ priklausančioje žemėje, šalia esančio ruošinių gamybos cecho. Taip pat už nurodytą sumą planuojama įsigyti penkias modernias PET plėvelės liejimo linijas, kurių bendra suma sudaro 12 mln. eurų ir aušinimo sistemos įrengimą, kuris kainuos 1,2 mln. eurų. Projektas bus finansuojamas iš keleto šaltinių, kaip Europos Sąjungos (ES) paramos, kurios skirtoms gamybinėms įmonėms. Pirmoji parama „Energijos vartojimo efektyvumo didinimas pramonės įmonėse“ ši parama skirta naujos

įrangos įsigijimui, mažinant CO₂ emisiją. Skiriamos paramos dydis yra 1,5 mln. Eur iki 55 % reikiamo finansavimo, kuri bus skirta aušinimo sistemos įrengimui, siekiant sumažinti CO₂ emisiją ir aprūpinti gamybinės linijas reikiamu aušinimo kiekiu. [48] Antroji parama „PRAMONĖS DEKARBONIZACIJA“, kuri skirta skatinti apdirbamosios pramonės įmones investuoti į gamybos procesų įrangą ir įrenginius diegiant energijos vartojimo efektyvumą didinančias technologijas, tuo pačiu mažinant šiltnamio efekto sukeliančių dujų emisijas. Šios paramos skiriamos paramos dydis yra 10 mln. Eur iki 40 % reikiamo finansavimo, bus skirta gamybinio pastato statyboms ir 5 liejimo mašinų įsigijimui. [49] Naujas gamybinis pastatas turėtų sumažinti energijos sąnaudas šildymui, o naujo tipo PET plėvelės liejimo mašinos dėl jose naudojamo vakuuminio drėgmės pašalinimo turėtų sumažinti apie 45 % energijos suvartojimo, lyginant su įprastu PET plėvelės liejimo procesu, tuo pačiu prisidėti prie žiedinės ekonomikos, kadangi liejimo procese naudojama iki 60 % mechaniškai perdirbto PET. Likusi investicijų dalis bus dengiama nuosavu įmonės kapitalu (apie 1,11 mln. eurų) ir banko paskola (apie 10 mln. eurų; 13 lentelė).

13 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	mln. Eur	Struktūra	mln. Eur
Ilgalaikiam turtui įsigyti	18,81	Nuosavas kapitalas	1,11
		ES parama „Energijos vartojimo efektyvumo didinimas pramonės įmonėse“	0,66
		ES parama „PRAMONĖS DEKARBONIZACIJA“	7,04
		Ilgalaikė paskola	10
Viso kaštų:	18,81	Viso šaltinių:	18,81

3.3.3. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas

Planuojamos PET plėvelės gamyklos statybos darbai bus vykdomi Šiaulių mieste. Gamybinio pastato bendras plotas sieks 6600 m². Vidutinė gamybinio ploto statybos kaina Šiaulių regione šiuo metu siekia apie 850 eur/m². Į šią kainą įskaičiuoti darbai ir medžiagos, susijusios su pamatais, metalo karkasu, sienomis, stogu, sustiprintomis grindimis, vidaus instaliacija, bei pagrindiniais šildymo ir vėdinimo sprendimais. Bendra numatoma pastato statybos vertė siekia apie 5,61 mln. eurų. Šiame projekte pagrindinė investicija yra technologiniai įrenginiai, tai yra PET plėvelės liejimo linija, kurios vertė siekia 2,4 mln. eurų. Liejimo linija yra Italijos gamintojo „Bandera“, pritaikyta A–B–A struktūros PET plėvelės gamybai. Technologinę liniją sudaro žaliavos bunkeriai, skirti laikyti žaliavai, vakuuminė sistema skirta transportuoti žaliavai iki dozavimo sistemų. Vienai technologinei linijai skirtos dvi dozavimo sistemos, kadangi naudojami du ekstruderiai, A ekstruderis skirtas formuoti lydalą išoriniam PET plėvelės sluoksniui ir B ekstruderis skirtas vidiniam plėvelės sluoksniui. Taip pat lydalas iš kiekvieno ekstruderio tiekiamas į krumpliaratinius siurblius, kurie tiekia lydalą į tiekimo bloką, kuriame suformuojama A–B–A plėvelės struktūra, kuri išliejama per liejimo galvą. Įrangą taip pat sudaro kalandras, skirtas formuoti lydalą į PET plėvelę. Iš kalandro plėvelė keliauja į dengimo įrenginį, kuriame ji padengiama silikoninėmis ar rasojią mažinančiomis medžiagomis (esant poreikiui). Toliau plėvelė patenka į tempimo ir kaupimo sistemą, kurios paskirtis užtikrinti nepertraukiamą PET plėvelės gamybą keičiant ritinius. Po to vyksta plėvelės kraštų apipjovimas išilginiais peiliais, o nuopjovos iškart sumalamos šalia esančiame malūne ir grąžinamos

į gamybos procesą. Galiausiai plėvelė vyniojama į ritinius automatinėje vyniotuvo sistemoje. Projekte projektuojamos penkios tokio tipo liejimo linijos, kurių bendra vertė siekia 12 mln. eurų. Siekiant užtikrinti PET plėvelės gamybą reikalinga ir aušinimo sistema, kuri neįeina į bendrą technologinės linijos kainą. Projektuojama aušinimo sistema kainuos apie 1,2 mln. eurų.

14 lentelė. Pastatų ir technologinių įrengimų vertė

Eil. Nr.	Pastato ir Įrengimo pavadinimas	Vieneto kaina, mln. Eur.	Kiekis	Vertė, mln.Eur.
1.	Gamybinis pastatas	5,61	1	5,61
2.	PET plėvelės liejimo mašina	2,4	5	12
3.	Aušinimo sistema	1,2	1	1,2
	Viso			18,81

Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) vertės skaičiavimas buvo atliktas remiantis prielaida, kad apyvarta įmonėje vyksta kas 45 dienas. Tuo pačiu apskaičiuota, kiek apyvartinių lėšų reiks prieš projekto pradžią įvertinant toliau apskaičiuotus rodiklius.

15 lentelė. Apyvartinių lėšų poreikis

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai					
	0	1	2	3	4	5
Gamybos kaštai, tūkst. Eur.	-	24269,93	35652,53	35652,53	34837,58	34857,37
Apyvartinių lėšų metinis poreikis, tūkst. Eur	-	3033,74	4456,57	4456,57	4354,70	4357,17
Apyvartinių lėšų papildomas poreikis, tūkst. Eur	-	2123,62	1422,83	0,00	-101,87	2,47
Apyvartinės lėšos, tūkst. Eur*	910,12	3033,74	4456,57	4456,57	4354,70	4357,17

3.3.4. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Tiesioginių gamybos kaštų analizėje įvertinti planuojamai gamybos apimčiai būtini žaliavų, medžiagų, energijos, darbo jėgos ir kitų išteklių poreikiai. Per projekto brandos metus (antri ir treči metai) planuojama pagaminti po 45540 tonų PET plėvelės. Pirmaisiais projekto metais planuojamas gamybos pajėgumas sieks 75 %, ketvirtais gamybos metais 90 % ir penktais 85 %. Taip pat apskaičiuojamas reikiamas žaliavų kiekis kiekvienais metais ir įvertinamas žaliavų kainos augimas po 5 % per metus. Apskaičiuojamos ir tiesioginės gamybos išlaidos, kurios sudaro elektros energija, darbuotojų darbo užmokestis.

16 lentelė. Produkcijos gamybos apimtys planavimas

Projekto metai	Įsisavinimo koeficientas	Gamybos apimtis, t
		PET plėvelė
1	0,75	31878
2	1,0	45540
3	1,0	45540
4	0,9	40986
5	0,85	38709

17 lentelė. Išlaidos gamybai reikalingoms žaliavoms

Medžiagos (žaliavos) pavadinimas	Gamybos planas, vnt.	Žaliavų suvartojimas vienam kg PET plėvelės	Medžiagos kaina, Eur/kg	Žaliavų poreikis metams t	Medžiagų kaštai	
					PET plėvelės Eur/kg	Viso, mln. Eur
1 metai						
PET granulės	31878	0,5152	0.75	16423,55	0,39	12,32
Mechaniškai perdirbtas PET		0,48	0,45	15301,44	0,22	6,89
Plastifikatorius AB		0,0048	1,8	153,01	0,0086	0,28
Iš viso	-	-	-	-	-	19,48
Brandos metai (2 ir 3 metai)						
PET granulės	45540	0,5152	0.81	23462,2	0,42	19
Mechaniškai perdirbtas PET		0,48	0,48	21859,2	0,23	10,49
Plastifikatorius AB		0,0048	1,92	218,59	0,0092	0,42
Iš viso	-	-	-	-	-	29,92
4 metai						
PET granulės	40986	0,5152	0,87	21116	0,45	18,37
Mechaniškai perdirbtas PET		0,48	0,52	19673,3	0,25	10,23
Plastifikatorius AB		0,0048	2,08	196,73	0,01	0,41
Iš viso	-	-	-	-	-	29,01
5 metai						
PET granulės	38709	0,5152	0.91	19942,9	0,47	18,15
Mechaniškai perdirbtas PET		0,48	0,55	18580,3	0,26	10,22
Plastifikatorius AB		0,0048	2,19	185,8	0,011	0,41
Iš viso	-	-	-	-	-	28,77

Skaičiuojant išlaidas darbo užmokesčiui priimama sąlyga, kad prie kiekvienos PET plėvelės liejimo linijos dirba po 1 operatorių.

18 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Gaminiai	Gamybos apimtis, t	Gaminio darbo imlumas, h/t	Valandinis atlyginimas, Eur	Gamybinės programos darbo imlumas, h	Darbo užmokestis, tūkst. Eur			Atskaitymai VSD, GF, IDIF tūkst. Eur*
					Pagrindinis	Apildomas	Bendras	
1 metai								
PET plėvelė	31878	5,5	10,48	5796	60,74	6,07	66,81	1,18
Brandos metai (2 ir 3 metai)								
PET plėvelė	45540	5,5	11,85	8280	98,12	9,81	107,93	1,91
4 metai								
PET plėvelė	40986	5,5	12,74	7452	94,94	9,49	104,43	1,85
5 metai								
PET plėvelė	38709	5,5	13,74	7038	96,70	9,67	106,37	1,88

Apskaičiuotos elektros energijos išlaidos pateikiamos 19 lentelėje. Apskaičiuotas bendras visų įrenginių galingumas ir remiantis įsisavinimo koeficientu apskaičiuotas metinis efektyvus darbo laikas, remiantis gamybos našumu, kuris yra 1100 kg/h. Elektros energijos išlaidų skaičiavimuose taip pat įvertintas ir elektros energijos kainos augimas kuris sudaro apie 10 %.

19 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros sąnaudoms

Įrengimų variklių suminis aktyvinis galingumas, kW	Variklių galingumo panaudojimo koeficientas	Įrengimų metinis efektyvus darbo laikas, h	Elektros energijos poreikis jėgai, MWh	Elektros 1 kWh kaina, Eur	Išlaidos elektros energijai, mln.. Eur
1 metai					
2,28	0,9	5796	11893	0,11	1,31
Brandos metai (2, 3 metai)					
2,28	0,9	8280	16954	0,12	2,03
4 metai					
2,28	0,9	7452	15292	0,13	1,99
5 metai					
2,28	0,9	7038	14442	0,14	2,02

3.3.5. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Netiesioginiai gamybos kaštai, tai išlaidos, kurios nėra tiesiogiai priskiriamos vienam konkrečiam gaminiui, tačiau yra būtinos visam gamybos procesui palaikyti. Šiame projekte skaičiuojamos šios netiesioginės išlaidos, darbo užmokesčio netiesioginės išlaidos (susijusios su pagalbinio personalo ar priežiūros darbuotojų atlyginimais), vandens sąnaudos (naudojamos higieninėms darbuotojų reikmėms), patalpų šildymo išlaidos, apšvietimo sąnaudos bei pastato ir įrangos nusidėvėjimas (amortizacija). Duomenys pateikiami žemiau esančiose 20 – 25 lentelėse.

Skaičiuojama, kad vienu metu įmonėje dirba 5 PET plėvelės liejimo mašinos operatoriai ir kiekvienam operatoriui yra pagalbinis operatorius, 5 pakuotojai, 2 technikai ir 1 proceso inžinierius, tai sudaro vieną pamainą. Taip įmonėje dirba 4 pamainos rotaciniu pobūdžiu. Viena pamaina dirba 2 dienas ir 2 naktis po 12 h ir yra skiriamos 4 dienos poilsui.

20 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Projekto gyvavimo metai	Profesijos pavadinimas	Darbuotojų skaičius	Mėnesio alga, EUR/mėn.	Darbo užmokestis per metus, tūkst. EUR	Atskaitymai socialiniam draudimui tūkst. EUR
Pirmieji metai	Papildomas liejimo įrangos operatorius	20	1750	420	7,43
	Pakuotojas	20	1300	312	5,52
	Technikas	10	1900	228	4,04
	Proceso inžinierius	5	1950	117	2,07
Iš viso	-	-	-	1077	19,06
Brandos stadija (2, 3)	Papildomas liejimo įrangos operatorius	20	2050	492	8,71
	Pakuotojas	20	1380	331,2	5,86
	Technikas	10	2170	260,4	4,61
	Proceso inžinierius	5	2260	135,6	2,4
Iš viso	-	-	-	1219,2	21,58
Ketvirtieji metai	Papildomas liejimo įrangos operatorius	20	2329	558,96	9,89
	Pakuotojas	20	1573	377,52	6,68
	Technikas	10	2299	275,88	4,88
	Proceso inžinierius	5	2360	141,6	2,51
Iš viso	-	-	-	1353,96	23,96
Penktieji metai	Papildomas liejimo įrangos operatorius	20	2562	614,88	10,88
	Pakuotojas	20	1903	456,72	8,08
	Technikas	10	2782	333,84	5,91
	Proceso inžinierius	5	2855	171,3	3,03
Iš viso	-	-	-	1576,74	27,9

Remiantis vienu metu dirbančių darbuotojų skaičiumi įmonėje paskaičiuotos vidutinis vandens suvartojimas metams ir remiantis kiekiu apskaičiuotos išlaidos vandeniui, eksploatacinės išlaidos sudaro 10 % išlaidų skirtų vandeniui.

21 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui

Išlaidų pavadinimas	Sunaudojimas per parą, l/1 darbuotojui	Poreikis metams, m ³	1 m ³ vandens kaina, Eur	Išlaidos vandeniui, tūkst. Eur
Šaltas vanduo	30	134,55	3,35	0,45
Karštas vanduo	15	67,28	7,22	0,49
Viso:				0,94
Eksploatacinės išlaidos	-	-	-	0,094
Iš viso:	-	-	-	1,03

Netiesioginės išlaidos patalpų šildymui taikomos tik administracijos, virtuvės, laboratorijos, persirengimo, proceso priežiūros skyriaus patalpoms. Kitos patalpos į netiesioginių išlaidų skaičiavimą neįtraukiamos, kadangi gamybinėse patalpose nuo ekstrudierių išsiskiria pakankamas šilumos kiekis, kuris sušildo patalpas iki 22 °C temperatūros, net šaltuoju metų laiku. O sandėliuose nėra poreikio palaikyti aukštos aplinkos oro temperatūros, kadangi nei naudojamos žaliavos, nei produktas nėra jautrūs temperatūros pasikeitimams. Bendras patalpų plotas yra 470 m², o aukštis 3 m, tai bendras tūris lygus 1410 m³. Eksploatacinės išlaidos sudaro 15 % išlaidų šildymui per metus. 22 lentelėje pateikiamos netiesioginės išlaidos patalpų šildymui.

22 lentelė. Netiesioginės išlaidos patalpų šildymui

Projekto metai	Šiluminės energijos poreikis, Gkal	Šiluminės energijos kaina, Eur/Gkal.	Išlaidos šildymui per metus, tūkst. Eur	Eksploatacinės išlaidos, tūkst. Eur	Viso išlaidų, tūkst. Eur
1	159,77	70,13	11,2	1,68	12,88
2	159,77	71,53	11,43	1,71	13,14
3	159,77	72,96	11,66	1,75	13,41
4	159,77	74,42	11,89	1,78	13,67
5	159,77	75,9	12,13	1,82	13,95

Apskaičiuojant išlaidas patalpų apšvietimui, buvo apskaičiuotas apšvietimo normos vidurkis, kadangi laboratorijoje, mechaninėse dirbtuvėse, proceso priežiūros skyriaus kabinete reikiama apšvietimo norma yra didesnė nei sandėlyje, gamybinėse patalpose. Išlaidos pateikiamos 23 lentelėje.

23 lentelė. Netiesioginės išlaidos patalpų apšvietimui

Projekt o metai	Patalpų plotas	Apšvietimo norma, W/m ²	Energijos kiekis patalpoms apšviesti, kWh	1 kWh kaina, Eur	Išlaidos apšvietimui per metus, tūkst. Eur	Ekspluatacinės išlaidos, tūkst. Eur	Viso išlaidų, tūkst. Eur
1	6600	7	267775,2	0,11	29,46	4,42	33,88
2	6600	7	382536	0,115	43,99	6,6	50,59
3	6600	7	382536	0,12	45,9	6,89	52,79
4	6600	7	344282,4	0,13	44,76	6,71	51,47
5	6600	7	325155,6	0,14	45,52	6,83	52,35

Apskaičiuotas įrenginių ir pastatų nusidėvėjimas, remiantis įsigijimo verte, tuo pačiu remiantis vidutine eksploataavimo trukme apskaičiuota įrengimų ir pastato nusidėvėjimo suma kiekvienais metais. Duomenys pateikiami 24 lentelėje.

24 lentelė. Pagrindinių įrenginių ir pastatų nusidėvėjimas (amortizacija)

Ilgaalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, mln. Eur	Normatyvinė eksploataavimo trukmė	Nusidėvėjimo suma, mln. Eur metams					Likutinė vertė, mln. Eur
			1	2	3	4	5	
Gamybinis pastatas	5,61	23	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	4,36
PET plėvelės liejimo mašinos	12	10	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	6,6
Aušinimo sistema	1,2	11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,65
Viso:	18,81		1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	11,61

25 lentelė. Netiesioginių gamybos išlaidų sąmata

Išlaidų rūšys	Projekto metai				
	1	2	3	4	5
Pagalbinės medžiagos	376,2	376,2	376,2	376,2	376,2
Darbo užmokestis	1077	1219,2	1219,2	1353,96	1576,74
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	19,0,6	21,58	21,58	23,96	27,9
Elektros energija (apšvietimui)	33,88	50,59	52,79	51,47	52,35
Vanduo (buičiai)	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
Šiluminė energija (šildymui)	12,88	13,14	13,41	13,67	13,95
Amortizaciniai atskaitymai	1440	1440	1440	1440	1440
Pagalbinių ir aptarnaujančių tarnybų paslaugos:					
Įrengimų remontas	188,8	188,8	188,8	188,8	188,8
Vidaus transporto remontas	75,24	75,24	75,24	75,24	75,24
Gamybinių cechų pastatų remontas	112,86	112,86	112,86	112,86	112,86
Kitos išlaidos	94,05	94,05	94,05	94,05	94,05
Iš viso:	3411,94	3592,69	3595,16	3731,24	3959,12

Apskaičiavus tiesiogines ir netiesiogines išlaidas, apskaičiuojama gaminio savikaina, kuri pateikiama 26 lentelėje.

26 lentelė. Gamybos kaštai

Kaštų rūšys (komponentai)	Gamybos kaštai, tūkst. Eur
	Gaminiai
	PET plėvelė
Pirmais projekto metais	
Pagrindinės medžiagos	19480
Energija	1310
Gamybinių darbininkų darbo užmokestis	66,81
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	1,18
Gamybinės netiesioginės išlaidos	3411,94
Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur	24269,93
Produkcijos gamybos planas, t	31878
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	761
Projekto brandos metais (2 ir 3)	
Pagrindinės medžiagos	29920
Energija	2030
Gamybinių darbininkų darbo užmokestis	107,93
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	1,91
Gamybinės netiesioginės išlaidos	3592,69
Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur	35652,53
Produkcijos gamybos planas, t	45540
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	783
Ketvirtais projekto metais	
Pagrindinės medžiagos	29010
Energija	1990
Gamybinių darbininkų darbo užmokestis	104,43
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	1,91
Gamybinės netiesioginės išlaidos	3731,24
Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur	34837,58
Produkcijos gamybos planas, t	40986
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	850
Penktais projekto metais	
Pagrindinės medžiagos	28770
Energija	2020
Gamybinių darbininkų darbo užmokestis	106,37
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	1,88
Gamybinės netiesioginės išlaidos	3959,12
Viso gamybos kaštų, tūkst. Eur	34857,37
Produkcijos gamybos planas, t	38709
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	900

3.3.6. Veiklos kaštai

Veiklos kaštai apima visas su įmonės einamąja veikla susijusias išlaidas, kurios nėra tiesiogiai priskiriamos gamybai, tačiau yra būtinos sklandžiam funkcionavimui užtikrinti. Veiklos sąnaudos

sudarytos remiantis UAB „Doloop“ ruošinių gamybos cecho duomenimis, kurio gamybinis našumas artimas projektuojamam PET plėvelės cechui.

27 lentelė. Veiklos sąnaudos

Išlaidų rūšys	Suma, tūkst.. Eur
Pardavimų sąnaudos:	
Reklama ir skelbimai	35
Prekių išvežimas	250
Bendrosios ir administracinės sąnaudos:	
Pagalbinės medžiagos	15
Administracijos darbuotojų darbo užmokestis	280
Atskaitymai VSD, GF ir IDIF	58,5
Energija(šiluminė ir elektros)	40
Amortizaciniai atskaitymai	430
Administracijos transporto remonto ir išlaikymo išlaidos	10
Ryšių paslaugos	4,5
Komandiruotės	8
Mokesčiai ir rinkliavos	6
Viso:	1137

Banko suteiktą paskola 10mln. Eur planuojama gražinti per penkis metus. Vidutinė metinė palūkanų norma 6 %. Pagal turimus duomenis sudaromas paskolos gražinimo planas 28 lentelė.

28 lentelė. Paskolos gražinimo planas

Rodiklis	Projekto metai				
	1	2	3	4	5
Metai	1	2	3	4	5
1. paskolos suma, mln. Eur.	10	8	6	4	2
2. metinė palūkanų norma, proc.	6	6	6	6	6
3. palūkanos, mln. Eur.	0,6	0,48	0,36	0,24	0,12
4. paskolos padengimas, mln. Eur	2	2	2	2	2
5. palūkanos su paskolos padengimu	2,6	2,48	2,36	2,24	2,12

3.3.7. Gaminio kainos skaičiavimas

Atlikus ankstesnius skaičiavimus, galima apskaičiuoti PET plėvelės gamybinę savikainą vienai tonai gaminio, tuo pačiu apskaičiuoti produkto pardavimo kainą. Duomenys pateikiami 29 lentelėje.

29 lentelė. Gaminių kainų apskaičiavimas

Gaminiai	Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	Gaminui, tenkančios veiklos sąnaudos, Eur	Gaminui, tenkančios investicinės veiklos sąnaudos, Eur	Gaminio pilnoji savikaina, Eur	Pelnas		Kaina
					%	Eur/t.	Eur
1 metai							
PET plėvelė	761	35	81,56	877,65	23	175,53	1053,18
2 metai							
PET plėvelė	783	24,97	54,45	862,42	26	224,23	1086,65
3 metai							

PET plėvelė	783	24,97	51,82	859,79	29	249,33	1109,12
4 metai							
PET plėvelė	850	27,74	54,65	932,39	32	298,33	1230,72
5 metai							
PET plėvelė	900	29,37	54,77	984,14	35	344,45	1328,59

3.3.8. PET plėvelės projekto prognozuojamas pelnas ir pinigų srautai

Pateikiama projekto prognostinė pelno (nuostolio) ataskaita ir įvertinami grynujų pinigų srautai pagal kiekvienus projekto vykdymo metus. Skaičiavimų rezultatai pateikti 30 lentelėje. Ataskaita padeda įvertinti projekto finansinį rezultatą, jo pelningumą bei gebėjimą generuoti pinigų srautus, kurie yra būtini sklandžiam veiklos vykdymui ir investicijų grąžinimui. Grynasis pelnas apskaičiuotas iš veiklos ir finansinės veiklos rezultatų, atėmus pelno mokesť, kuris yra 15 %. Tai galutinis įmonės finansinis rezultatas, parodantis, kiek pelno lieka įmonei po visų išlaidų ir mokesčių.

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

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
1. Pardavimų pajamos	33573,27	49486,04	50509,32	50442,29	51428,39
2. Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	24269,93	35652,53	35652,53	34837,58	34857,37
3. Bendras pelnas (nuostolis)	9303,34	13833,51	14856,79	15604,71	16571,02
4. Veiklos sąnaudos	1137,00	1137,00	1137,00	1137,00	1137,00
5. Veiklos pelnas (nuostolis)	8166,340	12696,51	13719,79	14467,71	15434,020
6. Finansinė ir investicinė veikla sąnaudos	600,00	480,00	360,00	240,00	120,00
7. Pelnas (nuostolis) prieš apmokestinimą	7566,34	12216,51	13359,79	14227,71	15314,02
8. Pelno mokestis	1134,95	1832,48	2003,97	2134,16	2297,10
9. Grynasis pelnas (nuostolis)	6431,39	10384,03	11355,82	12093,55	13016,92

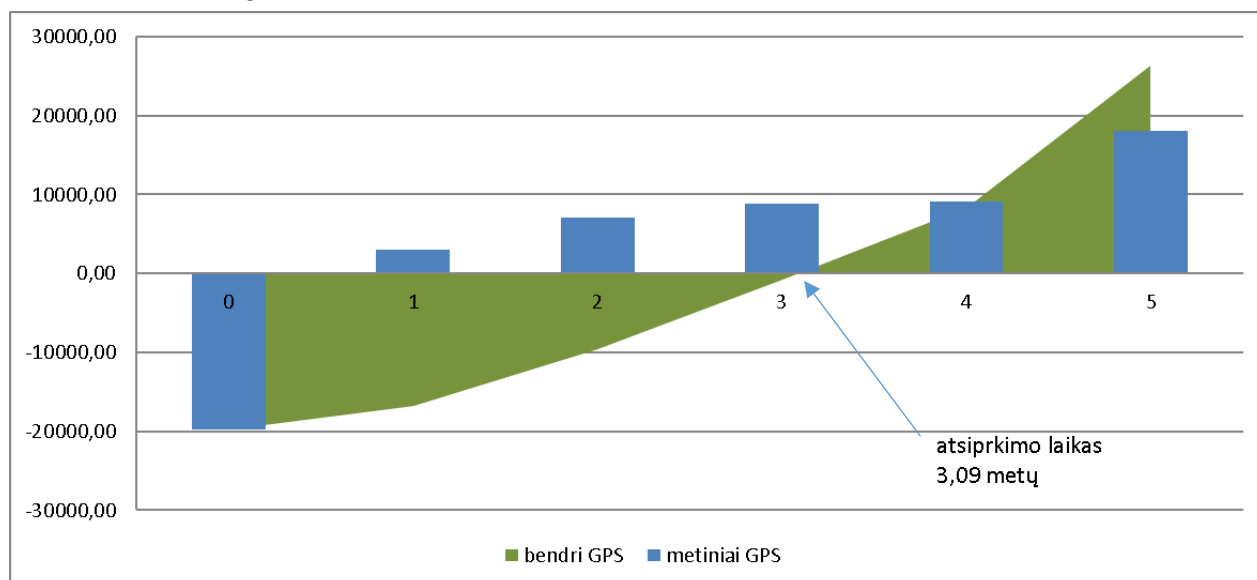
3.3.9. Projekto investicijų efektyvumo vertinimas

Įvertinamas projekto investicijų efektyvumas, naudojant diskontuotų grynujų pinigų srautų metodiką. Kadangi investicijų grąža gaunama tik per kelis metus, būtina atsižvelgti į laiko intervalą, per kurį projektas atsipirks. Tam naudojami diskontavimo skaičiavimai. Projekto grynieji pinigų srautai diskontuojami taikant vidutinius svertinius kapitalo kaštus. Projekte naudojami trys kapitalo šaltiniai nuosavas kapitalas (1,11 mln. Eur), iš kurio savininkai tikisi 12 % grąžos, ilgalaikė paskola (10 mln. Eur), kuriai taikomos 6 % palūkanos ir ES parama (7,7 mln. Eur). Kadangi ES parama nelaikoma mokamu kapitalo šaltiniu, į skaičiavimą ji nėra įtraukiama.

31 lentelė. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita tūkst. Eur

Projekto metai	Paprasti GPS		Diskontuoti GPS	
	metiniai GPS	bendri GPS	metiniai GPS	bendri GPS
0	-19720,12	-19720,12	-19720,12	-19720,12
1	3147,77	-16572,35	2975,49	-16744,63
2	7921,21	-8651,14	7077,86	-9666,77
3	10435,82	1784,68	8814,40	-852,37
4	11395,42	13180,10	9098,13	8245,76
5	23946,76	37126,86	18072,72	26318,48

Iš gautų rezultatų sudaromas grafikas. 15 pav. Taip pat apskaičiuojami Projekto ekonominio vertinimo rodikliai 32 lentelė.



15 pav. Projekto atsipirkimo laikotarpis

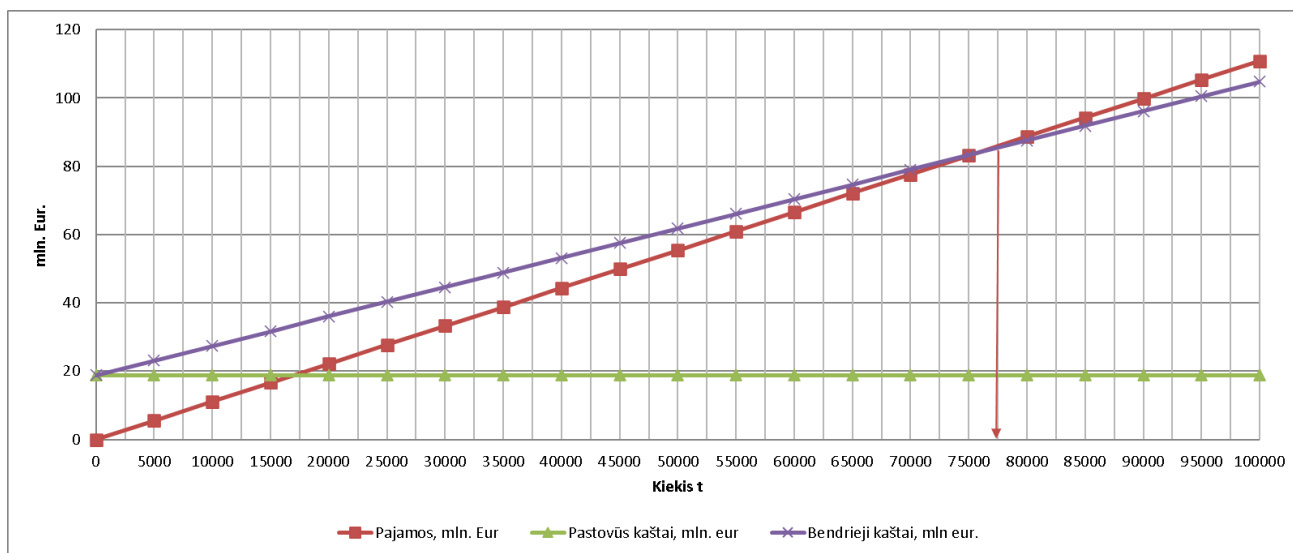
32 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai

Rodikliai	Matavimo vienetai	Reikšmės
Diskontuotas atsipirkimo laikas	metai	3,09
Grynoji esamoji vertė (GEV)	tūkst. Eur	26318,48
Vidinė pelno (grąžos) norma (IRR)	%	34,9
Modifikuota vidinė pelno norma (MIRR)	%	26,2
Pelningumo indeksas (PI)	koeficientas	2,33

Lūžio taško analizė leidžia nustatyti, kokį kiekį produkcijos įmonė turi pagaminti ir parduoti, kad padengtų visas tiesiogines ir netiesiogines išlaidas, tačiau neuždirbtų dar pelno. Perlipus lūžio tašką, įmonė pradeda dirbti pelningai. Duomenys pateikiami 33 lentelėje ir sudaroma lūžio taško diagrama. (16 pav.)

33 lentelė. Lūžio taško skaičiavimų rezultatai

Rodikliai	PET plėvelė
Pastoviųjų kaštų suma, priskirta gaminiui mln. eur	18,81
Gaminio kaina, eur/t	1109,12
Gaminio kintamieji kaštai, eur/t	859,79
Lūžio taškas, t.	75442
Pardavimų planas, t.	100000



16 pav. Lūžio taškas

Remiantis gautais rezultatais, galima teigti, kad pardavus 75442 t PET plėvelės, bus padengtos visos šiam projektui reikalingos išlaidos.

34 lentelė. Projekto balansas

Projekto gyvavimo metai	2025	2026	2027	2028	2029	2030
2025	-19720,12	-19720,12	-19720,12	-19720,12	-19720,12	-19720,12
2026		3147,77	3147,77	3147,77	3147,77	3147,77
2027			7921,21	7921,21	7921,21	7921,21
2028				10435,82	10435,82	10435,82
2029					11395,42	11395,42
2030						23946,76
Būsimieji	-19720,12	-16572,35	-8651,14	1784,68	13180,10	37126,86

35 lentelė. Projekto finansiniai ekonominiai rodikliai

Rodikliai	Projekte
1. Produkcijos pardavimo apimtis, natūriniais vienetais brandos stadijoje: PET plėvelė t	45540
2. Pardavimų pajamos, tūkst. Eur	49486
3. Įmonės personalas, žmonėmis tame skaičiuje darbininkai	60 45
4. Darbo našumas, tūkst. Eur	
Darbuotojo	824,77
Darbininko	1099,69
5. Vidutinis metinis darbo užmokestis, Eur	
Darbuotojo	26580
Darbininko	20580
6. Gamybos kaštai, tūkst. Eur	35652
7. Gaminio pilnoji savikaina, Eur	
PET plėvelė t/Eur	862,42
8. Grynas pelnas, tūkst. Eur	10384
9. Investicijų apimtis, tūkst. Eur	18810
10. Bendrasis pelningumas, %	28
11. Veiklos pelningumas, %	25,7
12. Grynas pelningumas, %	21
13. Investicijų grąža (ROI) %	55,20

Rodikliai	Projekte
14. Veiklos rentabilumas, %	28,23
15. Apyvartų skaičius per metus	8
16. Apyvartos trukmė, dienomis	45
17. Produkcijos imlumas apyvartinėms lėšoms, Eur	0,09
18. Projekto kapitalo kaštai, %	5,79
19. Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas, metais	3,09
20. Projekto grynoji esamoji vertė, tūkst. Eur	26318,48
21. Vidinė pelno norma, %	34,9
22. Modifikuota vidinė pelno norma, %	26,2
23. Pelningumo indeksas	2,33

3.4. Aplinkosauginis vertinimas

3.4.1. Naudojamų žaliavų ir energijos išteklių aplinkosauginis poveikis

Atliekamas PET plėvelės gamybos koekstruzijos būdu veiklos aplinkosauginis vertinimas, siekiant iširti planuojamos gamybos poveikį aplinkai. Šis gamybos būdas dėl inovatyvių technologinių sprendimų, turėtų sumažinti elektros energijos sąnaudas bei susidarančių atliekų kiekį, lyginant su įprastu PET plėvelės gamybos procesu. Planuojama pagaminti 45540 t PET plėvelės per metus. Planuojama gamyba atitinka 22.22 ekonominės veiklos rūšį „Plastikinių pakuočių gamyba“. [50] Aplinkosauginio vertinimo pradžioje sudaromas naudojamų žaliavų, energijos išteklių ir produktų balansas. Sudarant naudojamų žaliavų balansą, priimama sąlyga, kad gamybos metu naudojama 60 % mechaniškai perdirbto PET, tačiau pati technologinė linija yra pajėgi dirbti su 84 % mechaniškai perdirbtu PET, tai yra visas PET plėvelės vidinis sluoksnis gali būti užpildytas perdirbtomis žaliavomis, kartu sumažinant išorinio sluoksnio kiekį iki minimalaus leistino 8 %. Iš pateiktų duomenų 36 lentelėje apie naudojamas žaliavas, galima teikti, kad gamyboje nėra naudojamos toksiškos medžiagos išskyrus etilenglikolį, kuris naudojamas uždaroje aušinimo sistemoje ir acetonas, kuris naudojamas kalandro volų ir kitos įrangos valymui, tačiau šį valiklį galima pakeisti į mažiau toksišką.

36 lentelė. Duomenys apie naudojamas žaliavas, chemines medžiagas ar preparatus [51]

Žaliavos, cheminės medžiagos ar preparato pavadinimas	Kiekis per metus	Cheminės medžiagos ar preparato klasifikavimas ir ženklinimas		
		kategorija	pavojaus nuoroda	rizikos frazės
PET (polietilentereftalato) granules	23462,2 t	-	-	-
PET (polietilentereftalato) sumaltos atraižos	21859,2 t	-	-	-
Plastifikatorius AB	218,59 t	-	-	-
Etilenglikolis	2000 l	Ūmus toksiškumas 4	GHS08	H302
Acetonas	1000 l	Degūs skysčiai 2	GHS02	H225

37 lentelė. Duomenys apie gaminius (produkciją)

Pavadinimas (asortimentas)	Mato vnt., t, m3, vnt. ir kt.	Kiekis per metus
Trijų sluoksnių PET plėvelė	t	45540

Siekiant pagaminti 45540 t PET plėvelės per metus bus suvartojamas toks elektros energijos kiekis: 1055 MWh A sraigto varikliui, 7132 MWh B sraigto varikliui, 2821 MWh aušyklei, 155 MWh plėvelės malūnui (brokuotai plėvelei ir jos atraižoms), likusi dalis – 5573 MWh sunaudojama sraigto kaitinimams, patalpų šildymui ir aušinimui ir kitiems elektriniams prietaisams. Elektros energijos sąnaudos pateikiamos penkioms PET plėvelės gamybos linijoms esančioms viename pastate.

38 lentelė. Kuro ir energijos vartojimas

Energetiniai ir technologiniai ištekliai	Matavimo vnt., t, m ³ , kWh	Sunaudojamas kiekis per metus	Išteklių gavimo šaltiniai
a) elektros energija	MWh	16954	Saulės elektrinės, elektros energijos tiekėjas (ESO)

Siekiant padengti bent dalį suvartojamos elektros energijos, ant pastato stogo planuojama sumontuoti saulės elektrines, kurios užims 70 % viso pastato ploto, kuris yra 6600 m². Jei 11 saulės elektrinių modulių užima 60 m² plotą, bendra galia sudaro 10 kW, o tokia elektrinė per metus pagamina 9979 kWh elektros energijos, tai apstačius 70 % pastato stogo (4620 m²) saulės elektrinėmis pagaminta elektros energijos suma sudarys 768,38 MWh.

39 lentelė. Energijos gamyba

Energijos rūšis	Planuojama pagaminti
Elektros energija, MWh	768,38

3.4.2. Atliekos ir jų tvarkymas

PET plėvelės gamybos metu susidaro nemažas kiekis įvairios rūšies atliekų. Siekiant įvertinti atliekų tvarkymo ir laikymo sąlygas, svarbu įvertinti susidarančių atliekų kiekį per metus ir jų tipą. Žinant susidarančių atliekų kiekį galima nustatyti, kokį kiekį atliekų bus galima laikyti. Ši informacija pateikiama 40 lentelėje. Gaminant PET plėvelę, susidaro įvairūs plėvelės pažeidimai. Nekokybiškas produktas yra surenkamas ir sumalamas malūne, gauta plėvelės permala gražinama į liejimo procesą. Stabdant gamybinę liniją, sudaromi PET luitai (vientisa plastiko masė, kurios nepavyksta sumalti), kurie surenkami ir tiekiami atliekų perdirbėjams.

40 lentelė. Atliekos, atliekų tvarkymas [52]

Technologinis procesas	Atliekos					Atliekų saugojimas objekte		Numato mi atliekų tvarkymo būdai
	pavadinimas	kiekis		agregatinis būvis (kietas, skystas, pastos)	kodas pagal atliekų sąrašą	Pavojingumas	laikymo sąlygos	didžiausias kiekis
		t/dieną	t/metus					

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ekstruzija	naftos produktų/vandens separatorių tepaluotas vanduo	150kg	155,49t	skystas	13 05 07	HP14 „Ekotoksiškos“	hermetiški konteineriai	5t	S1 ir S2
Ekstruzija	naftos produktų/vandens separatorių dumbblas	5kg	0,5t	pasta	13 05 02	HP14 „Ekotoksiškos“	hermetiški konteineriai	1t	S1 ir S2
Žaliavų paruošimas/produktų pakavimas	popierius ir kartonas	1kg	0,65t	kieta	20 01 01	Nepavojingos	Didmaisiai	0,5t	S1 ir S2
Žaliavų paruošimas/produktų pakavimas	popieriaus ir kartono pakuotės	91kg	33,49t	kieta	15 01 01	Nepavojingos	Konteineriai	2t	S1 ir S2
Gamyba	pakuotės, kuriose yra pavojingų cheminių medžiagų likučių arba kurios yra jomis užterštos	30kg	11,15t	kieta	15 01 10	HP14 „Ekotoksiškos“	Konteineriai	1t	S1 ir S2
Gamyba	Pet dulės	14kg	4,9t	kieta	12 01 05	Nepavojingos	hermetiški konteineriai	1t	S1 ir S2
Gamyba	Plėvel. luitų atliekos	7kg	2,6t	kieta	07 02 13	Nepavojingos	Didmaisiai	1t	S1 ir S2

3.4.3. Gamyboje naudojamas vanduo ir susidarančios nuotekos

Technologiniuose procesuose vanduo nėra naudojamas, todėl pagrindinis vandens suvartojimas yra įmonės personalo apyvokos reikmėmis. Tai apima sanitarines ir higienos reikmes, tokias kaip tualetų, dušų naudojimas ir valymo darbai. Įmonėje vienu metu dirbant 60 žmonių, vandens sunaudojimas apyvokos reikmėms skaičiuojamas remiantis vidutiniais normatyvais tai yra, kad vienas žmogus suvartoja apie 50 l vandens.

41 lentelė. Numatomas vandens paėmimas ir vartojimas

Eil. Nr.	Vandens šaltinis (vandenvietė ar kitas)	Didžiausias planuojamas gauto vandens kiekis			Veikla, kurioje bus naudojamas vanduo	Kiekvienoje veikloje planuojamo suvartoti vandens didžiausias kiekis		
		m ³ /m	m ³ /d	m ³ /h		m ³ /m	m ³ /d	m ³ /h
1	Šiaulių miesto savivaldybės vandentiekis	1095	3	0,125	personalo apyvokos reikmėmis	1095	3	0,125

42 lentelė. Duomenys apie nuotekų šaltinius ir/arba išleistuvus

Nr.	Nuotekų priimtuvai	Planuojamų išleisti nuotekų ir jų šaltinio aprašymai		Išleistuvo tipas	Išleistuvo vietos aprašymas	Didžiausias numatomas išleisti nuotekų kiekis			
						l/s	m ³ /h	m ³ /d	m ³ /m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

1	Centralizuoti nuotekų tinklai	Buitinės nuotekos (tualetai, kriauklės, dušai);	Centralizuotas	Pastato nuotekų sistema prijungta prie miesto tinklų	0,035	0,125	3	1095
---	-------------------------------	---	----------------	--	-------	-------	---	------

3.4.4. PET plėvelės gamybos cecho poveikis aplinkos orui

PET plėvelės gamybos cechas gali daryti tam tikrą poveikį aplinkos orui dėl gamybos procese naudojamų cheminių medžiagų ir susidarančių garų. Vienas iš teršalų šaltinių yra acetonas, kuris gali būti naudojamas kaip valymo priemonė apsinešus kalandro volams. Taip pat gamybos metu, ypač esant aukštai temperatūrai koekstruzijos procese, gali išsiskirti nedideli kiekiai plastiko garų ar lakiųjų organinių junginių. Taip pat netinkama PET plėvelė yra sumalama malūnuose, šio proceso metu susidaro nedideli kiekiai PET dulkių. Šie išvardinti oro taršos šaltiniai yra surenkami į gamybinės patalpos vėdinimo sistemą, kuri paprastai yra suprojektuota taip, kad teršalai būtų pašalinami iš darbo zonos ir per filtravimo arba valymo sistemas nukreipiami į aplinką. [53]

43 lentelė. Tarša į aplinkos orą

Proceso (veiklos) pavadinimas	Taršos šaltiniai		Teršalai		Numatoma tarša			
	Pavadinimas	Nr.	Pavadinimas	Kodas	Momentinis dydis			Metinė, t/m
					vnt.	vidut.	maks.	
PET plėvelės gamyba (valymas)	Įrangos valymas acetonu	1	Acetonas (LOJ)	07.01.01	kg/h	0,086	5,6	0,75
PET plėvelės gamyba (liejimas)	Liejimo galvutė	2	LOJ (iš priedų)	07.01.01	kg/h	0,05	0,15	0,396
PET plėvelės perdirbimas	PET plėvelės malūnas	3	PET dulkės	06.03.01	g/h	1,2	2,0	0,01

3.4.5. Fizikinė tarša

Iš naudojamų žaliavų, galima teigti, kad gamybos metu nesusidaro biologinės taršos rizikos. Tačiau įvertinus fizikinės taršos veiksnius galima teigti, kad yra du pagrindiniai. Pirmasis tai yra mikroplastikai, susidarantys malant plėvelės nuopjovas ar brokuotą plėvelę, tačiau šis rizikos veiksnys yra pašalinamas, kadangi naudojami filtrai surinkti PET dulkėms, kurios surenkamos ir pašalinamos, kaip atliekos ir gamybinės patalpos aprūpintos tinkamu vėdinimu. Antrasis rizikos veiksnys yra triukšmas. Gamybos metu sukeliamas triukšmas viršija Lietuvos Respublikos triukšmo valdymo įstatyme Nr. IX-2499 nurodytą 85 dB ribą ir gali siekti iki 90 dB, kadangi gamybos procesas yra nuolatinis ir įmonėje dirbama pamainomis po 12 h, tai viršijama didžiausia leidžiama vidutinė paros ekspozicija darbuotojui esančiam triukšmingoje aplinkoje, kuri yra lygi 8 h. Tačiau siekiant sumažinti įtaką darbuotojui, taikomos klausos apsaugos priemonės, tokios kaip garsą slopinančios ausinės, pertraukos darbo metu. Kadangi aplink PET plėvelės gamybos pastatą nėra šalia gyvenamųjų pastatų ir jų statybai nėra galimybės, dėl šalia gamyklos esančio Šiaulių oro uosto, geležinkelio bėgių ir ugniagesių mokymo centro, todėl triukšmo objektų poveikis gyvenamosioms teritorijoms nebus toliau aptariamas. Fizikinės taršos duomenys pateikiami 44 lentelėje. [54]

44 lentelė. Fizikinės taršos duomenys

Taršos rūšis	Taršos šaltinio pavadinimas	Taršos šaltinių skaičius	Taršos šaltinio skleidžiamas taršos lygis	Priemonės taršos mažinimui
Triukšmas	PET plėvelės malimas	5	85 – 95 dB	Personalui išduodamos apsaugos priemonės, darbo metu suteikiamos pertraukos
Triukšmas	PET plėvelės malimas	5	85 – 105 dB	Personalui išduodamos apsaugos priemonės, darbo metu suteikiamos pertraukos

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

4.1. Projektuojamo objekto charakteristika

Projektuojamas PET plėvelės gamybos pastatas, kuris priklausys įmonei UAB „Doloop“, įmonė įsikūrus Šiaulių mieste. [55] Projektas vykdomas siekiant padidinti įmonės gamybos pajėgumus dėl augančios PET plėvelės paklausos rinkoje. Gamyboje naudojamos PET granulės, mechanškai perdirbtas PET bei priedai vienas iš jų plastifikatorius AB. Gaminama skirtingų techninių savybių trijų sluoksnių PET plėvelė, skirta įvairiems pramonės sektoriams, tačiau pagrindinis yra maisto pakuočių sektorius. Gamybos procesas vykdomas naudojant elektros energiją, be papildomo kuro deginimo ar cheminių sintezės procesų. Atsižvelgiant į gamybos procesą ir remiantis Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymu, tai atitinka veiklos pavadinimą: plastikinių gaminių gamyba be sintezės procesų, kai gamybos pajėgumas viršija 1 toną per parą, šiai veiklai nustatoma 150 metrų sanitarinė apsauginė zona. [56]

4.2. Profesinės rizikos vertinimas

Projektuojamoje PET plėvelės liejimo gamykloje atliekamas profesinės rizikos vertinimas siekiant nustatyti galimus darbuotojų sveikatai ir saugai pavojingus veiksnius technologinio proceso metu, juos įvertinti ir sumažinti jų poveikį darbuotojų sveikatai parinkus prevencines priemones. Vertinimo metu identifikuojami fiziniai, cheminiai, ergonominiai ir kiti veiksniai, kurie gali sukelti traumų ar profesinių ligų riziką. Atsižvelgiant į naudojamas medžiagas, įrenginius ir gamybos pobūdį, įvertinamos rizikos pasireiškimo vietos, intensyvumas, poveikio trukmė ir dažnis. Remiantis surinktais duomenimis, nustatomas veiksmų pavojingumo lygis ir apibrėžiamos būtinos prevencinės priemonės darbuotojų saugai ir sveikatai užtikrinti. Vertinimui taikomi teisės aktų nustatyti reikalavimai darbo vietoms, ribiniai dydžiai, taip pat galima remtis analogiškų gamybos įmonių patirtimi. Žemiau pateiktoje 45 lentelėje pateikiami identifikuoti rizikos veiksniai ir jų kiekybinis įvertinimas projektuojamoje gamyboje.

45 lentelė. Rizikos veiksmų identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [57]

Rizikos veiksnys, keliantis pavojų profesinei saugai ir sveikatai	Rizikos veiksmo atsiradimo ar veikimo vieta	Rizikos veiksmo dydis (lygis), matavimo vienetas	Rizikos veiksmo leidžiamas dydis (lygis), ribinė vertė, matavimo vienetas	Rizikos veiksmo poveikio trukmė, dažnis	Prevencijos priemonių būtinumas
Plastiko lydalas	Ekstruderiai, liejimo lūpos	-	40 °C	12 h	Karščiui atsparūs rūbai, apsauginis skydelis apsaugoti akis, karščiui atsparios pirštinės.
Triukšmas	PET plėvelės liejimo įrenginiai	85 dBA	≤ 85 dBA	12 h	Ausų kištukai, ausinės
Aukšta aplinkos temperatūra	Ekstruderiai, liejimo lūpos	30 – 35 °C	≤ 28 °C	12 h	Gamybinių patalpų vėdinimas, šilumą spinduliuojančių įrenginių izoliavimas, pertraukėlės darbo metu skirtos atsigerti vandens.

Mechaniniai pavojai	Ekstruzijos linija, plėvelės pjovimo ir tempimo įrenginiai	(vertinamas kaip kontaktas)	Kontaktas negalimas	12 h	Saugos instruktažas, avariniai mygtukai, tinkami darbo rūbai (neturintys atvėpusių rankovių ir pan.)
Dulkės	Žaliavų krovimo ir transportavimo metu, plėvelės atraižų malimo metu	0,5 – 1,0 mg/m ³	5 mg/m ³	12 h	Rizika priimtina, tačiau naudojamos uždaros sistemos, turinčios ciklonus ir rankovinius filtrus.
Sunkūs daiktai	Pildant priedus į talpas, krovinyje keliamas į aukštį nuo žemyn nuleistos rankos krumplių iki alkūnės	25 kg	Leidžiama masė: Vyrams ≤ 25 kg; Moterims ≤ 16 kg;	12 h	Darbui skirtos pirštinės, kas 2 h darbo skiriamos 15 min pertraukos.
Apšvietimas	Gamybinės patalpos	250 lx	200 lx	12 h	Rizika priimtina
Darbo grafikas dirbama 12 h, 2 dienas ir 2 naktis	Gamybos patalpos	-	-	12 h	Dirbant naktį, po 8 h darbo suteikiamos pertraukos, kas 1 h papildomo darbo.
Elektra	Technologiniai įrenginiai	Maksimali įrenginio įtampa V	2V, 0,3 mA	12 h	Elektros prietaisų įžeminimas, pagrindiniai elektros kirtikliai (skirti išjungti elektros įtampą visuose įrenginiuose).
Plastiko garai	Liejimo lūpos	Neviršija 10 mg/m ³	10 – 50 mg/m ³	12 h	Oro nutraukimo įrenginiai, skirti nutraukti susidariusius garus į filtrus, po išvalymo į aplinką.
Aukštis	Dozavimo sistema	-	-	12 h	Aukštaličio įranga, atitvarai, šalmas.

Norint įvertinti technologinio proceso metu naudojamų medžiagų keliamą gaisro ir sprogimo pavojų, būtina nustatyti pliūpsnio temperatūrą, savaiminio užsidegimo ir užsidegimo temperatūrą bei galimas sprogiojo mišinio ribas. Šie rodikliai padeda priskirti patalpas ir įrenginius atitinkamai sprogimo ar gaisro pavojaus kategorijai. Lentelėje pateikiami pagrindinių gamyboje naudojamų medžiagų pavojingumo rodikliai ir per pamainą sunaudojami jų kiekiai.

46 lentelė. Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai [58]

Medžiagos pavadinimas	Sunaudojama (pagaminama) per pamainą, kg	Pliūpsnio temperatūra, °C	Sprogimo ribos		Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C	Užsidegimo temperatūra, °C
			apatinė g/m ³	viršutinė		
PET granulės	34003	-	-	-	485	600
Mechaniškai perdirbtas PET	31680	-	-	-	425	585

Plastifikatorius AB	317	-	-	-	400	500
PET dulkės	14	-	30–300	-	425	585

Technologinio proceso metu, ypač transportuojant PET žaliavą pneumatiniu būdu ir malant atraižas, gali susidaryti degios plastiko dulkės. Tokios dulkės, pakilusios į orą, gali sudaryti sprogų mišinį, jei pasiekama pavojinga koncentracija. Todėl įvertinant patalpų ir įrenginių gaisrinį ir sprogimo pavojų būtina atsižvelgti ne tik į naudojamų žaliavų fizines savybes, bet ir į galimų šalutinių produktų, kaip PET dulkės savybes.

47 lentelė. Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogimo ir gaisro pavojų, pavojingų vietų zonos [59]

Objekto, kuriam suteikiama kategorija, klasifikuojama pavojinga vieta, pavadinimas	Požymis, nulemiantis kategoriją, pavojingos vietos zoną	Kategorija, pavojingos vietos zona
Granulių paruošimas	Transportuojant žaliavą pneumo transportu susidaro PET dulkės	C _g , 22 zona
Malūno zona	Malant brokuotą plėvelę susidaro PET dulkės	C _g , 22 zona
Gamybinės patalpos	Karštos, įkaitusios, išlydytos nedejos medžiagos	D _g , 22 zona
Gamybinis pastatas	PET dulkės, sandėliuojamas didelis kiekis PET.	D _g , 22 zona

4.3. Saugi gamyba

PET plėvelės liejimo technologinis procesas pasižymi aukštomis darbinėmis temperatūromis, sparčiu žaliavų judėjimu, sudėtinga elektros ir mechaninė įranga, taigi darbuotojai susiduria su įvairiais riziką keliančiais veiksniais, tokiais kaip sudėtingas procesų valdymas, triukšmas, šiluminė spinduliuotė, dulkės, mechaniniai judėjimai ir pan. Siekiant užtikrinti darbuotojų saugą, svarbu identifikuoti šiuos pavojus ir vykdyti prevencines priemones. [60]

Vienas iš efektyviausių būdų užtikrinti nelaimingų atsitikimų skaičių darbo vietoje yra nuolatinis darbuotojų instruktavimas ir darbo saugos mokymai. Darbuotojai, dirbantys gamybinėje aplinkoje, turi būti išsamiai apmokyti, ypač apie specifines grėsmes, susijusias su konkrečiu procesu, pavyzdžiui, PET plėvelės gamyboje atsiranda nudegimų rizika, sužalojimai keliant ar judinant sunkius objektus, taip pat saugus darbų atlikimas su technine įranga. Įmonėje privalomi darbo saugos mokymai organizuojami pagal nustatytą tvarką: [60]

- įvadiniai mokymai, skirti naujai priimtiems darbuotojams, prieš jiems pradedant darbą;
- periodiniai mokymai vykdomi kartą per metus visiems darbuotojams;
- papildomi mokymai rengiami darbuotojams, kurie keičia darbo vietą įmonės viduje, kai atnaujinamos ar keičiamos saugos instrukcijos.

PET plėvelės gamyboje naudojami ekstruderiai, krumpliaratiniai siurbliai, vamzdynas skirtas tiekti PET lydalą iki tiekimo bloko, liejimo galvutė veikia aukštomis temperatūromis virš 250 °C, todėl darbuotojai gali patirti šiluminį diskomfortą ar net perkaitimą, ypač dirbdami arti šilumos šaltinių išvardintų anksčiau. Norint išvengti šių rizikų, būtina įrengti efektyvią oro vėdinimo sistemą. Bus naudojami „ZIEHL-ABEGG“ ventiliatoriai, kurie pašalins didžiąją dalį išsiskyrusios šilumos.

Dar vienas svarbus pavojus, su kuriuo susiduriama daugelyje gamybos procesų – tai oro užterštumas dulkėmis. PET plėvelės gamyboje didžiausias dulkių kiekis susidaro žaliavos transportavimo ir malimo metu. Nors šiose sistemose įrengti dulkių nusodintuvai bei filtravimo įrenginiai, visgi filtrų keitimo ar valymo metu dalis dulkių gali patekti į aplinkos orą. Šios smulkios plastiko dalelės, patekusios į kvėpavimo takus, gali sukelti kvėpavimo sistemos dirginimą, alergines reakcijas ar net ilgalaikį sveikatos pablogėjimą ir profesines ligas. Be to, dulkių kontaktas su oda ar akimis gali sukelti dermatitą arba akių sudirginimą. Todėl darbuotojai, prižiūrintys žaliavos paruošimo įrangą, privalo dėvėti asmenines apsaugos priemones respiratorius, saugančius nuo kietųjų dalelių, taip pat apsauginius akinius ar veido skydelius.

Aukštos temperatūros PET lydalas, judėdamas per ekstrudarius, siurblius ir liejimo galvą, įkaitina ir greta esančių įrenginių paviršius. Todėl darbuotojai, dirbantys arti šilumos spinduliavimo šaltinių, susiduria su nudegimų ir šiluminio streso rizika. Kadangi išleidžiamas plastikas gali užtikšti ant odos. Siekiant apsaugoti darbuotojus, būtina naudoti tinkamas asmenines apsaugos priemones. Darbuotojai turi dėvėti karščiui atsparias pirštines, šilumą atspindinčius darbo drabužius, dengiančius visas kūno dalis. Veido apsaugos skydeliai padeda išvengti tiesioginio karščio poveikio ar atsitiktinių plastiko purslų. [60]

Taip pat PET plėvelės gamybos linijoje veikia daug judančių mechaninių įrenginių kalandras, kaupiklis, išilginiai peiliai bei vyniotuvas. Šie įrenginiai dirba dideliu greičiu, todėl darbuotojams kyla pavojus būti įtrauktiems, prispaustiems. Norint išvengti nelaimingų atsitikimų, būtina visas judančias dalis aptverti arba aprūpinti apsauginėmis užtvaramis ir jutikliais, kurie sustabdo įrenginį netikėtai atidarius apsauginius vartus. Darbuotojai turi būti mokomi saugaus darbo su šiais įrenginiais, privalo laikytis draudimo dirbti prie veikiančių ar neaptvertų mechanizmų. Taip pat svarbu naudoti tinkamą darbo aprangą, kuri neįsipaikintų į judančias dalis, ir dėvėti apsauginius akinius bei pirštines. [60]

PET plėvelės gamybos linijoje naudojama daug aukštos įtampos elektros įrenginių elektros varikliai, kaitinimo elementai ir valdymo sistemos. Nors pagrindinės elektros spintos yra įrengtos atokiau nuo žaliavos malimo ir siurbimo vietų, kuriose gali susidaryti degi PET dulkių koncentracija ore, vis tiek būtina užtikrinti elektros saugą visoje gamybos grandinėje. Įranga turi būti įnulinama, įžeminama, apsaugoma nuo dulkių poveikio, o elektros grandinės su automatinėmis trumpųjų jungimų atjungimo sistemomis. [60] Sprogios aplinkos rizikos zonose naudojami tik dulkėms atsparūs ir sertifikuoti įrenginiai. Visi su elektros įrenginiais susiję darbai turi būti atliekami tik kvalifikuotų specialistų, griežtai laikantis darbo saugos reikalavimų. Įmonėje elektros įrenginiai priskiriami II grupės trečiai kategorijai, kurią aprašas yra: skirta naudoti vietose, kur nėra tikėtina, kad sprogiosios atmosferos, sukeltos dujų, rūkų arba oro ir dulkių mišinių, galėtų susidaryti arba, jeigu susidarytų, tai ne dažnai ir trumpam laikui.

Pagal sprogimo ir gaisro pavojų klasifikaciją, PET dulkių generavimo vietos gali patekti į išorinės aplinkos kategoriją II arba III. Kadangi PET dulkės yra polimerinės kilmės, jos gali kauptis ir esant tam tikroms sąlygoms (deguonis, kibirkštis, tanki dulkių koncentracija) sudaryti sprogstamą mišinį. Todėl dulkių siurbimo ir filtravimo sistemos turi užtikrinti nuolatinį dulkių šalinimą. Projektuojamas gamybinis cechas, kurio plotas 6600 m², kategorija pagal sprogimo ir gaisro pavojų klasifikaciją yra

Dg. Jeigu eksploatacijos metu laikomasi dulkių valdymo, ventiliacijos, temperatūros kontrolės ir elektros apsaugos reikalavimų, sprogi aplinka neturi galimybės susidaryti.

4.4. Darbo higiena

Griežtas higienos reikalavimų laikymasis yra esminė sąlyga užtikrinant darbuotojų sveikatą, darbo našumą ir saugią gamybą. Tokie veiksniai kaip švori ir tvarkinga darbo aplinka, tinkamas apšvietimas, triukšmo ir dulkių kontrolė, šiluminis komfortas turi tiesioginę įtaką ne tik darbuotojų savijautai, bet ir gaminių kokybei bei visos įmonės veiklos efektyvumui. Todėl būtina užtikrinti, kad darbo vietos atitiktų visus higienos normų reikalavimus ir būtų nuolat palaikomos saugios, švarios bei ergonomiškos darbo sąlygos.

Renkantis patalpų apšvietimo sprendimus būtina užtikrinti, kad apšviestumo lygis atitiktų nustatytas vertes. Netolygus ar pernelyg ryškus, koncentruotas šviesos srautas gali sukelti akių nuovargį, ypač pereinant tarp šviesių ir prastai apšviestų zonų. Įmonėje taikomas kombinuotas bendrojo ir vietinio apšvietimo principas, leidžiantis geriau pritaikyti šviesos kiekį pagal atliekamus darbus. Projektuojamo PET plėvelės gamybos ceche judėjimo keliuose planuojamas apšvietimas 150 lx, sandėliuose 200 lx, gamybinėse patalpose 250 lx, tačiau prie kalandro, kurioje vykdomas PET plėvelės formavimas, išilginių peilių ir vyniotuvo sekcijose apšvietimas turi būti žymiai didesnis, kadangi reikalingas vidutinis regos tikslumas, siekiant užfiksuoti vizualius PET plėvelės defektus, apšvietos riba turėtų siekti apie 500 lx taip pat ir mechaninėse dirbtuvėse. Laboratorijoje reikalaujamas dar didesnis apšvietos kiekis, kuris siekia 750 lx, kadangi atliekami darbai su laboratorine įrangą reikalauja labai didelio regos tikslumo. [61]

Kiekvienas įmonės darbuotojas privalo palaikyti tvarką savo darbo vietoje. Visos darbo priemonės, kai jomis nesinaudojama, turi būti laikomos nustatytose vietose, neužstatant praėjimų, tvarkingos ir tinkamos naudojimui. Darbo vietoje negalima laikyti pašalinių daiktų. Apsaugos priemonės turi būti kiekvieno darbuotojo darbo vietoje jas privalo suteikti darbdavys. Darbuotojas atsako už tai, kad išduotos apsaugos priemonės būtų naudojamos pagal paskirtį ir išliktų tinkamos per nustatytą eksploataavimo laikotarpį. Jei priemonės susidėvi ar tampa netinkamos, darbuotojas privalo apie tai informuoti darbdavį, kuris turi užtikrinti jų pakeitimą naujomis.

Didelėse gamybos įmonėse dėl nuolat veikiančių įrenginių fone vyrauja pastovus triukšmo lygis. Ilgalaikis triukšmo poveikis, ypač dirbant 12 valandų pamainomis, gali neigiamai paveikti darbuotojų klausą sukeliant tinitą, įvairius klausos pažeidimus ar net jos praradimą. Dažnai šie sutrikimai vystosi palaipsniui, todėl ilgą laiką gali būti nepastebėti. Be to, padidėjęs triukšmas didina darbuotojų patiriamą stresą ir nuovargį darbo vietoje. Siekiant apsaugoti darbuotojus, būtina laikytis Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatų bei Lietuvos higienos normos HN 33:2011 reikalavimų. Dauguma projektuojamų PET plėvelės liejimo įrenginių skleidžiamas triukšmo lygis neviršija leidžiamų ribų, tačiau keli įrenginiai viršija nustatytas ribas, pavyzdžiui B ekstruderio elektros variklis, malūnas skirtas malti brokuotai plėvelei, šių įrenginių skleidžiamas triukšmo lygis viršija 85 dBA. Kaip ir minėta anksčiau darbuotojams dirbant 12 h pamainas ir tam tikrų įrengimų triukšmo lygis viršija leistinas ribas, kurios yra viršutinė ekspozicijos vertė veiksams pradėti, $8h = 85 \text{ dBA}$, todėl darbuotojams, dirbantiems šalia šių įrenginių, privaloma naudoti klausą apsaugančias priemones, ausines arba ausų kištukus.

Tinkamų šiluminių sąlygų užtikrinimas darbo vietoje yra itin svarbus darbuotojų savijautai, saugai ir darbo našumui palaikyti. Šiluminį komfortą lemia tokie veiksniai kaip oro temperatūra, santykinė

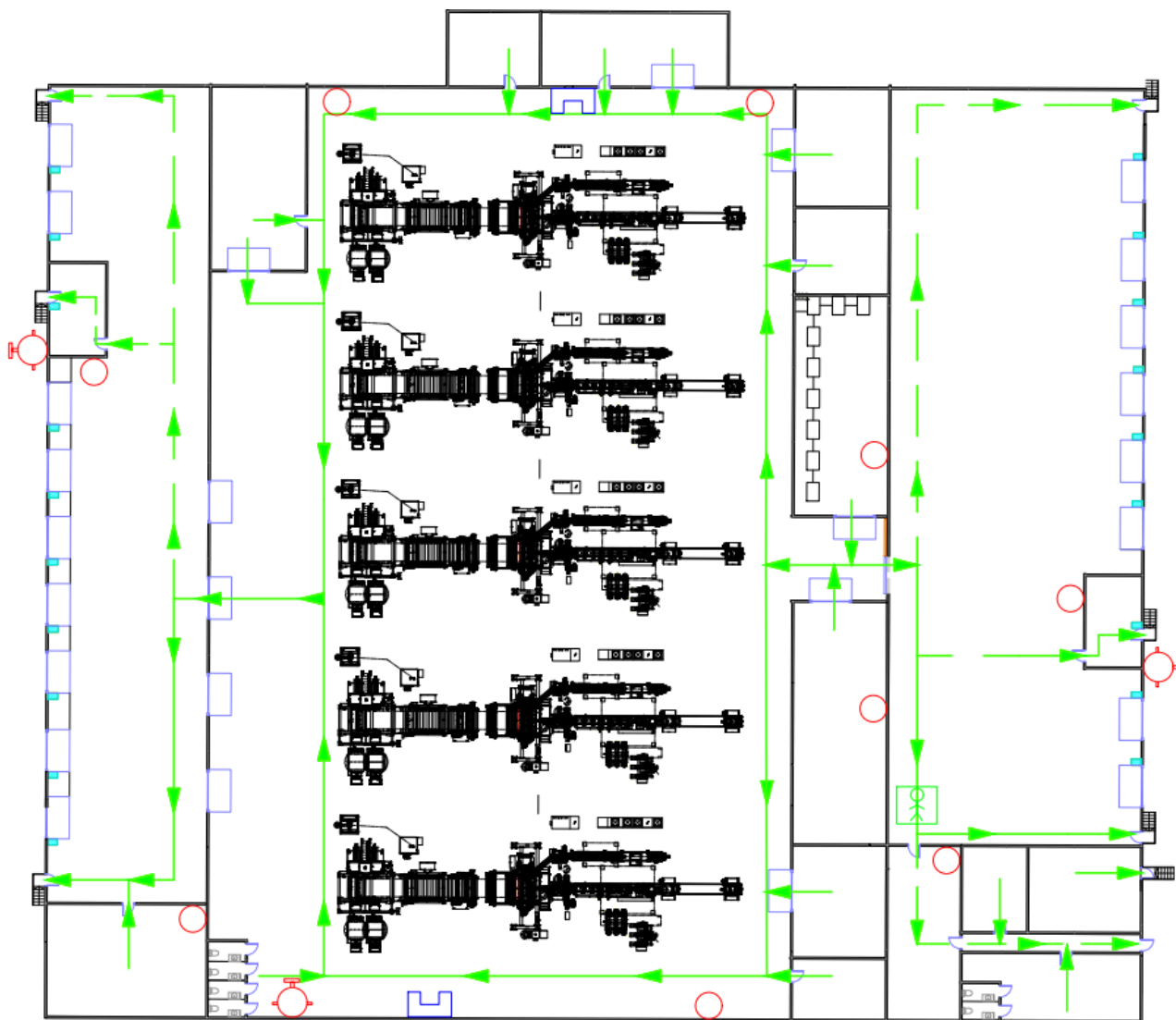
drėgmė, oro judėjimo greitis bei šiluminio spinduliavimo lygis darbo aplinkoje. Šios sąlygos turi atitikti Lietuvos higienos normos HN 69:2003 reikalavimus, reglamentuojančius pakankamą šiluminę aplinką darbo patalpose. Gamybos ceche atliekami darbai priskiriami vidutinio sunkumo fizinių darbų IIa kategorijai, todėl jiems taikomos atitinkamos norminės vertės, kurios skiriasi šiltuoju ir šaltuoju metų laikotarpiu. Šios vertės išsamiai pateiktos 48 lentelėje.

48 lentelė. Darbo patalpų pakankamos šiluminės aplinkos parametrų norminės vertės [62]

Metų laikotarpis	Darbų kategorija	Oro temperatūra, °C		Oro santykinis drėgnumas, %, ne daugiau kaip	Oro judėjimo greitis, m/s
		Nuolatinėse darbo vietose	Nenuolatinėse darbo vietose		
Šiltasis	Vidutinio sunkumo – IIa	17 – 23	15 – 24	75	≤ 0,3
Šaltasis	Vidutinio sunkumo – IIa	18 – 27	17 – 29	65	0,2 – 0,4

4.5. Gaisrinė sauga

Projektuojamas PET plėvelės gamybinis pastatas priskiriamas D_g gaisro ir sprogimų kategorijai, kadangi naudojamas aukštos temperatūros polimero lydalas ir pastate yra kelios C_g kategorijos patalpos pagal sprogimo ir gaisro pavojų, tokios kaip malūno zona, granulių paruošimo zona, taip pat maža dalis gamybinių patalpų, kadangi šalia gamybinės linijos esantis nuopjovų malūnas išskiria tam tikrą koncentraciją PET dulkių, kurios pasiekusios apatinę sprogimo ribą, kuri yra 30 – 300 g/m³ gali sukelti gaisrą. Gamybinėse patalpose privaloma parengti evakuacijos planą (17 pav.), įrengti pirmines gaisro gesinimo priemones bei aiškiai pažymėti gaisrinės saugos ženklus (49 lentelė). Gaisrinės saugos instrukcijos turi būti rengiamos vadovaujantis Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento prie Vidaus reikalų ministerijos patvirtintomis Bendrosiomis gaisrinės saugos taisyklėmis. [63]



17 pav. PET plėvelės gamybinio pastato evakuacinis planas

Pastatas yra metalinės konstrukcijos, o sienos pagamintos iš daugiasluoksnių poliuretano (PIR) užpildo plokščių. Gamybiniame pastate yra įrengti septyni evakuaciniai išėjimai. Evakuacijos kryptys, gaisriniai čiaupai ir gesintuvų vietos yra pažymėtos atitinkamais informaciniais ženklais. Kryptiniai ženklai, nurodantys evakuacijos kelius, įrengti prie išėjimo durų, koridoriuose. Griežtai draudžiama blokuoti evakuacinius kelius ar duris – jie turi būti visada laisvi.

Pastate įrengti gaisrinės saugos sistemos ir automatikos įrenginiai turi būti nuolat prižiūrimi ir techniškai tvarkingi. Visos aktyviosios gaisrinės saugos priemonės turi būti tikrinamos bent kartą per metus. Gesintuvų vietas žymintys ženklai įrengiami 2 – 2,5 m aukštyje nuo grindų, o patys gesintuvai montuojami ne aukščiau kaip 1,5 m nuo pastato grindų. Gaisro atveju gesinimui galima naudoti tiek vidinį, tiek išorinį priešgaisrinį vandentiekį. Papildomai galima naudoti ir vandenį iš šalia esančio vandens telkinio. Ugnies židinius galima gesinti vandeniu, smėliu ar nedegiu audiniu. Elektros įrenginiams, kurių įtampa neviršija 1000 V, efektyviausia naudoti ABC tipo miltelinius gesintuvus.

Cecho patalpose atstumas nuo bet kurios vietos iki artimiausio gesintuvo neviršija 40 metrų. Gesintuvų kiekis nustatomas atsižvelgiant į galimą gaisro klasę, numatomą gesinimo plotą, patalpų sprogo ir gaisro pavojų bei naudojamų medžiagų savybes. Šiame objekte galimo gaisro klasė yra A, o pastato sprogo ir gaisro pavojingumo kategorija – D_g. Todėl patalpose turi būti ne mažiau kaip

vienas 6 kg arba du 4 kg milteliniai ABC tipo gesintuvai. Iš viso suplanuota įrengti devynis gesintuvus, du išoriniai gaisriniai čiaupai ir vienas vidinis gaisrinis čiaupas. Taip pat įrengiama smėlio ar sorbento dėžė, kurios talpa yra 0,4 m³, greta jos numatyta vieta kastuvui, siekiant surinkti išsiliejusius tepalus iš gamybinės įrangos. [64,65]

49 lentelė. Gaisrinės saugos ženklai ir jų reikšmės [66]

Ženklas	Reikšmė
	Evakuacijos kryptis
	Gesintuvas
	Draudžiama rūkyti
	D _g sprogumo ir gaisringumo klasė
	Draudžiama atvira liepsna
	Gaisrinis čiaupas
	Gaisrui gesinti skirtų vandens rezervuarų talpa ir jų vietą nurodančios rodyklės

Išvados

1. Atlikti PET plėvelės klamos, trinties koeficiento, mechaninių savybių, pralaidumo ir stiklėjimo temperatūros tyrimai, kurių metu nustatyta, kad gamyboje naudojami priedai, ypač plastifikatorius AB ir dažai, daro pastebimą įtaką plėvelės fizinėms ir optinėms savybėms:
 - remiantis savitosios klamos tyrimo rezultatais galima teigti, kad plastifikatorius AB mažina PET plėvelės savitąją klampą ir molekulinę masę, savitoji klampa sumažėja nuo 0,73 dl/g iki 0,7 dl/g, o molekulinė masė nuo 43570 g/mol iki 40940 g/mol. Taip pat padidinus mechaniškai perdirbto PET kiekį iki 100 % į vidinį PET plėvelės sluoksnį, pastebimas savitosios klamos ir molekulinės masės sumažėjimas iki 0,65 dl/g ir 36940 g/mol. Tačiau plastifikatorius AB ir mechaniškai perdirbtas PET nesumažina savitosios klamos iki nepriimtinos ribos. Leistina savitoji klampa PET plėvelėms, kurios naudojamos termoformavimui yra 0,6 – 0,85 dl/g;
 - atlikus PET plėvelės tempimo bandymus galima teigti, kad didinant plastifikatoriaus AB kiekį pastebimas ganėtinai nemažas stiprumo ribos sumažėjimas nuo 56,6 MPa iki 48,72 MPa, taip pat pastebimas santykinio pailgėjimo sumažėjimas nuo 3,667 mm iki 2,756 mm. Didesnis mechaniškai perdirbto PET kiekis nepadarė jokios neigiamos įtakos mechaninėms PET plėvelės savybėms. Naudojant dažus PET plėvelės gamyboje pastebimas santykinio pailgėjimo sumažėjimas iki 2,7 mm, tačiau stiprumo riba išlieka beveik nepakitusi;
 - remiantis trinties koeficiento bandymo rezultatais galima teigti, kad naudojamas plastifikatoriaus AB ganėtinai veiksmingai mažina tiek statinį tiek kinematinį trinties koeficientą. Statinis trinties koeficientas sumažinamas nuo 0,51 iki 0,2, o kinematinis nuo 0,38 iki 0,15. Tai pagerina plėvelės apdirbimo ir vyniojimo savybės bei sumažina lipnumą tarp sluoksnių ritiniuose;
 - atlikus PET plėvelės pralaidumo bandymą galima teigti, kad naudojami priedai ir jų koncentracija bespalvių PET plėvelės gamyboje nepakeičia plėvelės pralaidumo savybių. Naudojant dažus kaip priedą galima sumažinti UV ir net regimosios šviesos spindulių pralaidumą;
 - atlikus PET plėvelės stiklėjimo temperatūros tyrimą galima teikti, kad naudojami priedai PET plėvelės gamyboje neturi įtakos PET plėvelės terminėms savybėms. Bet pasinaudojant gautais rezultatais, galima tinkamai optimizuoti termoformavimo procesą.
2. Siekiant užtikrinti efektyvią PET plėvelės gamybą, buvo suprojektuota visa technologinė koekstruzijos linijos schema, apimanti žaliavų tiekimą, lydymą, koekstruziją ir plėvelės formavimą. Apskaičiuoti reikiami krumpliaratinių siurblių parametrai, remiantis reikiamu gamybos našumu ir žaliavos savybėmis.
3. Suprojektuotas PET plėvelės gamybinis pastatas, kurio bendras plotas siekia 6600 m², atitinka technologinius, logistikos ir saugos reikalavimus, keliamus gamybai, kurios metinis pajėgumas siekia 45540 t. Pastato planavimas ir plotas pagrįsti atliktais technologiniais skaičiavimais, įrenginių išdėstymo reikalavimais, medžiagų srautų valdymu bei personalo darbo vietų organizavimu.
4. Apskaičiuotos reikiamos išlaidos projektui įgyvendinti siekia 18,81 mln. Eur, išlaidoms padengti naudojamos Europos sąjungos skirtos paramos, nuosavas kapitalas ir banko paskola. Apskaičiavus reikiamus duomenis gauta, kad projektas turi atsipirkti per 3,09 metų ir grynoji esamoji vertė siekia 25 mln. Eur.
5. Atlikus poveikio aplinkai vertinimą galima teigti, kad gamybos procesas, atsižvelgiant į žaliavų ir medžiagų naudojimą, sukelia minimalų aplinkos užterštumą. PET plėvelės gamybos procesas yra efektyvus ir palyginus mažai teršiantis aplinką, ypač lyginant su tradiciniais plėvelių gamybos

metodais. Aprašant darbuotojų saugos vertinimą, ištirta, kad gamyboje dirbantys darbuotojai nesusiduria su labai kenksminga aplinka, tačiau tam tikros rizikos išlieka. Darbuotojai susiduria su riziką keliančiais veiksniais, tokiais kaip sudėtingas procesų valdymas, triukšmas, šiluminė spinduliuotė, dulkės, mechaniniai judėjimai.

Literatūros sąrašas

1. MURINGAYIL JOSEPH, T. ir kt. Polyethylene terephthalate (PET) recycling: A review. In *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering* [interaktyvus]. 2024. Vol. 9, p. 100673. [žiūrėta 2025-05-27]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666016424000677>>.
2. PET Packaging Market size to Worth USD 76.18 Billion by 2034. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://www.precedenceresearch.com/pet-packaging-market>>.
3. CHEN, S. ir kt. Crystallization and Thermal Behaviors of Poly(ethylene terephthalate)/Bisphenols Complexes through Melt Post-Polycondensation. In *Polymers 2020, Vol. 12, Page 3053* [interaktyvus]. 2020. Vol. 12, no. 12, p. 3053. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.mdpi.com/2073-4360/12/12/3053/htm>>.
4. GODDARD, A.R. ir kt. Synthesis of water-soluble surfactants using catalysed condensation polymerisation in green reaction media. In *Polymer Chemistry* [interaktyvus]. 2021. Vol. 12, no. 20, p. 2992–3003. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2021/py/d1py00415h>>.
5. WYOTHERS, M.C. Sud. Advances in Materials Science Research. Volume 48. In [interaktyvus]. 2021. Vol. 48. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://novapublishers.com/shop/advances-in-materials-science-research-volume-48/>>.
6. AL-SABAGH, A.M. ir kt. Greener routes for recycling of polyethylene terephthalate. In *Egyptian Journal of Petroleum* [interaktyvus]. 2016. Vol. 25, no. 1, p. 53–64. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062115000148>>.
7. WAGNER, J.R. ir kt. Coextrusion Applications. In *Extrusion* [interaktyvus]. 2014. p. 449–466. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781437734812000405>>.
8. DZIADOWIEC, D. ir kt. Overview of the Cast Polyolefin Film Extrusion Technology for Multi-Layer Packaging Applications. In *Materials* [interaktyvus]. 2023. Vol. 16, no. 3, p. 1071. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9920539/>>.
9. Multi-layer coextrusion PET (polyethylene terephthalate) sheet production line. In . 2012. [žiūrėta 2025-05-26]. . .
10. Enhancing PET Recycling with Twin Screw Extruders | by CowinExtrusion | Medium. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://medium.com/%40cowinextrusion/enhancing-pet-recycling-with-twin-screw-extruders-7179ab21ab03>>.
11. VENKATACHALAM, S. ir kt. Degradation and Recyclability of Poly (Ethylene Terephthalate). In *Polyester* [interaktyvus]. 2012. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.intechopen.com/chapters/39405>>.
12. SELKE, S.E.M. ir kt. Extrusion, Film and Sheet. In *Plastics Packaging* [interaktyvus]. 2021. p. 219–251. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/B9781569908228500085>>.
13. CAMPBELL, G.A. - SPALDING, M.A. Single-Screw Extrusion: Introduction and Troubleshooting. In *Analyzing and Troubleshooting Single-Screw Extruders* [interaktyvus].

2021. p. 1–22. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com.ezproxy.ktu.edu/science/article/pii/B9781569907849500023>>.
14. YI, C. ir kt. Extrusion processing: A strategy for improving the functional components, physicochemical properties, and health benefits of whole grains. In *Food Research International* [interaktyvus]. 2022. Vol. 160, p. 111681. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996922007396>>.
15. HIRSCHFELD, S. - WÜNSCH, O. Mass transfer during bubble-free polymer devolatilization: a systematic study of surface renewal and mixing effects. In *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung* [interaktyvus]. 2020. Vol. 56, no. 1, p. 25–36. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/334375308_Mass_transfer_during_bubble-free_polymer_devolatilization_a_systematic_study_of_surface_renewal_and_mixing_effect>
16. GOFF, J. - WHELAN, T. The Dynisco Extrusion Processors Handbook 2nd edition. In . [žiūrėta 2025-05-26]. . .
17. ANDERSEN, P.G. - CAMPBELL, G.A. Extruder Processing: Comparison of Single- and Twin-Screw Extruders for Optimal Solids Conveying, Melting, and Mixing. In *Extruder Processing* . 2022. p. I–XIV. [žiūrėta 2025-05-26]. . .
18. SHARIPKHAN, N. ir kt. Investigation of the Two-Channel Feedblock Zone in Co-Extrusion of Polymers. In *Key Engineering Materials* . 2024. Vol. 973, p. 119–129. [žiūrėta 2025-05-26]. . .
19. MOUNT, E.M. Coextrusion Equipment for Multilayer Flat Films and Sheets. In *Multilayer Flexible Packaging: Second Edition* [interaktyvus]. 2016. p. 99–122. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323371001000077>>.
20. CRAWFORD, R.J. - MARTIN, P.J. Processing of plastics. In *Plastics Engineering* [interaktyvus]. 2020. p. 279–409. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081007099000042>>.
21. RAABE, D. ir kt. Crystallographic texture, amorphization, and recrystallization in rolled and heat treated polyethylene terephthalate (PET). In *Polymer* [interaktyvus]. 2004. Vol. 45, no. 24, p. 8265–8277. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/223417753_Crystallographic_texture_amorphization_and_recrystallization_in_rolled_and_heat_treated_polyethylene_terephthalate_PET>.
22. CANEVAROLO, S. V. Experiments in Polymer Science. In *Polymer Science* [interaktyvus]. 2020. p. 281–336. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781569907252500118>>.
23. SANCHES, N.B. ir kt. Comparative techniques for molecular weight evaluation of poly (ethylene terephthalate) (PET). In *Polymer Testing* [interaktyvus]. 2005. Vol. 24, no. 6, p. 688–693. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941805000863>>.
24. (PDF) Progress in Polyethylene Terephthalate Recycling. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/344448341_Progress_in_Polyethylene_Terephthalate_Recycling#pf5>.
25. DROBNY, J.G. Testing of Thermoplastic Films. In *Applications of Fluoropolymer Films* [interaktyvus]. 2020. p. 133–137. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128161289000076>>.

26. VASYLIUS, M. ir kt. Degradation of Mechanical Properties of A-PET Films after UV Aging. In *Polymers* 2023, Vol. 15, Page 4166 [interaktyvus]. 2023. Vol. 15, no. 20, p. 4166. [žiūrėta 2025-05-27]. . Prieiga per internetą: <<https://www.mdpi.com/2073-4360/15/20/4166/htm>>.
27. STADERINI, E. ir kt. Effects of Thermoforming on the Mechanical, Optical, Chemical, and Morphological Properties of PET-G: In Vitro Study. In *Polymers* [interaktyvus]. 2024. Vol. 16, no. 2, p. 203. [žiūrėta 2025-05-27]. . Prieiga per internetą: <<https://www.mdpi.com/2073-4360/16/2/203/htm>>.
28. HOUSE, J.E. Molecular Spectroscopy. In *Fundamentals of Quantum Mechanics* [interaktyvus]. 2018. p. 271–296. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128092422000115>>.
29. ROY, S. ir kt. Recent progress on UV-light barrier food packaging films – a systematic review. In *Innovative Food Science & Emerging Technologies* [interaktyvus]. 2024. Vol. 91, p. 103550. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856423002849>>.
30. ROY, S. ir kt. Recent progress on UV-light barrier food packaging films – a systematic review. In *Innovative Food Science & Emerging Technologies* [interaktyvus]. 2024. Vol. 91, p. 103550. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856423002849>>.
31. ALIZADEH SANI, M. ir kt. Development of sustainable UV-screening food packaging materials: A review of recent advances. In *Trends in Food Science & Technology* [interaktyvus]. 2024. Vol. 145, p. 104366. [žiūrėta 2025-05-26]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924224424000426>>.
32. MARKARIAN, J. Slip and antiblock additives: surface medication for film and sheet. In *Plastics, Additives and Compounding* [interaktyvus]. 2007. Vol. 9, no. 6, p. 32–35. [žiūrėta 2025-05-27]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464391X07701563>>.
33. BS EN ISO 8295 | Mecmesin. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://www.mecmesin.com/standard/bs-en-iso-8295>>.
34. GEORGIOU, E.P. ir kt. Measuring the Frictional Behavior and Adhesion of PET Bottles. In *Lubricants* . 2022. Vol. 10, no. 9. [žiūrėta 2025-05-27]. . .
35. Food contact materials - AGES. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://www.ages.at/en/human/nutrition-food/food-information/food-contact-materials>>.
36. Legislation - European Commission. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <https://food.ec.europa.eu/food-safety/chemical-safety/food-contact-materials/legislation_en>.
37. polimerai - Visuotinė lietuvių enciklopedija. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://www.vle.lt/straipsnis/polimerai/>>.
38. ROHART, V. - COMBEAUD, C. Stretchability above glass transition of mechanically recycled poly(ethylene terephthalate), PET. In *Polymer* [interaktyvus]. 2022. Vol. 257, p. 125218. [žiūrėta 2025-05-27]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386122007066>>.
39. GRELLMANN, W. - SEIDLER, S. Testing of Physical Properties. In *Polymer Testing* [interaktyvus]. 2022. p. 283–381. [žiūrėta 2025-05-27]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781569908068500070>>.

40. KUGLER, C. ir kt. Measurement Technology. In *Plastics Compounding and Polymer Processing* [interaktyvus]. 2021. p. 809–830. [žiūrėta 2025-05-27]. . Prieiga per internetą: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781569908372500133>>.
41. Twin PET - Plastics Extrusion Machinery - Luigi Bandera - Italy. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://www.luigibandera.com/products/recycling/pet/twin-pet/>>.
42. BALANDIS, A. ir kt. Chemijos inžinerija, I knyga. In *Chemijos inžinerija, I knyga* . 2011. [žiūrėta 2025-05-27]. . .
43. Legislation - European Commission. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <https://food.ec.europa.eu/food-safety/chemical-safety/food-contact-materials/legislation_en>.
44. Reglamentas - 2023/2006 - EN - EUR-Lex. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/?uri=celex%3A32006R2023>>.
45. VALANČIUS, Z. ir kt. Magistro baigiamojo darbo metodiniai nurodymai. Cheminės technologijos fakulteto Chemijos inžinerijos studijų programos magistrantams. In *Magistro baigiamojo darbo metodiniai nurodymai. Cheminės technologijos fakulteto Chemijos inžinerijos studijų programos magistrantams* . 2014. [žiūrėta 2025-05-27]. . .
46. 705 Dėl statybos techninio reglamento STR 2.02.01:2004 „Gyvenamieji pastatai“ patvirtinimo. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.226882>>.
47. Dėl Buities, sanitarinių ir higienos patalpų įrengimo reikalavimų aprašo patvirtinimo. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://www.infolex.lt/ta/977661#>>.
48. Didinti energijos vartojimo efektyvumą pramonės įmonėse |2021-2027 ES investicijų interneto svetainė. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://www.esinvesticijos.lt/kvietimai/didinti-energijos-vartojimo-efektyvuma-pramones-imonese-1>>.
49. Pramonės dekarbonizacija - parama iš ES Modernizavimo fondo - ES paramos centras. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://www.esparamoscentras.lt/lt/pramones-dekarbonizavimas-parama-is-es-modernizavimo-fondo/>>.
50. EKONOMINĖS VEIKLOS RŪŠIŲ KLASIFIKATORIUS EVRK 2 red. In . 2008. [žiūrėta 2025-05-27]. . .
51. 532/742 Dėl Pavojingų cheminių medžiagų ir preparatų klasifikavimo ir ženklinimo tvarkos. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.121371/mPwocXscEY>>.
52. 217 Dėl Atliekų tvarkymo taisyklių patvirtinimo. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.84302>>.
53. PARAIŠKA TARŠOS LEIDIMUI PAKEISTI. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. . Prieiga per internetą: <https://www.regia.lt/map/klaipedos_r?lang=0>.
54. A1-103/V-265 Dėl Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatų patvirtinimo. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.254877/asr>>.
55. DOLOOP. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://doloop.com/lt/>>.

56. XIII-2166 Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymas. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/46c841f290cf11e98a8298567570d639/asr>>.
57. V-592/A1-210 Dėl Ergonominių profesinės rizikos veiksnių tyrimo metodinių nurodymų patvirtinimo. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.260443/asr>>.
58. Dust minimum explosible concentration (MEC): overview & explosion data table for common dusts. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <https://www.powderprocess.net/Safety/Dust_Explosion_Concentration.html>.
59. 1-338 Dėl Gaisrinės saugos pagrindinių reikalavimų patvirtinimo. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.388658>>.
60. IX-1672 Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.215253?jfwid=fhhu5mpna>>.
61. 277 Dėl Lietuvos higienos normos HN 98:2000 "Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvie... In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.101854/asr>>.
62. V-770 Dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 "Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo ... In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>>.
63. 1-223 Dėl Priešgaisrinės apsaugos ir gelbėjimo departamento prie Vidaus reikalų ministerijos direktoria... In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.379704>>.
64. 1-1 Dėl Stacionariųjų gaisrų gesinimo sistemų projektavimo ir įrengimo taisyklių patvirtinimo. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/9086d3a0b4ba11e59010bea026bdb259>>.
65. 95 Dėl Saugos ir sveikatos apsaugos ženklų naudojimo darbovietėse nuostatų. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-26]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.91610?jfwid=>>>.
66. 1-404 Dėl Gaisrinės saugos ženklų naudojimo įmonėse, įstaigose ir organizacijose nuostatų patvirtinimo. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-05-27]. Prieiga per internetą: <<https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.268635?jfwid=>>>.

Priedai

- 1 priedas. Sklypo planas**
- 2 priedas. Pastato planas**
- 3 priedas. Pastato pjūvis 1:1**
- 4 priedas. Pastato pjūvis 2:2**
- 5 priedas. Principinė technologinė schema**



Situacijos planas



PASTATŲ IR ĮRENGINIŲ EKSPLIKACIJA

Obj. Nr.	Objekto pavadinimas
1	PLĖVELĖS GAMYBOS CECHAS
2	RUOŠINIŲ GAMYBOS CECHAS
3	GRANULIŲ SANDELIAVIMO PATALPOS
4	SENASIS GAMYBINIS CECHAS

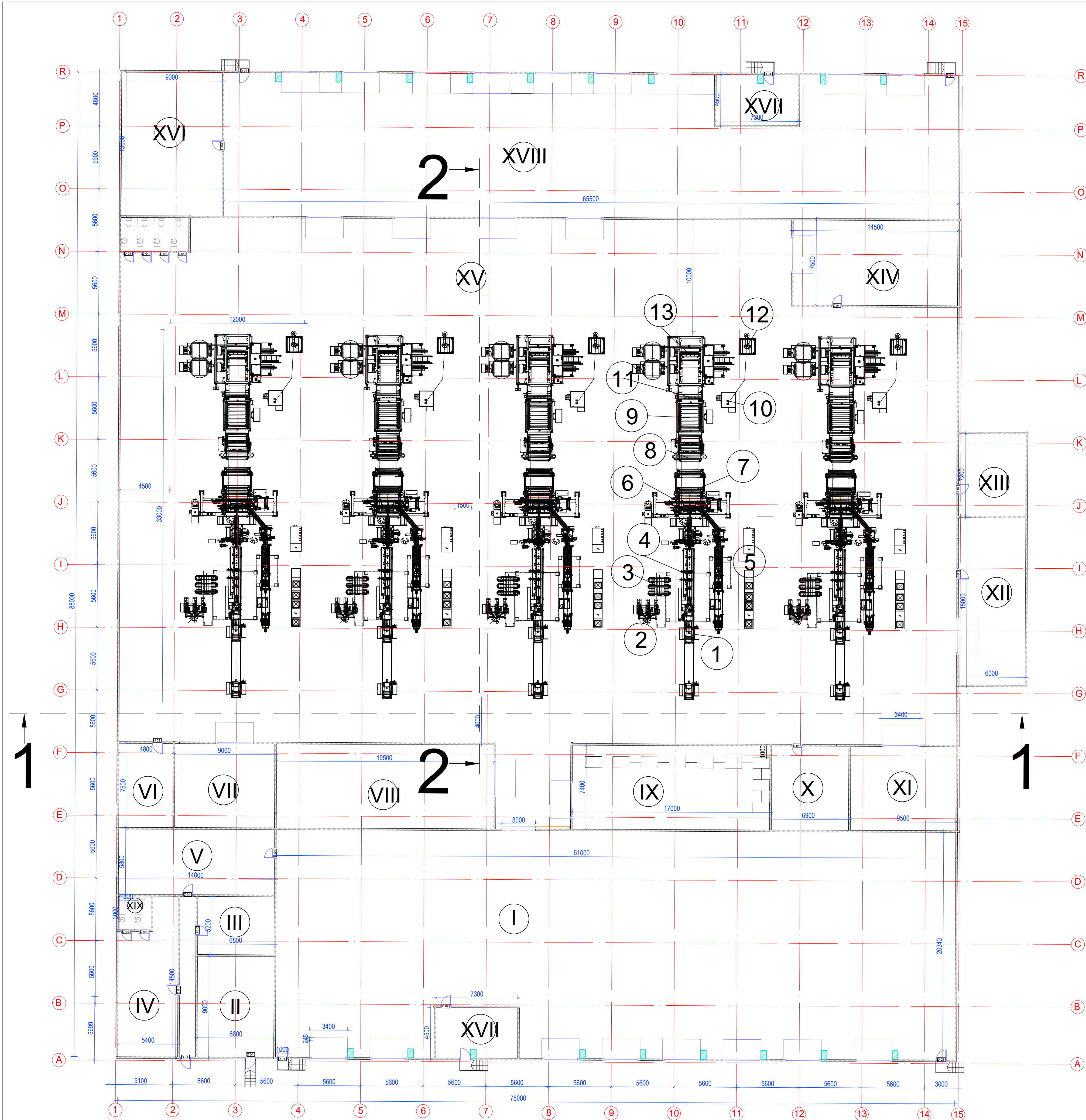
SUTARTINIAI ŽYMĖJIMAI

	SKLYPO RIBA
	PROJEKTUOJAMI PASTATAI IR STATINIAI
	BETONINIŲ TRINKELIŲ DANGOS KIEMAS
	JAU ESANTYS PASTATAI
	PROJEKTUOJAMI PĖSČIŲJŲ TAKAI
	PROJEKTUOJAMI ŽALI PLOTAI
	PROJEKTUOJAMI ĮĖJIMAI IR ĮVAŽOS Į PASTATUS
	ESAMŲ IR PROJEKTUOJAMŲ ĮVAŽIAVIMO/IŠVAŽIAVIMO VIETA
	TVENKINYS

PARGINDINIAI SKLYPO TECHNINIAI RODIKLIAI

Nr.	Rodiklio pavadinimas	Mato vnt.	Kiekis	Pastabos
1.	SKLYPO PLOTAS	m²	71025	
2.	UŽSTATYMO PLOTAS	m²	20965	
3.	SKLYPO APŽELDINTAS PLOTAS	m²	18857	
4.	SKLYPO UŽSTATYMO INTENSIVUMAS	%	36,21	
5.	SKLYPO UŽSTATYMO TANKUMAS	%	29,52	
6.	LENGVŲJŲ AUTOMOBILIŲ PARKAVIMO VIETOS	vnt.	75	

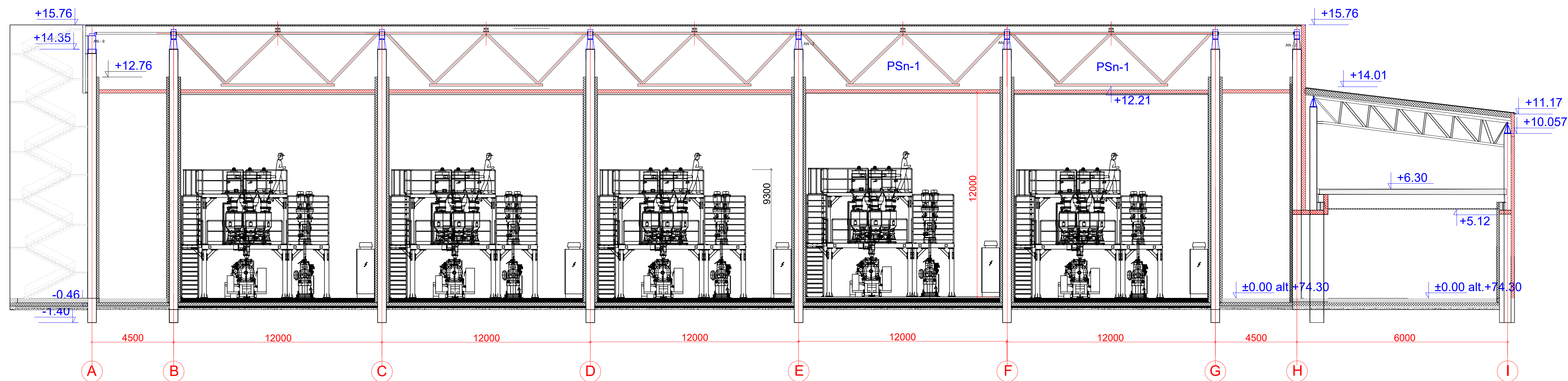
Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas	
	Pareigos	V. Pavardė	Parašas	Data	
TMC-3	Studentas	G. Biknys			Laida
	Vadovas	M. Čekavičiūtė			
	Konsultantas	O. Viliūnienė			2025
	Recenzentas	D. Tavgenienė			
Pr. etapas	Polimerų chemijos ir technologijos katedra				Lapas
BMP	LT – 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas				Lapu
					1
					1



Pozicija		Eksplikacija		
Įrenginio pavadinimas		Pozicija	Patalpų pavadinimas	Plotas m²
1	Elektros variklis	I	Žaliavų sandėlys	1207,89
2	Vakuuminiai siurbiai	II	Administracija	61,2
3	Seperavimo talpos	III	Rinkodaros skyrius	35,36
4	B dvisraigtis ekstruderis	IV	Persirengimo kambarys	73,3
5	A viensraigtis ekstruderis	V	Valgykla	81,2
6	Liejimo lūpos	VI	Proceso priežiūros skyrius	36
7	Kalandras	VII	Priedų sandėlys	67,5
8	Plėvelės storio matuoklis	VIII	Malūno zona	146,25
9	Kaupiklis	IX	Granulių paruošimas	125,8
10	Nuopjovų malūnas	X	Kompresorinė	51,06
11	Išilginiai peiliai	XI	Atsarginių dalių sandėlys	70,3
12	Ciklonas	XII	Aušinimo sistemos patalpos	90
13	Vyniotuvas	XIII	Elektros skydinė	43,2
		XIV	Techninės dirbtuvės	108,75
		XV	Pakavimo zona	623,25
		XVI	Labaratorija	117
		XVII	Sandėlio darbuotojų patalpos	65,7
		XVIII	Produkto sandėlys	818,65
		XIX	WC	27
			Gamybinės patalpos	2775

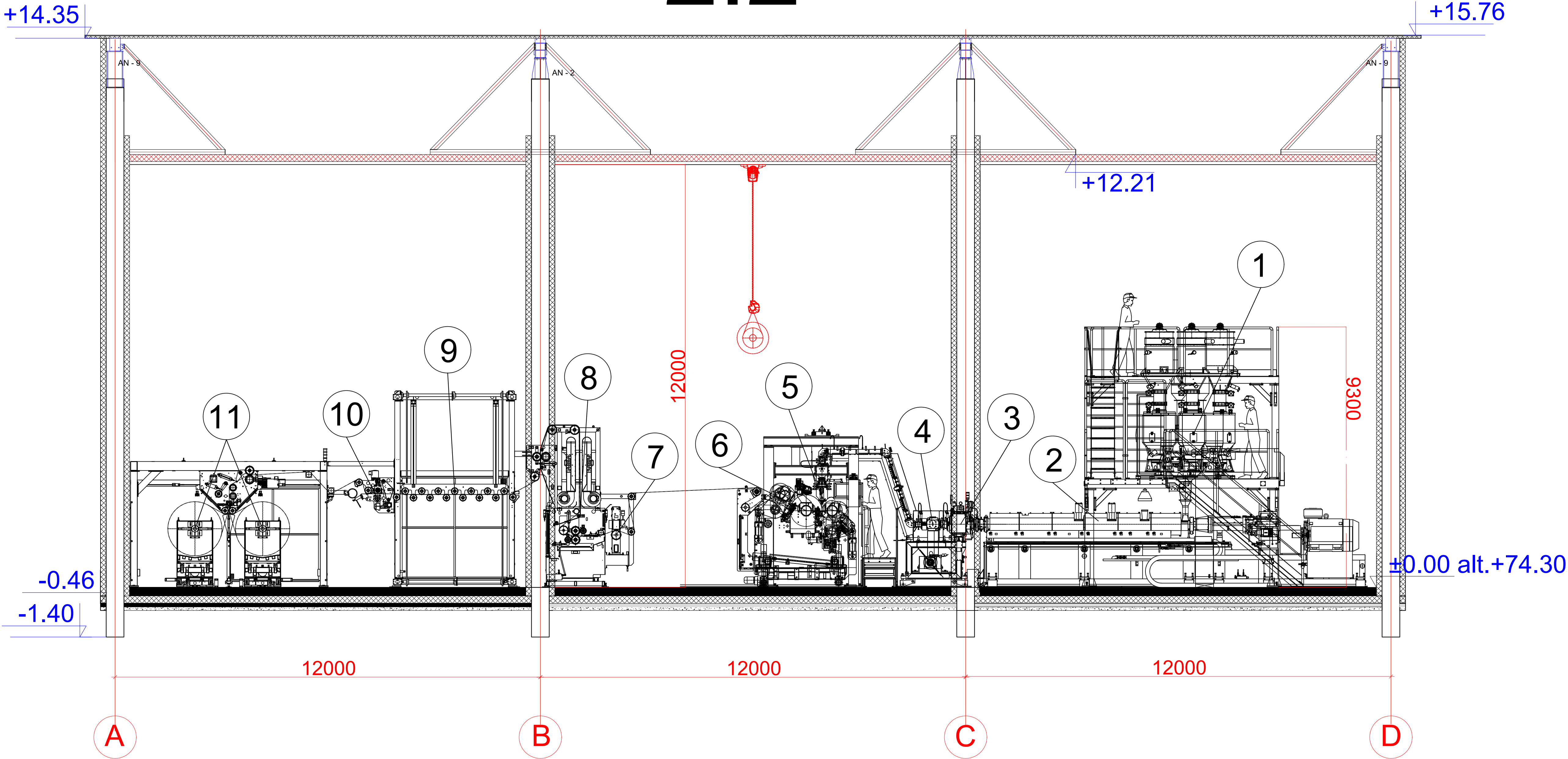
Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas				Magistro baigiamasis projektas	
	Pareigos	V. Pavardė	Parašas	Data	Laida	
TMC-3	Studentas	G. Biknys				
	Vadovas	M. Čekavičiūtė			Pastato planas mastelis 1:100	
	Konsultantas	O. Viliūnienė				
	Recenzentas	D. Tavgenienė			2025	
Pr. etapas	Polimerų chemijos ir technologijos katedra LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas				Lapas	Lapu
BMP					1	1

1:1



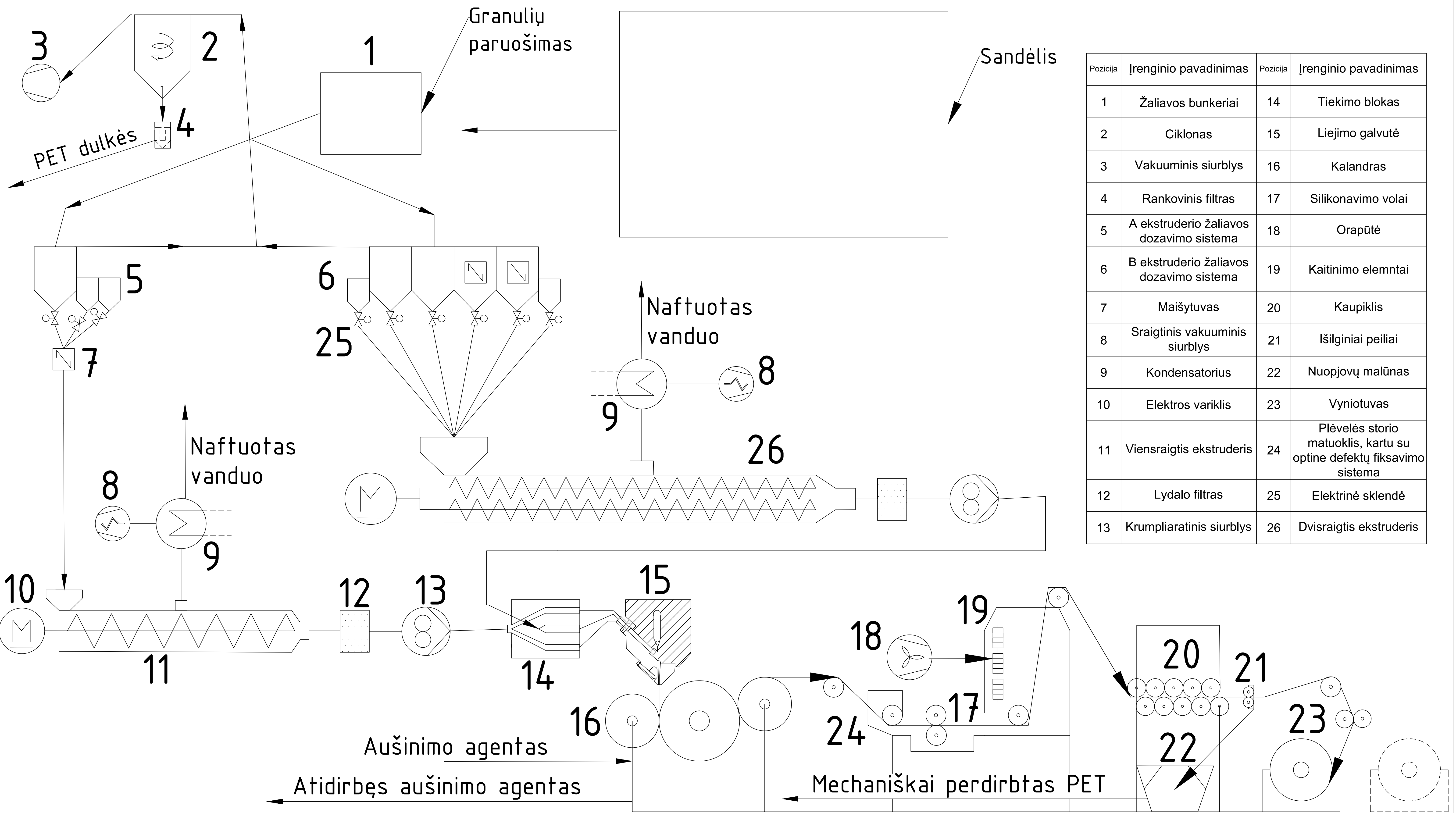
Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas				Magistro baigiamasis projektas	
	Pareigos	V. Pavardė	Parašas	Data		
TMC-3	Studentas	G. Biknys			Polietilentereftalato plėvelės koekstruzijos būdu gamybos technologija	Laida
	Vadovas	M. Čekavičiūtė				
	Konsultantas	O. Viliūnienė			Pastato pjūvis:1 mastelis 1:100	2025
	Recenzentas	D. Tavgenienė				
Pr. etapas	Polimerų chemijos ir technologijos katedra				Lapas	
BMP	LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas					
					1	1

2:2



Pozicija	Įrenginio pavadinimas
1	Dozavimo sistema
2	Ekstruderis
3	Filtrų sistema
4	Krumpliaratinis siurblys
5	Liejimo galvutė
6	Kalandras
7	Plėvelės storio matuoklis
8	Silikonavimo aparatas
9	Kaupiklis
10	Išilginiai peiliai
11	Vyniotuvas

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas	
	Pareigos	V. Pavardė	Parašas	Data	
TMC-3	Studentas	G. Blynys			Polietilentereftalato plėvelės koekstruzijos būdu gamybos technologija
	Vadovas	M. Čekavičiūtė			
	Konsultantas	O. Viliūnienė			Pastato pjūvis 2:2 mastelis 1:50
	Recenzentas	D. Tavgenienė			
Pr. etapas	Polimerų chemijos ir technologijos katedra				Lapas
BMP	LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas				Lapu
					1 1



Pozicija	Įrenginio pavadinimas	Pozicija	Įrenginio pavadinimas
1	Žaliavos bunkeriai	14	Tiekimo blokas
2	Ciklonas	15	Liejimo galvutė
3	Vakuuminis siurblys	16	Kalandras
4	Rankovinis filtras	17	Silikonavimo volai
5	A ekstruderio žaliavos dozavimo sistema	18	Orapūtė
6	B ekstruderio žaliavos dozavimo sistema	19	Kaitinimo elemntai
7	Maišytuvas	20	Kaupiklis
8	Sraigtinis vakuuminis siurblys	21	Išilginiai peiliai
9	Kondensatorius	22	Nuopjovų malūnas
10	Elektros variklis	23	Vyniotuvas
11	Viensraigtis ekstruderis	24	Plėvelės storio matuoklis, kartu su optine defektų fiksavimo sistema
12	Lydalo filtras	25	Elektrinė sklendė
13	Krumpliaratinis siurblys	26	Dvisraigtis ekstruderis

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas			Magistro baigiamasis projektas	
	Pareigos	V. Pavardė	Parašas	Data	
TMC-3	Studentas	G. Blynys			Laida
	Vadovas	M. Čekavičiūtė			
	Konsultantas	O. Viliūnienė			Technologinė linija
	Recenzentas	D. Tavgenienė			
Pr. etapas	Polimerų chemijos ir technologijos katedra				
BMP	LT – 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas				
				Lapas	Lapu
				1	1

6. priedas. Konsultantų atsiliepiamai

Studento Gedimino Biknio baigiamojo magistro projekto „Plėvelės gamyba koekstruzijos būdu“ skyrius „Statybiniai sprendimai“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas Odetė Viliūnienė

Studento Gedimino Biknio baigiamojo magistro projekto „Polietileno tereftalato plėvelės koekstruzijos būdu gamybos technologija“ skyrius „Darbuotojų sauga ir sveikata“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas doc. dr. Dalia Nizevičienė

Laba diena,

šiuo laišku patvirtinu, kad studento **Gedimino Biknio** baigiamojo magistro projekto „**Polietileno tereftalato plėvelės koekstruzijos būdu gamybos technologija**“ skyrius „**Finansinis ir ekonominis vertinimas**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Pagarbiai / Best regards

dr. Irena Pekarskienė

Profesorė / Professor

Studento **Gedimino Biknio** baigiamojo magistro projekto „**Polietileno tereftalato plėvelės koekstruzijos būdu gamybos technologija**“ skyrius „**Aplinkosauginis vertinimas**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **Gintaras Denafas**