



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Bitumo su polimeriniais priedais gamyba

Baigiamasis magistro projektas

Vilius Jokūbas Šlikas

Projekto autorius

Doc. dr. Linas Miknius

Vadovas

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Bitumo su polimeriniais priedais gamyba

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Konsultantai:

Prof. dr. Irena Pekarškienė
Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

Vilius Jokūbas Šlikas
Projekto autorius

Doc. dr. Dalia Nizevičienė
Darbuotojų sauga ir sveikata

Doc. dr. Linas Miknius
Vadovas

Prof. dr. Gintaras Denafas
Aplinkosauginis vertinimas

**Prof. habil. dr. Vytautas
Mickevičius**

Lekt. dr. Odeta Viliūnienė
Statybiniai sprendimai

Recenzentas

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Vilius Jokūbas Šlikas

Bitumo su polimeriniais priedais gamyba

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.

Vilius Jokūbas Šlikas

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

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

Suderinta:
Organinės chemijos katedra
Prof. Dr. Eglė Arbačiauskienė
2026 m. balandžio mėn. 8 d.

Dekano potvarkis Nr. V25-02-13
2026 gegužės 14 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Bitumo su polimeriniais priedais gamyba

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – parengti modifikuoto bitumo nuolatinės gamybos įrenginio, galinčio pagaminti 64000 tonų produkto per metus, projektą.

Projekto uždaviniai ir reikalavimai:

- 1) atlikti polimerais modifikuoto bitumo gamybos mokslinės ir technologinės literatūros apžvalgą;
- 2) atlikti polimero ir padangų priedo koncentracijos įtakos tyrimus modifikuoto bitumo savybėms;
- 3) pateikti įrenginio šilumos ir masės balansus;
- 4) atlikti pagrindinės įrangos technologinius skaičiavimus;
- 5) parengti reikalingus ekonominius skaičiavimus;
- 6) aprašyti darbų saugos priemones ir reikalavimus;
- 7) atlikti aplinkos apsaugos vertinimą;
- 8) nubraižyti įrenginio technologinę schemą, pagrindinio įrenginio schemas, sklypo planą ant A1 formato lapų.

Reikalavimai ir sąlygos

Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanu 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“.

Vadovas

Doc. dr. Linas Miknius

2026-02-01

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau: Vilius Jokūbas Šlikas
(studento vardas, pavardė)

2026-02-01
(parašas, data)

Šlikas Vilius Jokūbas. Bitumo su polimeriniais priedais gamyba. Magistro baigiamasis projektas vadovas doc. dr. Linas Miknius; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: polimerai, bitumas, malimas.

Kaunas, 2026. 77 p.

Santrauka

Šio baigiamojo magistro darbo subjektas – bitumo su polimeriais priedais gamybos įrenginio, galinčio pagaminti 64000 tonų produkto per metus, integravimas į esamą bitumo gamybos liniją. Polimeriais modifikuoto bitumo įrenginį sudaro koloidinis malūnas, polimerų ir priedų krovimo bei dozavimo sistemos, taip pat aptarnaujanti įranga – naujos talpyklos, siurbliai ir šilumokaitis. Darbe atlikta polimeriais modifikuoto bitumo gamybos technologinės ir mokslinės literatūros apžvalga, atlikti tyrimai siekiant nustatyti polimerų ir devulkanizuotų padangų priedų koncentracijos įtaką produkto savybėms. Remiantis literatūros ir naftos perdirbimo įmonės duomenimis, sudaryti šilumos ir masės balansai įrenginiui, atlikti reikalingi inžineriniai skaičiavimai. Naudojantis rinkos duomenimis, įvertinti projekto ekonominiai rodikliai. Aprašyti darbų saugos reikalavimai ir parengtas aplinkosauginis vertinimas.

Apskaičiuoti aptarnaujančios įrangos – produkto siurblio, šildymo alyvos šilumokaičio ir koloidinio malūno parametrai. A1 formato lapuose pateikti detalus, konteinerio tipo, įrenginio brėžiniai, technologinė schema ir sklypo planas.

Šlikas Vilius Jokūbas. Production of Bitumen with Polymeric Additives. Master's Final Degree Project supervisor Assoc. prof. Linas Miknius; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: polymers, bitumen, milling.

Kaunas, 2026. 77.

Summary

The subject of the final master's thesis is the integration of a polymer modified bitumen unit, capable of producing 64000 tons of product, into the existing bitumen production line. Polymer modified bitumen facility consists of colloid mill, polymer, and additives unloading, and dosing systems, as well as auxiliary equipment – new tanks, pumps, and a heat exchanger. During this work, an analysis of technical, and scientific polymer modified bitumen production literature was done. Additionally, experiments were conducted to determine the effect of the polymer as well as devulcanized crumb rubber concentration in the mixture on the properties of the product. Based on data collected through literature analysis and at the oil refinery, mass and heat balance for facility were compiled, and necessary engineering calculations were performed. Using market data, the economic indicators of the project were assessed. Occupational safety requirements were described, and an environmental assessment was prepared.

The parameters of the auxiliary equipment – product pump, heating oil heat exchanger, and colloid mill - were calculated. A detailed, container-type, facility drawings, technological scheme, and site plan are presented on A1 format sheets.

Turinys

Lentelių sąrašas	9
Paveikslų sąrašas	11
Santrumpų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Literatūros apžvalga	14
1.1. Bazinio bitumo produkcija	15
1.2. Bazinio bitumo rūšys ir jų savybės.....	16
1.3. Polimerais modifikuoto bitumo gamyba	18
1.4. Polimerai naudojami modifikuoto bitumo gamyboje.....	19
1.5. Devulkanizuotų padangų panaudojimas polimerais modifikuoto bitumo gamyboje	19
1.6. Kitos medžiagos naudojamos polimerais modifikuoto bitumo gamyboje	20
1.7. Polimerais modifikuoto bitumo rūšys ir jų savybės	21
1.8. Polimerais modifikuoto bitumo panaudojimas.....	21
2. Tiriamoji dalis.....	23
2.1. Bitumo žaliavos savybės	23
2.2. Bandinių paruošimas	24
2.2.1. Penetracijos nustatymas.....	24
2.2.2. Minkštėjimo temperatūros nustatymas.....	24
2.3. Tiriamosios dalies rezultatai.....	25
3. Inžinerinė dalis.....	29
3.1. Technologinė dalis.....	29
3.1.1. Žaliavų ir produktų masės balansas.....	29
3.1.2. Koloidinio malūno skaičiavimai.....	30
3.1.3. Siurblio skaičiavimai	32
3.1.4. Apvalkalnio šilumokačio skaičiavimai ir šilumos balansas	35
3.1.5. Šilumos nuostoliai ir bendras energijos balansas	38
3.2. Statybiniai sprendimai	41
3.2.1. Pagrindiniai duomenys	41
3.2.2. Sklypo parametrai.....	41
3.2.3. Projektuojamo įrenginio sprendiniai	42
3.2.4. Konteinerio tipo įrenginio konstrukciniai duomenys	42
3.2.5. Įrenginio ir technologinių įrengimų bendri inžineriniai sprendimai	42
3.3. Bendrosios technologinės schemos aprašymas	43
3.3.1. Bitumo gamybos sekcijos aprašymas	43
3.3.2. Polimerais modifikuoto bitumo gamybos sekcija	44
3.4. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai.....	44
3.4.1. Projektuojamos technologijos įrengimų ir jų statybos kaštai	45
3.4.2. Veiklos kaštai	49
3.4.3. Gaminių kainos skaičiavimas	49
3.4.4. Projekto pelnas	50
3.4.5. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita.....	50
3.4.6. Diskontuoti pinigų srautai	51
3.4.7. Ekonominių rodiklių nustatymas.....	51
3.4.8. Ekonominiai projekto rodikliai.....	54

3.5.	Aplinkosauginis vertinimas	55
3.5.1.	Proceso bendri duomenys.....	55
3.5.2.	Atliekų tvarkymas	57
3.5.3.	Fizikinė tarša	58
3.5.4.	Biologinė tarša.....	58
3.5.5.	Vandens ir nuotekų balansas	58
3.5.6.	Aplinkos oro tarša.....	59
4.	Darbuotojų sauga ir sveikata	61
4.1.	Projektuojamo įrenginio charakteristikos.....	61
4.2.	Profesinės rizikos vertinimas ir saugios gamybos vykdymas	61
4.3.	Darbo higienos reikalavimai.....	67
4.3.1.	Šiluminis komfortas ir šiluminė aplinka.....	68
4.3.2.	Darbo vietų apšvietimas	68
4.3.3.	Triukšmas vertinimas darbo vietoje	68
4.4.	Saugi gamyba	69
4.5.	Gaisrinė sauga	69
	Išvados	71
	Literatūros sąrašas	72
	Priedai.....	77
1	priedas. Bitumo su polimeriniais priedais gamybos technologinė schema	77
2	priedas. Sklypo plano brėžinys.....	77
3	priedas. Polimerais modifikuoto bitumo įrenginio brėžinys (vaizdas iš šono)	77
4	priedas. Polimerais modifikuoto bitumo įrenginio brėžinys (vaizdas iš viršaus).....	77
5	priedas. Darbo suderinimai.....	77

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Kelių bitumams keliami reikalavimai [9].....	17
2 lentelė. Minkštosioms bitumo rūšims keliami reikalavimai [9].....	17
3 lentelė. Plačiausiai Lietuvoje naudojamų polimerais modifikuotų bitumų savybės [9]	21
4 lentelė. Bazinio bitumo rūšių, naudotų tyrimams, savybės.....	23
5 lentelė. Tyrimų rezultatai naudojant polimero priedą.....	25
6 lentelė. Tyrimų rezultatai naudojant padangų priedą.....	26
7 lentelė. Bendras bitumo ir polimerais modifikuoto bitumo gamybos masės balansas	29
8 lentelė. Polimerais modifikuoto bitumo gamybos masės balansas	30
9 lentelė. Vietinės kliūtys vamzdyne	33
10 lentelė. Siurblio įvade esančios vietinės kliūtys.....	34
11 lentelė. Šilumokaičio šildančio ir šaldančio srautų temperatūros ir entalpijos	36
12 lentelė. Šilumokaičio šilumos balansas.....	38
13 lentelė. Duomenys šilumos nuostolių skaičiavimui	39
14 lentelė. Elektros energijos poreikis įrenginiui.....	40
15 lentelė. Bendri parametrai	41
16 lentelė. Pagrindinio įrenginio ir pagalbinės įrangos rodikliai	41
17 lentelė. Įrenginio eksploatacijos planas metams	45
18 lentelė. Kapitalinės išlaidos įrangai įsigyti	45
19 lentelė. Įrangos statybos kaštai.....	46
20 lentelė. Įrangos bendri kaštai.....	46
21 lentelė. Žaliavų, reikalingų produktui gaminti, planas.....	46
22 lentelė. Elektros energijos išlaidos	47
23 lentelė. Vandens, vandens garo suvartojimas ir išlaidos.....	47
24 lentelė. Azoto suvartojimas ir išlaidos	47
25 lentelė. Išlaidos įrenginio darbuotojams	48
26 lentelė. Kaštai kapitaliniam remontui	48
27 lentelė. Išlaidos už buitinio vandens suvartojimą	48
28 lentelė. Nusidėvėjimo duomenys	49
29 lentelė. Veiklos kaštai	49
30 lentelė. Gaminių kainos skaičiavimo suvestinė	49
31 lentelė. Projekto pelno (nuostolio) ataskaita	50
32 lentelė. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) vertės nustatymas.....	50
33 lentelė. Finansinės būklės pakitimų ataskaita	51
34 lentelė. Projekto pinigų srautai.....	51
35 lentelė. Projekto ekonominiai rodikliai	53
36 lentelė. Projekto kaštai ir finansavimo šaltiniai	54
37 lentelė. Ekonominių rodiklių ataskaita.....	54
38 lentelė. Polimerais modifikuoto bitumo gamybos žaliavos ir jų poveikis žmogui bei aplinkai ..	55
39 lentelė. Polimerais modifikuoto bitumo gamybai reikalingas elektros suvartojimas	56
40 lentelė. Produkto gamybai reikalingos žaliavos transportavimas ir sandėliavimas	56
41 lentelė. Polimerais modifikuoto bitumo gamybos produktai ir jų poveikis žmogui bei aplinkai	57
42 lentelė. PMB gamybos produktų sandėliavimo ir transportavimo planas.....	57
43 lentelė. Atliekų tvarkymo planas.....	58
44 lentelė. Fizikinės taršos šaltiniai	58

45 lentelė. Vandens masės balansas.....	59
46 lentelė. Nuotekų šaltiniai.....	59
47 lentelė. Oro taršos šaltiniai.....	59
48 lentelė. Oro tarša dėl lakiųjų organinių junginių.....	60
49 lentelė. Pavojingos cheminė medžiagos, naudojamos įrenginyje ir jų požymiai.....	62
50 lentelė. Fizikiniai veiksniai veikiančys darbuotojus PMB gamybos įrenginyje.....	64
51 lentelė. Fiziniai veiksniai veikiančys darbuotojus PMB gamybos įrenginyje.....	64
52 lentelė. Ergonominiai ir psichosocialiniai veiksniai veikiančys darbuotojus įrenginyje.....	65
53 lentelė. Objektų pavojingumo kategorijos, sprogdimo ir gaisro atžvilgiu.....	66
54 lentelė. Šiluminio komforto norminės vertės I a darbo sunkumo kategorijai.....	68
55 lentelė. Šiluminės aplinkos norminės vertės I a darbo sunkumo kategorijai.....	68
56 lentelė. Polimerais modifikuoto bitumo įrenginio, statinių išorės apšvietos ribinės vertės.....	68

Paveikslų sąrašas

1 pav. Bitumo gamybos kelias naftos perdirbimo gamykloje [3, 4]	14
2 pav. Bitumo oksidavimo kolona [7].....	15
3 pav. Polimerais modifikuoto bitumo gamybos principinė schema [2]	18
4 pav. Penetrometras ir jo sandara [11].....	24
5 pav. Minkštėjimo temperatūros nustatymo aparatas [12]	25
6 pav. Penetracijos pokytis bitume, įterpiant skirtingą polimero kiekį.....	26
7 pav. Penetracijos pokytis bitume, įterpiant skirtingą padangų priedo kiekį	26
8 pav. Minkštėjimo temperatūra žiedo ir rutulio metodu, įterpiant skirtingą polimero kiekį.....	27
9 pav. Minkštėjimo temperatūra žiedo ir rutulio metodu, įterpiant skirtingą padangų priedo kiekį.	27
10 pav. Lūžio taško vaizdavimas	53
11 pav. Evakuacijos planas polimerais modifikuoto bitumo operatorinėje	69

Santrumpų sąrašas

Santrumpos:

PMB – polimerais modifikuotas bitumas;

VVF – visbreakingo likučio vakuuminės rektifikacijos įrenginys (angl. *Visbreaking vacuum flasher*);

PK – pramoninė kanalizacija;

SBS – stireno-butadieno-stireno kopolimeras;

VDU – vakuuminės rektifikacijos įrenginys (angl. *Vacuum distillation unit*).

Įvadas

Bitumas – sudėtingas angliavandenilių mišinys sudarytas iš asfaltenu, dervų, parafinų ir arenų frakcijų. Esant standartinėms sąlygoms bitumas yra klampi skystos arba kietos agregatinės būsenos medžiaga. Bitumas yra pagrindinė žaliava, naudojama kelių tiesimo darbuose – asfalto gamyboje kaip rišančioji medžiaga. Bitumas taip pat naudojamas stogų, hidroizoliacinėms ir antikorozinėms dangoms, kompozitams gaminti. Bitumo emulsijos ir skystas bitumas plačiai taikomi statybose apsaugai nuo vandens poveikio.

Siekdami pagerinti asfalto savybes, mokslininkai nuolatos tiria ir tobulina bitumo cheminę sudėtį, gerindami bitumo eksploatacines savybes. Viena iš tyrimo sričių – bitumo modifikavimas polimerais. Polimerais modifikuotas bitumas (PMB) – tai produktas, kurio savybėms pagerinti panaudotas vienas ar daugiau organinės kilmės polimerų. Polimerais modifikuotas bitumas pasižymi geresnėmis elastingumo, sukibimo, patvarumo savybėmis bei geresniu atsparumu aukštomis temperatūroms, asfaltas, kuriam naudojamas PMB yra atsparesnis vandeniui ir nusidėvėjimui. PMB savybes nulemia makromolekulių susiformavimas sąveikaujant bitume esantiems junginiams ir polimerinėms medžiagoms. Iš polimerais modifikuoto bitumo gaminamas asfaltas įprastai naudojamas intensyviai apkrautoms dangoms, šis asfaltas yra atsparesnis aplinkos poveikiui ir gali būti eksploatuojamas ilgesnį laiką nei įprastas asfaltas. PMB dažnai naudojami triukšmą mažinančioms dangoms gaminti.

Šiuo metu pagrindinė bitumo Baltijos šalyse tiekėja „ORLEN Lietuva“ bitumo gamybos įrenginyje neturi galimybės gaminti ir sandėliuoti polimerais modifikuotą bitumą. Latvijoje polimerais modifikuoto bitumo naudojimas yra privalomas pagal Latvijos kelių statybos specifikaciją, Estijoje PMB naudojimas nėra būtinas, tačiau rekomenduojamas. Lietuvoje 2024 m. kovo 1 d. įsigaliojo pagrindinis ir privalomas dokumentas – specifikacija TRA ASFALTAS 24, kuris naudojamas rengiant kelių statybos dokumentaciją. Pagrindinė šio dokumento esmė – polimerais modifikuotas bitumas tapo privalomu komponentu ir pagrindiniam, ir viršutiniam viešųjų kelių dangos sluoksniui. Tokie teisiniai reikalavimai užtikrina PMB paklausos lygį ir svarbą ateityje, todėl itin svarbu užtikrinti PMB tiekimą vietinėje rinkoje. PMB gamyboje kaip modifikuojanti medžiaga taip pat gali būti naudojama devulkanizuota padangų guma. Šio priedo panaudojimas leidžia prisidėti prie žiedinės ekonomikos. Remiantis besikeičiančiais reikalavimais, rinkos analize, siekiant prisidėti prie žaliojo kurso, projektuojamas polimerais modifikuoto bitumo įrenginys naftos perdirbimo gamykloje.

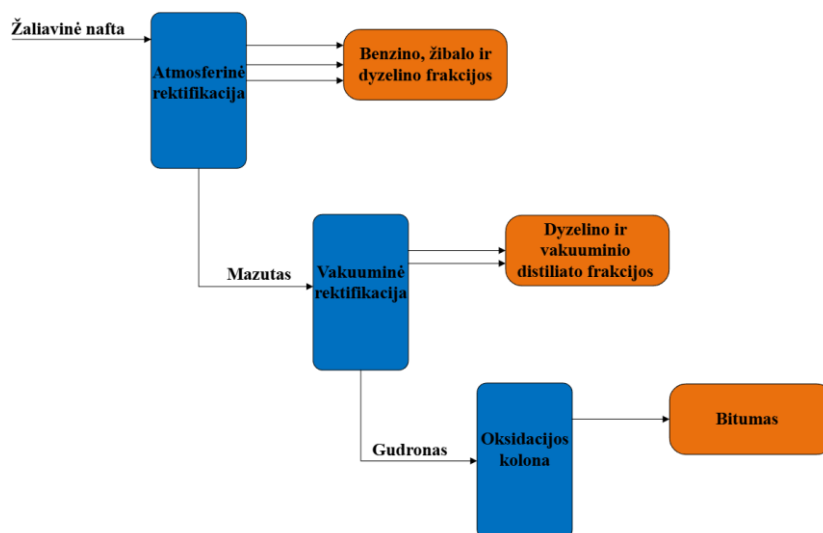
Šio darbo tikslas – parengti polimerais modifikuoto bitumo nuolatinės gamybos įrenginio, galinčio pagaminti 64000 tonų produkto per metus, projektą.

Darbo tikslui pasiekti iškelti uždaviniai:

- atlikti modifikuoto bitumo gamybos mokslinės ir technologinės literatūros apžvalgą;
- atlikti polimerų ir padangų priedo koncentracijos įtakos modifikuoto bitumo savybėms tyrimus;
- pateikti įrenginio šilumos ir masės balansus;
- atlikti reikalingus technologinius skaičiavimus;
- parengti ekonominius skaičiavimus;
- aprašyti darbų saugos priemones ir reikalavimus;
- pateikti aplinkos apsaugos vertinimą;
- nubraižyti įrenginio technologinę schemą, pagrindinio įrenginio schemas, sklypo planą ant A1 formato lapų.

1. Literatūros apžvalga

Bitumas – naftos perdirbimo metu gaunamas produktas, gaminamas atliekant naftos perdirbimo procesų sunkiųjų ir likutinių frakcijų oksidaciją deguonimi. Bitumas taip pat gali būti gaminamas kompaundavimo metodu – bitumo žaliavas maišant kartu su oksiduota žaliava [1, 2, 3]. Standartinėmis sąlygomis bitumas yra juodas, klampus, nelakus skystis arba kieta, vandens poveikiui atspari medžiaga. Bitumo gamybos procesas, iš žaliavinės naftos, naftos perdirbimo gamykloje pateiktas toliau esančiame paveiksle (1 pav.) [1, 2, 3, 4, 5, 6].



1 pav. Bitumo gamybos kelias naftos perdirbimo gamykloje [3, 4]

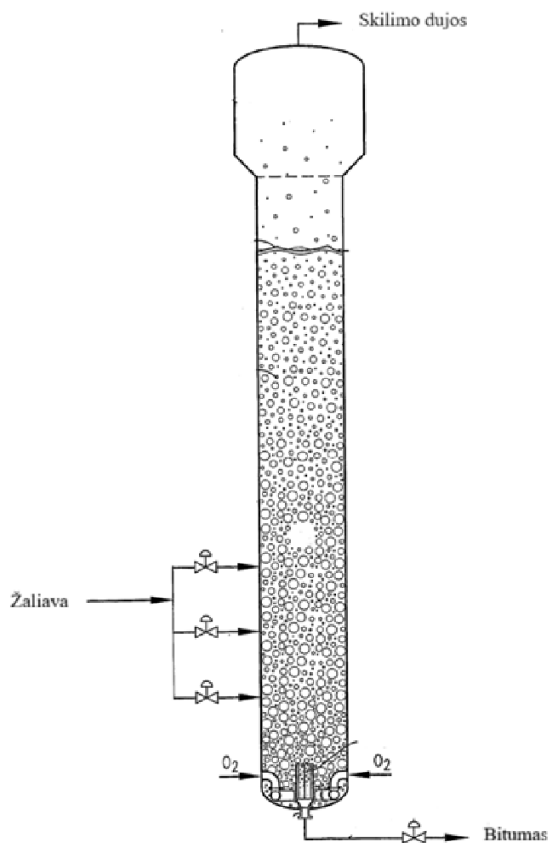
Chemine prasme bitumas yra sudėtingas, didelės molekulinės masės angliavandenilių ir heteroatominių junginių mišinys, kurį galima suskirstyti į keturias frakcijas [1, 2]:

- parafinus – sočiuosius, neciklinius angliavandenilius;
- dervas – juodos spalvos, daugiažiedžius aromatinių angliavandenilių mišinius, kurių molekulinė masė 450 – 1500 g/mol. Dervos gali būti skystos, pusiau skystos ir plastiškos. Oksidacijos metu dervos virsta asfaltenais;
- asfaltenus – didelės molekulinės masės (5000 – 6000 g/mol) polikondensuotus aromatinius junginius. Asfaltenai yra kietos, trapios, blizgančios, aukštos lydymosi temperatūros, amorfinės medžiagos;
- arenus – ciklinius, benzeno (dažniausiai polikondensuotus) žiedus turinčius junginius.

Bitumą sudaro parafinai, arenai, dervos ir asfaltenai. Oksidacijos metu, asfaltenai gali virsti karbenais ir karboidais – junginiais primenančiais asfaltenus, tačiau savo sudėtyje turinčius daugiau deguonies [1, 6]. Bitume be deguonies yra nustatomi azoto bei sieros heteroatomus turintys junginiai. Bitume taip pat randama metalų – chromo, vanadžio, nikelio ir mangano pėdsakų. Bitumo frakcinė sudėtis nulemia jo struktūrą ir pagrindines savybes: didėjant asfaltenų kiekiui, didėja bitumo stiprumas ir standumas. Arenai ir sočiosios rūgštys didina klampumą, dervos – plastiškumą ir adheziją. Bitumo frakcinę sudėtį apibrėžia naftos, naudojamos naftos perdirbimo procesų metu, sudėtis, gamybos proceso parametrai, taip pat kokių procesų likučiai naudojami bitumo gamybai [1, 2, 3, 4, 5, 6].

1.1. Bazinio bitumo produkcija

Bitumo gamybos proceso žaliava yra naftos vakuuminės rektifikacijos, katalizinio krekingo, visbrekingo ir visbrekingo likučio vakuuminės rektifikacijos (VVF) procesų likutinės frakcijos, kurias oksiduojant sudaromi asfaltenai ir kiti didelės molekulinės masės junginiai. Oksidavimo procesas paprastai vykdomas oksidavimo kolonoje – reaktoriuje, kuri yra vertikalus cilindrinis aparatas su praplatinta viršutine dalimi ir apačioje įmontuotu oro tiekimo skirstytuvu. Skirstytuvas paskirsto orą per kolonos skerspjūvį ir padidina kontaktą su žaliava [3, 4, 5, 6]. Kolonos praplatėjimas viršutinėje dalyje, slėgiui mažinti, pagerina dujų separaciją. Bitumo žaliavos oksidacijos kolona pavaizduota toliau esančiame paveiksle (2 pav.).



2 pav. Bitumo oksidavimo kolona [7]

Bitumo žaliavos angliavandenilių oksidavimo schema:

Rūgštys → Oksirūgštys → Asfaltogeninės rūgštys

Angliavandeniliai → Dervos → Asfaltenai → Karbenai → Karboidai

Angliavandenilių oksidavimo reakcijos yra egzoterminės, todėl proceso metu išsiskiria daug šilumos. Gaminant bitumą taip pat vyksta skilimo reakcijos, atskylant vandeniliui ir skylant C–C ryšiams, susidarę nesotieji junginiai dalyvauja jungimosi ir kondensacijos reakcijose, dėl to padidėja jų molekulinė masė, ir asfaltenuų kiekis, išskiria vandens garai ir anglies dioksidas [1, 2, 6].

Proceso parametrai lemiantys produkto savybes:

- tiekiamo deguonies arba oro kiekis;

- temperatūra palaikoma kolonoje;
- oksidavimo kolonos slėgis.

Temperatūra, palaikoma reakcijos metu, priklauso nuo naudojamos žaliavos – esant mažos klamos žaliavai, esant mažam asfaltenu kiekiui, turi būti palaikoma aukštesnė temperatūra. Kai žaliavos sudėtis pastovi, didinant oksidavimo temperatūrą vyksta šie procesai [1, 6, 8]:

- greitėja angliavandenilių kondensacijos reakcijos į asfaltenus ir dervas. Intensyvėja lengvųjų komponentų pašalinimas iš žaliavos ir skilimo produktų, dėl to didėja bitumo minkštėjimo temperatūra;
- sumažėja bitumo tūsumas, penetracija ir didėja bitumo trapumas, didėjant didelės molekulinės masės asfaltenu kiekiui. Didėja karbenų ir karboidų kiekis.
- pablogėja bitumo adhezinės savybės, kadangi sumažėja deguonies koncentracija produkte ir tuo pačiu mažėja poliškumas;
- sumažėja bitumo tūsumas ir atsparumas temperatūros pokyčiams.

Kuo ilgesnį laiką žaliava oksiduojama aukštoje temperatūroje, tuo gilėja kondensacijos reakcijos ir didėja asfaltenu kiekis bitume. Bitumas, gautas tokiomis sąlygomis, turi palyginti mažą penetracijos vertę [3, 4, 6].

Tiekiamo oro kiekis priklauso nuo to, kokios markės bitumą, norima gaminti, įtaką daro ir deguonies panaudojimo koeficientas bei žaliavos kokybė. Oro debito didinimas pagreitina reakcijas ir didina įrenginio našumą. Derinant didesnį santykinį oro kiekį su trumpesne oksidacijos trukme pasiekama aukščiausia produkto kokybė. Perteklinis oro kiekis, nedidinant kitų proceso parametrų, yra ekonomiškai nenaudingas, kadangi išauga energetinės sąnaudos ir padidėja gamybos kaštai. Tiekiant didelį oro kiekį, oro deguonies panaudojimo lygis mažėja, skilimo dujose deguonies koncentracija išauga. Skilimo dujose didėjantis deguonies kiekis, gali sukelti pavojų gaisro ir sprogimo atžvilgiu. Deguonies perteklius sukelia kietųjų dalelių, kokso sankaupas kolonoje, kurios blogina proceso sąlygas ir gali sukelti gaisro pavojų [1, 2, 3, 6].

Keliant slėgį oksidavimo kolonoje, procesas intensyvinamas, padidėja deguonies tirpumas žaliavoje ir didėja sąveika su naftos frakcijomis, oksidacija vyksta sparčiau, tačiau didėja proceso kaštai [3, 4, 6].

Oksidacijos procesui didelę reikšmę turi produkto recirkuliacija. Recirkuliuojant dalį produkto palaikomas reikalingas temperatūrinis režimas kolonoje. Gražinant į koloną žemesnės temperatūros produktą, pašalinamas šiluminės energijos prieaugis susidarantis oksidacijos reakcijų metu. Recirkuliacijos palaikymas leidžia nustatyti reikalingą temperatūrą ir skysčio srautą kolonose [3, 4, 6].

1.2. Bazinio bitumo rūšys ir jų savybės

Svarbiausios bazinio bitumo savybės – penetracija ir minkštėjimo temperatūra [9, 10]. Pagal penetracijos intervalus apibrėžiamos bazinio bitumo rūšys. Jeigu bitumo penetracijos, pagal standartą EN 1426, intervalas atitinka 20–30 0,1 mm reikšmes, šiam bitumui priskiriama rūšis – 20/30. Papildomai bitumas turi atitikti ir kitas standartizuotas charakteristikas, tokias kaip pliūpsnio temperatūra, kinematinė klampa, dinaminė klampa, trapumo temperatūra. Pagrindinis dokumentas, Lietuvoje reglamentuojantis bitumų rūšis ir jų savybes – LST EN 12591 „Bitumas ir bituminiai rišikliai. Kelių bitumo techniniai reikalavimai“. Šiame dokumente nurodyti visi standartai ir bandymo

metodai, visoms bitumų rūšims. Reikalavimai, kuriuos turi atitikti kelių baziniai bitumai, pateikti 1 ir 2 lentelėse (žr. 1 ir 2 lentelę) [9].

1 lentelė. Kelių bitumams keliami reikalavimai [9]

Savybė	Matavimo vienetas	Metodai	Rūšis					
			20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220
Nesendintas bitumas								
Penetracija esant 25 °C	0,1 mm	LST EN 1426	20–30	35–50	50–70	70–100	100–150	160–220
Minkštėjimo temperatūra nustatyta žiedo rutulio metodu	°C	LST EN 1427	55,0–63,0	50,0–58,0	46,0–54,0	43,0–51,0	39,0–47,0	35,0–43,0
Pliūpsnio temperatūra, atvirame tiglyje	°C	LST EN ISO 2592	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Tirpumas trichloretilene	%	LST EN 12592	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Kinematinė klampa, esant 135 °C	mm ² /s	LST EN 12595	≥ 530	≥ 370	≥ 295	≥ 230	≥ 175	≥ 135
Dinaminė klampa, esant 60 °C	Pa · s	LST EN 12596	NR	≥ 225	≥ 145	≥ 90	≥ 55	≥ 30
Trapumo temperatūra Fraso metodu	°C	LST EN 12593	NR	≤ -5	≤ -8	≤ -10	≤ -12	≤ -15
Trumpalaikiu (RTFOT) sendinimo metodu pagal standarto LST EN 12607-1 reikalavimus pasendintas bitumas								
Liekamoji penetracija	%	LST EN 1426	≥ 55	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
Minkštėjimo temperatūros pagal žiedą ir rutulį padidėjimas	°C	LST EN 1427	≤ 8	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
Masės pokytis	%	LST EN 12607-1	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0

2 lentelė. Minkštosioms bitumo rūšims keliami reikalavimai [9]

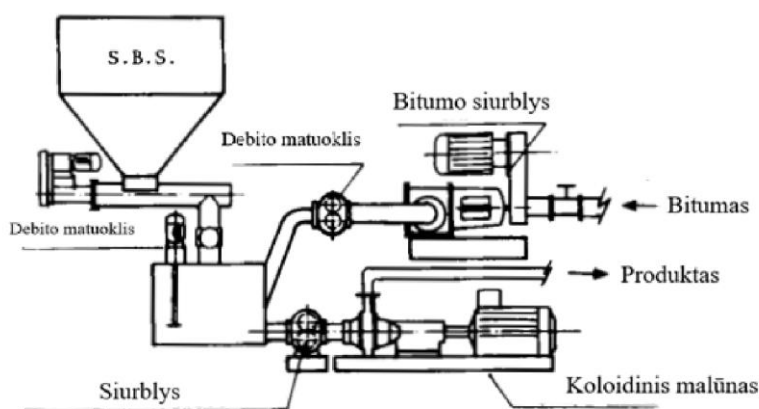
Savybė	Matavimo vienetas	Metodai	Rūšis			
			V1500	V3000	V6000	V12000
Kinematinė klampa, esant 60 °C	mm ² /s	LST EN 12595	1000–2000	2000–4000	4000–8000	8000–16000
Pliūpsnio temperatūra	°C	LST EN ISO 2719	≥ 160	≥ 160	≥ 180	≥ 180
Tirpumas trichloretilene	%	LST EN 12592	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Atsparumas kietinimui, esant 120 °C:		LST EN 12607-2				
Masės pokytis	%		≤ 2,0	≤ 1,7	≤ 1,4	≤ 1,0
Atsparumas kietinimui, esant 120 °C TFOT metodu		LST EN 12607-2				

Savybė	Matavimo vienetas	Metodai	Rūšis			
			V1500	V3000	V6000	V12000
Klampos koeficientas, esant 60 °C			≤ 3,0	≤ 3,0	≤ 2,5	≤ 2,0

Skirtingai negu įprastiems bitumams, minkštiesiems bitumams, kurių klampa yra maža, priskiriamos rūšys ne pagal penetraciją, bet pagal kinematinės klamos vidutines reikšmes [9, 10, 11, 12].

1.3. Polimerais modifikuoto bitumo gamyba

Polimerais modifikuotas bitumas (PMB) – bitumas, kuris yra modifikuotas vienu ar daugiau organinės kilmės polimerų. Gamybos metu, pasirinktas polimeras dozuojamas į bitumą, esant aukštai: 190–200 °C temperatūrai, polimeras brinksta, gautas bitumo ir polimero mišinys, tiekiamas į koloidinį malūną – įrenginį, kuriame veikiant didele šlyties jėga, polimeras susmulkinamas. Susmulkintas polimeras dalinai ištirpsta bitume, polimeras ir bitumą sudarantys junginiai sąveikauja tarpusavyje, polimeras imobilizuoja mažesnės molekulinės masės, bitume esančius, junginius suformuodamas trimatį tinklą, vadinamą polimero sritimi. Tokiu būdu pakeičiamos bitumo savybės [1, 2]. Principinė polimerais modifikuoto bitumo gamybos schema pavaizduota 3 paveiksle (3 pav.).



3 pav. Polimerais modifikuoto bitumo gamybos principinė schema [2]

Po smulkinimo proceso gautas polimerais modifikuotas bitumas nėra stabilus produktas. Esant aukštai temperatūrai polimeras gali atsiskirti nuo bitumo – išsisluoksniuoti. Toks produktas netinkamas naudojimui, sandėliuojant produktą itin svarbu, jog polimeras neatsiskirtų iš bitumo, todėl produktas nuolatos maišomas. Savybės, kurias įgyja polimerais modifikuotas bitumas, priklauso nuo polimero kilmės ir naudoto bazinio bitumo. Pagrindiniai asfalto, kurio gamybai panaudotas modifikuotas bitumas, pranašumai lyginant su įprastu asfaltu [1, 2, 13, 14]:

- padidintas atsparumas provėžų susidarymui;
- geresnis atsparumas įtrūkimams;
- didesnis atsparumas vandens poveikiui;
- geresnės bitumo sukibimo savybės su skalda ir kitais asfalto užpildais;
- pagerintas temperatūrinis jautrumas, dėl kurio pailgėja eksploatacijos laikas ir padidėja atsparumas klimato kaitai.

1.4. Polimerai naudojami modifikuoto bitumo gamyboje

Polimerus, naudojamus polimerais modifikuoto bitumo gamyboje, galima suskirstyti į keturias pagrindines grupes. Polimerų grupės naudojamos PMB gamyboje [1, 2, 13, 14, 15, 16]:

- Termoplastiniai polimerai. Tai polimerai, kurie minkštėja didinant temperatūrą ir kietėja ją mažinant, šiuos polimerus galima išlydyti ir taip keisti jų formą. Bitumui modifikuoti naudojami: etileno vinilacetato kopolimeras, polietilenas, polistirenas. Šie polimerai padidina produkto klampą, atsparumą mechaniniam poveikiui, tačiau nepakeičia kitų savybių, taip pat esant didesnėms koncentracijoms pastebimas polimero fazės atsiskyrimas [1, 2, 13, 14].
- Natūralūs ir sintetiniai kaučiukai. Šie polimerai priskiriami elastomerams – junginiams, kuriuose mažos apkrovos sukelia dideles grįžtamas deformacijas. Paprastai modifikacijoms naudojamas stireno-butadieno kaučiukas arba natūralus kaučiukas. Šie polimerai pagerina asfalto atsparumą, mažina provėžų susidarymą, didina terminį atsparumą, ilgina eksploataavimo trukmę. Vietoj natūralaus kaučiuko paprastai naudojamas sintetinis, kadangi ekonominiu požiūriu sintetinis kaučiukas yra pigesnis ir suteikia panašias savybes. Sintetinis kaučiukas labai padidina bitumo klampumą, reikalingas didesnis kiekis negu natūralaus kaučiuko norint pasiekti reikiamas savybes. Kaučiukai yra itin sunkiai suderinami su bitumu ir lengvai atsiskiria iš produkto [13, 15].
- Termoplastiniai elastomerai. Tai polimerai pasižymintys elastingomis savybėmis, termoplastinius elastomerus galima išlydyti ir keisti jų formą. Šios medžiagos dažniausiai taikomos polimerais modifikuoto bitumo gamyboje. Paprastai naudojamas stireno-butadieno-stireno kopolimeras (SBS). Polimeras padidina asfalto mechaninį atsparumą, pailgina eksploatacijos laiką, suteikia stiprumo ir elastiškumo, pagerina atsparumą drėgmei ir įtrūkimams. Pagrindinis trūkumas – sandėliavimo stabilumas: bitumas įprastai sandėliuojamas 170–180 °C temperatūroje, o tokiomis sąlygomis pastebimas polimero atsiskyrimas iš produkto sudarant atskirą fazę, todėl norint išvengti polimero atsiskyrimo, būtinas nuolatinis maišymas [13].
- Diuroplastikai. Tai polimerai, kurie neminkštėja keičiant temperatūrą. Įprastai modifikuojant bitumą naudojamos dervos kartu su kietinančiomis medžiagomis. Šie junginiai pagerina asfalto atsparumą šilumos pokyčiams. Trūkumas – kadangi naudojamos kelios medžiagos, tai sukuria sudėtingą sistemą. Padidinus dervų koncentraciją, bitumas įgauna nepageidaujamų savybių – trapumą, aukštą minkštėjimo temperatūrą [13, 14].

1.5. Devulkanizuotų padangų panaudojimas polimerais modifikuoto bitumo gamyboje

Panaudotų padangų perdirbimas yra itin sudėtingas ir dažnai ekonominiu požiūriu nepaklausus procesas, todėl paprastai padangos yra deginamos [1, 17]. Kaip vienas iš potencialių sprendimų sumažinti panaudotų padangų kiekį ir prisidėti prie žiedinės ekonomikos yra padangų panaudojimas polimerais modifikuoto bitumo gamyboje. Prieš panaudojant padangas bitumo gamyboje, jos turi būti atitinkamai paruoštos pašalinant priemaišas – metalus, tekstilę. Yra du padangų panaudojimo procesai bitumo gamyboje [1, 13, 17]:

- Sausasis procesas (angl. *Dry process*). Šio proceso metu padangų miltai naudojami kaip užpildas asfalto gamyboje. Padangos, susmulkintos iki 2–6 mm, yra naudojamos kaip papildomas priedas kartu su mineralinėmis medžiagomis. Šio proceso metu padangos menkai modifikuoja bitumą, kadangi sąveika tarp padangų ir bitumo vyksta tik asfalto gamybos metu.

Modifikuotas asfaltas pasižymi geresniu atsparumu mechaniniam poveikiui ir provėžu susidarymui.

- Šlapiasis procesas (angl. *Wet process*). Devulkanizuotų padangų granulės dedamos į bitumą vietoje polimero. Padangos turi būti devulkanizuotos, itin svarbus padangų paruošimas ir priemaišų pašalinimas. Siekiant pagerinti suderinamumą su bitumu, gali būti naudojami padangų priedo ir polimerų kompozitai. Proceso metu padangos sąveikauja su bitumu ir keičia jo savybes. Paprastai reikia nuo dviejų iki trijų kartų daugiau padangų priedo norint pasiekti tokias pat modifikuoto bitumo savybes, kurias gautume naudojant stireno-butadieno-stireno kopolimerą. Padangų priedu modifikuotas bitumas pasižymi atsparumu senėjimui, terminiu atsparumu, kaip ir polimerai, devulkanizuotų padangų priedas suteikia bitumui elastingumo ir atsparumo deformacijoms.

1.6. Kitos medžiagos naudojamos polimerais modifikuoto bitumo gamyboje

Modifikuojant bitumą, be pagrindinių medžiagų – polimerų, taip pat naudojamos kitos cheminės medžiagos, skirtos pasiekti atitinkamus modifikuoto bitumo parametrus. Priedai naudojami modifikuoto bitumo gamyboje [1, 2, 13, 14, 16, 18]:

- Siera. Praeityje sierra buvo naudojama kaip pagrindinis modifikatorius bitumo gamyboje, tačiau tik sierra modifikuotas bitumas yra neatsparus senėjimo procesams ir ilgalaikiai oksidacijai su aplinkos deguonimi. Šiuo metu sierra naudojama kaip papildomas priedas gaminant polimerais modifikuotą bitumą. Sieros panaudojimas leidžia sumažinti polimero kiekį, reikalingą gauti reikiamas produkto charakteristikas. Sieros panaudojimas pagerina bitumo elastingumą ir sandėliavimo stabilumą. Sieros poveikis aiškinamas sąveika su polimerais, turinčiais dvigubus ryšius, bei daline bitumo vulkanizacija. Procese dažniausiai naudojama granuliuota sierra [1, 2, 14].
- Polifosforo rūgštis. Polifosforo rūgštis yra orto, piro ir tri fosforo rūgščių mišinys, naudojamas gaminti modifikuotą bitumą, pritaikytą naudoti procesuose, kurie vykdomi esant aukštai temperatūrai. Polifosforo rūgštimi, modifikuotas bitumas pasižymi geresniu stabilumu ir geresnėmis savybėmis esant aukštoms temperatūroms. Polifosforo rūgšties priedas naudojamas kartu su dideliu kiekiu polimero, gautas produktas paprastai naudojamas oro uostuose [14, 18].
- Reaktingi polimerai. Tai polimerai turintys etileno grandines ar kitas reaktingas funkcines grupes. Šie polimerai naudojami kaip stabilizatoriai tarp polimero, naudojamo modifikavimui ir bitumo. Reaktingi polimerai sudaro kovalentinius ryšius tarp bitumo ir polimerų, taip užtikrindami geresnes sandėliavimo savybes ir stabilumą [1, 14].
- Maleino rūgšties anhidridas. Pagerina bitumo atsparumo įtrūkimams savybes, taip pat stabilumą. Junginio ir bitumo sąveika aiškinama kovalentinių ryšių sudarymu tarp junginio ir dviejų bitumo molekulių [14].
- Nanokompozitiniai priedai. Šiuo metu vis plačiau tiriama nanokompozitinių medžiagų įtaka modifikuoto bitumo gamybai, paprastai medžiagos naudojamos pagerinti polimerais modifikuoto bitumo stabilumą ir atsparumą mechaniniam poveikiui [14].
- Kvapo šalinimo priedai (angl. *Scavengers*). Šie priedai yra skirti polimerais modifikuoto bitumo, kuriam modifikuoti naudojama sierra arba padangų guma, nepageidaujamam kvapui šalinti. Kvapą paprastai sukelia junginiai, turintys sieros heteroatomus.

1.7. Polimerais modifikuoto bitumo rūšys ir jų savybės

Polimerais modifikuoto bitumo savybės, analogiškai kaip ir bazinio bitumo, aprašomos standartuose. Lietuvoje naudojamo polimerais modifikuoto bitumo rūšys ir jų savybės pateiktos standarte LST EN 14023 „Bitumas ir bituminiai rišikliai. Polimerais modifikuotų bitumų techninių reikalavimų sistema“. Daugelis tiriamų savybių modifikuotam bitumui ir baziniam bitumui yra analogiškos, modifikuotam bitumui papildomai tiriama sankiba bei tamprioji deformacija. Skirtingai negu bazinio bitumo, polimerais modifikuoto bitumo rūšys apibūdinamos penetracijos ir minkštėjimo temperatūros reikšmėmis, pavyzdžiui – PMB 10/40-65 nurodo, jog bitumo penetracijos reikšmių intervalas yra 10–40 0,1 mm, minkštėjimo temperatūra yra ≥ 65 °C [9, 10]. Lietuvoje naudojamų polimerais modifikuoto bitumo rūšių savybės pateiktos 3 lentelėje (žr. 3 lentelę) [9]:

3 lentelė. Plačiausiai Lietuvoje naudojamų polimerais modifikuotų bitumų savybės [9]

Parametras	Matavimo vienetai	Metodas	Polimerais modifikuoto bitumo klasės							
			KL	10/40-65	KL	25/55-60	KL	45/80-55	KL	45/80-65
			Vertės							
Penetracija esant 25 °C	0,1 mm	LST EN 1426	2	10–40	3	25–55	4	45–80	4	45–80
Minkštėjimo temperatūra nustatyta žiedo ir rutulio metodu	°C	LST EN 1427	5	≥ 65	6	≥ 60	7	≥ 55	5	≥ 65
Sankiba tamprumo jėgos metodu, esant 5 °C	J/cm ²	LST EN 13589 LST EN 13703	6	≥ 2 (esant 10 °C)	2	≥ 3 (esant 5 °C)	3	≥ 2 (esant 5 °C)	6	≥ 2 (esant 10 °C)
Pliūpsnio temperatūra, atviraime tiglyje	°C	LST EN ISO 2592	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235
Trapumo temperatūra pagal Frasą	°C	LST EN 12593	3	≤ -5	5	≤ -10	7	≤ -15	7	≤ -15
Tamprioji santykinė deformacija esant 25 °C	%	LST EN 13398	4	≥ 60	5	≥ 50	5	≥ 50	3	≥ 70
Patvarumas sandėliuojant		LST EN 13399								
Minkštėjimo temperatūrų skirtumas	°C	LST EN 1427	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5
Masės pokytis	%	LST EN 12607-1	3	$\leq 0,5$	3	$\leq 0,5$	3	$\leq 0,5$	3	$\leq 0,5$
Liekamoji penetracija	%	LST EN 1426	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60
Minkštėjimo temperatūros, žiedo ir rutulio metodu, padidėjimas ar sumažėjimas	°C	LST EN 1427	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8
Tamprioji santykinė deformacija esant 25 °C	%	LST EN 13398	4	≥ 60	4	≥ 60	4	≥ 60	3	≥ 70

1.8. Polimerais modifikuoto bitumo panaudojimas

Polimerais modifikuoto bitumo savybės ir nauji reikalavimai keliami keliams, lemiamą platų polimerais modifikuoto bitumo pritaikymą.

Potencialios PMB panaudojimo sritys [1, 2, 3, 4, 5, 13, 14, 17]:

- Geležinkelių tinklų plėtra. Visos Europos Sąjungos šalys planuoja statyti arba plėsti savo greitųjų geležinkelių tinklus. Šiems projektams reikalingi patvarūs ir aukštos kokybės bėgiai, kurių stabilumui ir ilgaamžiškumui dažnai naudojamas modifikuotas bitumas.
- Kelių rekonstrukcija ir plėtra. Daugelis Europos šalių investuoja į kelių rekonstrukcijos ir plėtros projektus. Esamų kelių atnaujinimui ir naujų greitkelių statybai reikalingi pažangūs bitumo modifikatoriai, siekiant pagerinti dangos savybes ir atlaikyti dideles transporto apkrovas.
- Miestų plėtra. Augant miestams, miesto plėtros projektai apima kelių, tiltų ir tunelių statybą. Modifikuotas bitumas yra itin svarbus užtikrinant šių struktūrų patvarumą ir saugumą.
- Oro uostų pakilimo takai ir riedėjimo takai. Oro uostai visoje Europoje modernizuoja savo pakilimo ir riedėjimo takus. Polimerais modifikuotas bitumas pasižymi puikiu atsparumu orlaivių kurui, hidrauliniams skysčiams ir atmosferos poveikiui.
- Žalioji infrastruktūra. Tvarių infrastruktūros projektų, tokių kaip žaliosios stogų dangos ar laidžiosios dangos, įgyvendinimas remiasi modifikuotu bitumu, siekiant pagerinti vandens tvarkymą ir sumažinti poveikį aplinkai.
- Energetikos infrastruktūra. Vamzdynuose, saugyklose ir pramoniniuose objektuose dažnai naudojamos modifikuoto bitumo dangos, kurios apsaugo nuo korozijos ir nutekėjimų.

2. Tiriamoji dalis

Polimerais modifikuoto bitumo gamyboje svarbiausias proceso etapas – polimero smulkinimas ir sumaišymas su bitumu [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Itin svarbu, kad polimeras turėtų gerą suderinamumą su naudojamu bitumu, kad būtų pasiektos reikalingos modifikuoto bitumo charakteristikos. Svarbiausi modifikuoto bitumo parametrai, nulemiantys jo panaudojimo sritis – minkštėjimo temperatūra ir penetracija. Priklausomai nuo naudojamo polimero ir jo kiekio bitumui modifikuoti, gaunamos skirtingos produkto penetracijos ir minkštėjimo temperatūros vertės.

Tyrimo tikslas – nustatyti polimerais modifikuoto bitumo penetracijos ir minkštėjimo temperatūros vertes, į bitumą įterpiant skirtingą masės dalį, „KRATON“ gamintojo, stireno-butadieno-stireno kopolimero arba devulkanizuotų padangų gumos priedo. Gumos priedą sudaro 80 % devulkanizuotos gumos ir 20 % polipropileno. Gauti rezultatai palyginti, įvertinti pokyčiai į skirtingas bitumo rūšis įterpiant skirtingus kiekius polimero arba padangų priedo.

2.1. Bitumo žaliavos savybės

Pagal rinkos ir literatūros duomenis dažniausiai Lietuvoje naudojamos modifikuoto bitumo rūšys: PMB 25/55-60, PMB 45/80-55 ir PMB 45/80-65. Bitumo rūšys 35/50 ir 50/70 naudojamos bitumo su polimeriniais priedais PMB 25/55-60 gamyboje, PMB 45/80-55 ir PMB 45/80-65 produkcijoje naudojamas 70/100 rūšies bitumas, todėl šios bitumų rūšys pasirinktos, kaip žaliavos tyrimams. Bitumų savybės pateiktos 4 lentelėje (žr. 4 lentelę).

Atlikti tyrimai į bazinius bitumus 35/50, 50/70 ir 70/100 atitinkamai bitumą modifikuotant naudojant: 3 %, 5 %, 8 %, 10 %, 15 %, 20 % pagal masę, stireno-butadieno kopolimero arba devulkanizuotų padangų priedo.

4 lentelė. Bazinio bitumo rūšių, naudotų tyrimams, savybės

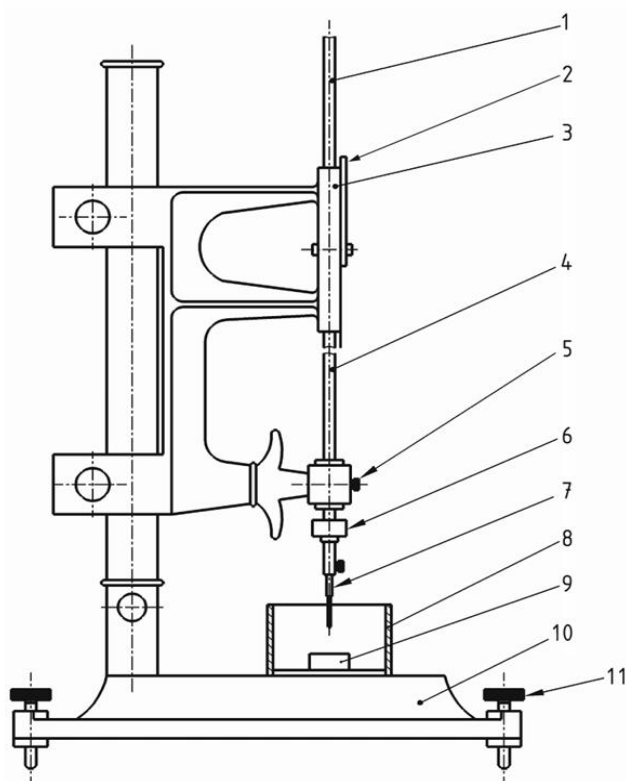
Savybė	Matavimo vienetai	Bandymo metodas	Rūšis		
			35/50	50/70	70/100
Nesendintas bitumo savybės					
Penetracija, kai yra 25°C	0,1 mm	LST EN 1426	45	56	75
Minkštėjimo temperatūra pagal žiedo ir rutulio metodą	°C	LST EN 1427	53	50	48
Pliūpsnio temperatūra	°C	LST EN ISO 2592	250	241	239
Tirpumas	%	LST EN 12592	99,5	99,5	99,5
Kinematinė klampa, esant 135°C	mm ² /s	LST EN 12595	430	350	245
Dinaminė klampa, esant 60°C	Pa · s	LST EN 12596	260	180	110
Trapumo temperatūra pagal Frasą	°C	LST EN 12593	-3	-9	-11
Sendinto bitumo savybės					
Atsparumas kietėjimui, esant 163°C:		LST EN 12607-1			
Liekamoji penetracija	%	LST EN 1426	55	52	49
Minkštėjimo temperatūros pagal žiedo ir rutulio metodą padidėjimas	°C	LST EN 1427	6	7	8
Masės pokytis	%	LST EN 12607-1	0,1	0,1	0,1

2.2. Bandinių paruošimas

Bandiniai pirmiausia ruošiami sumaišant bitumą su polimeru arba padangų priedu atitinkamais kiekiais. Bitumas šildomas inde palaikant 200 °C temperatūrą, pasvertas reikalingas kiekis polimero arba padangų priedo, dedamas į bitumą. Atliekamas maišymas lazdele arba elektrine maišykle, esančia inde. Maišoma nuo 10 iki 15 minučių. Analogiškai atliekamas visų bandinių paruošimas su 35/50, 50/70 ir 70/100 bitumo rūšimis.

2.2.1. Penetracijos nustatymas

Nustatant bandinio penetraciją, pagal standartą LST EN 1426, bitumas su polimeru, kaitinamas iki tokios būsenos ir supilamas į indelį, leidžiant atvėsti, bandinys su indeliu patalpinamas į vandens vonią, kurioje palaikoma 25 °C temperatūra. Bandinys pastatomas po penetrometru, kuris pavaizduotas 4 paveiksle (4 pav.), adata nuleidžiama į bandinį taip, kad jos galiukas vos liestų bandinio paviršių. Uždedamas 100 g svarelis (arba 2 svareliai po 50 gramų). Adata spaudžiama 5 sekundes. Įsiskverbimo gylis užrašomas 0,1 mm vienetais, matavimas kartojamas tris kartus skirtingose vietose. Atitinkamai bandymai atliekami su visomis bitumo rūšimis ir padangų priedu.



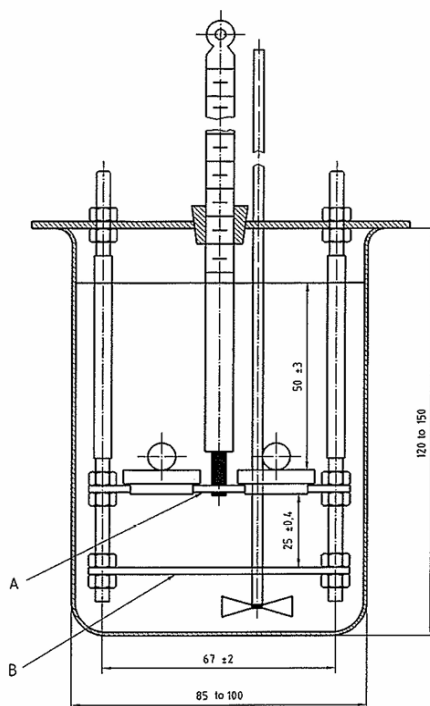
4 pav. Penetrometras ir jo sandara [11]

1 – Adatos laikiklis; 2 – mechaninio komparatoriaus skalė; 3 – komparatorius; 4 – adatos laikiklis; 5 – atleidimo mechanizmas; 6 – 100 g svarelis; 7 – penetracijos adata su antgaliu; 8 – perkėlimo įrangos indelis; 9 – bandomojo mėginio indas; 10 – pagrindo plokštė (stovas); 11 – lygio reguliavimo varžtas.

2.2.2. Minkštėjimo temperatūros nustatymas

Nustatant produkto minkštėjimo temperatūrą, pagal standartą LST EN 1427, ant bitumo, sumaišyto su polimeru arba padangų priedu, bandinio, uždedamas plieninis rutulys. Pasiėkus minkštėjimo temperatūrą, produktas suminkštėja ir rutulys nusileidžia tam tikrą atstumą. Įrangos minkštėjimo

temperatūros nustatymui pavyzdys pateiktas paveiksle 5 (5 pav.). Pirmiausia bandinys kaitinamas iki tokios būsenos ir supilamas į du metalinius žiedus. Atvėsinus nupjaunamas bandinio perteklius, esantis žieduose, kad paviršius būtų lygus. Žiedai statomi į laikiklį, ant kiekvieno bandinio uždedamas plieninis rutulys, visa sistema panardinama vandens vonelėje. Vonelė kaitinama pastoviu greičiu, didinant temperatūrą apie 5 °C per minutę. Fiksuojama temperatūra, kai rutulys su modifikuotu bitumu nusileidžia ir paliečia atraminę plokštelę, esančią 25 mm žemiau žiedo. Pakartotinai atliekamas eksperimentas, trijų matavimų vidurkis, išreikštas laipsniais Celsijaus, yra minkštėjimo temperatūra. Analogiški eksperimentai atliekami modifikuojant bitumą devulkanizuotų padangų priedu.



5 pav. Minkštėjimo temperatūros nustatymo aparatas [12]

2.3. Tiriamosios dalies rezultatai

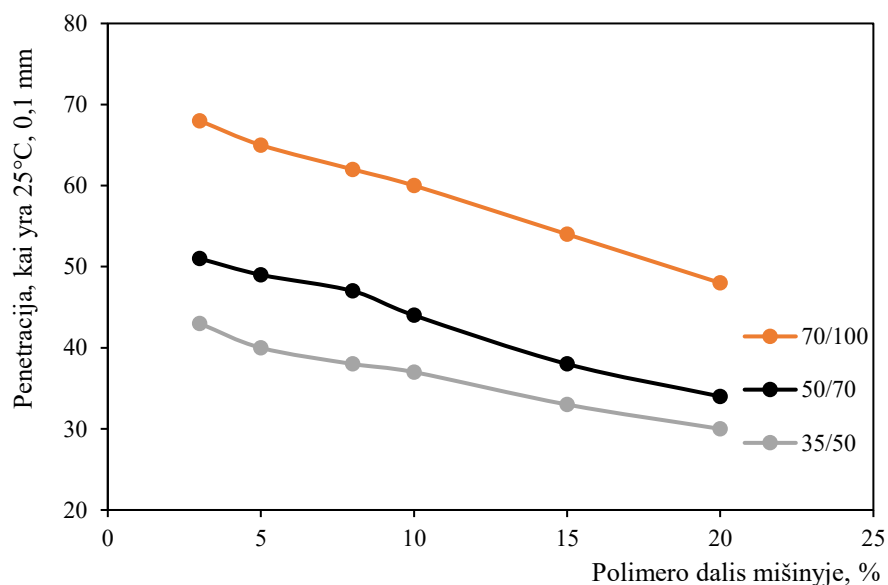
Gauti tyrimų rezultatai naudojant SBS polimerą bitumo modifikacijai pateikti 5 lentelėje (žr. 5 lentelę), rezultatai naudojant devulkanizuotų padangų priedą pateikti 6 lentelėje (žr. 6 lentelę). Rezultatai pateikti grafiškai 6, 7, 8 ir 9 paveiksluose (6, 7, 8, 9 pav.).

5 lentelė. Tyrimų rezultatai naudojant polimero priedą.

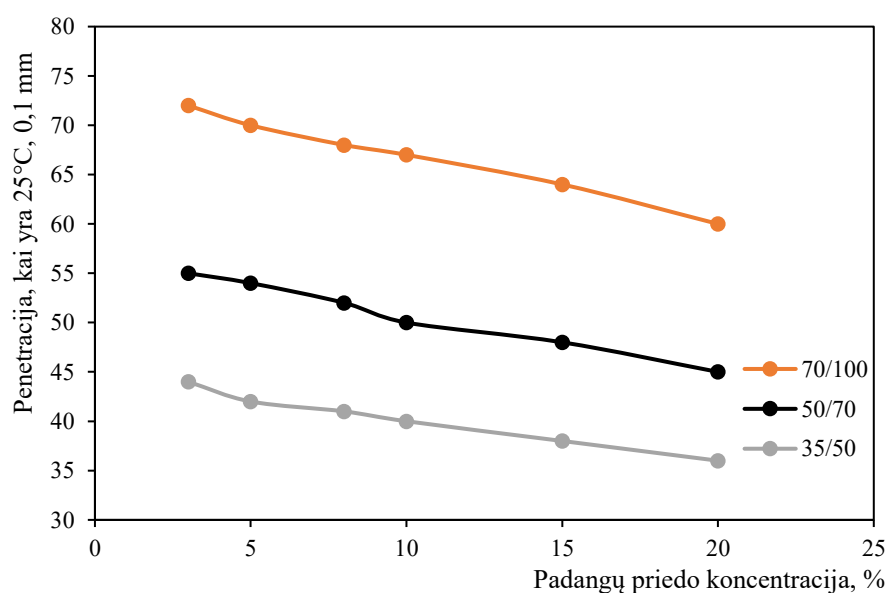
Polimero koncentracija, % masės	35/50		50/70		70/100	
	Penetracija, esant 25 °C, 0,1 mm	Minkštėjimo temperatūra, °C	Penetracija, esant 25 °C, 0,1 mm	Minkštėjimo temperatūra, °C	Penetracija, esant 25 °C, 0,1 mm	Minkštėjimo temperatūra, °C
3	43	60	51	57	68	55
5	40	64	49	62	65	61
8	38	67	47	65	62	64
10	37	70	44	69	60	67
15	33	73	38	71	54	69
20	30	78	34	74	48	72

6 lentelė. Tyrimų rezultatai naudojant padangų priedą.

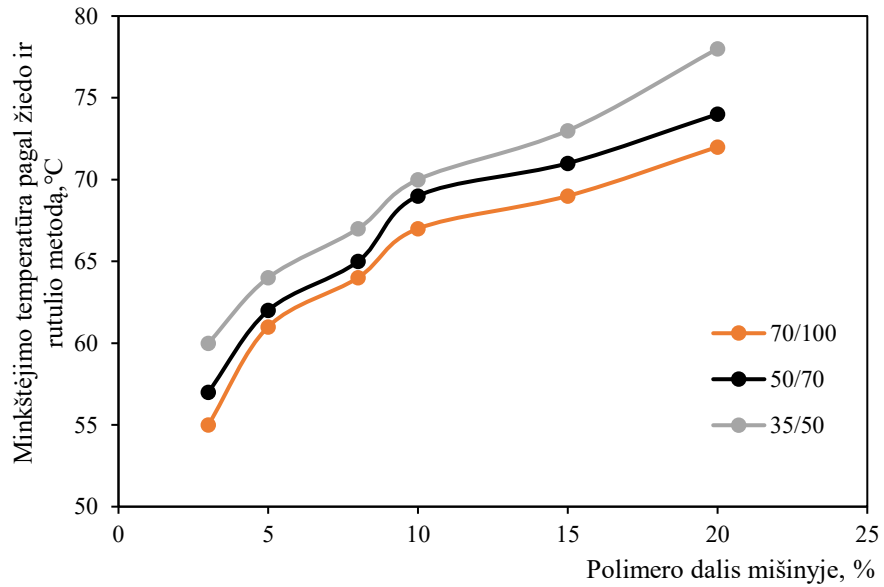
Padangų priedo koncentracija, % masės	35/50		50/70		70/100	
	Penetracija, esant 25 °C, 0,1 mm	Minkštėjimo temperatūra, °C	Penetracija, esant 25 °C, 0,1 mm	Minkštėjimo temperatūra, °C	Penetracija, esant 25 °C, 0,1 mm	Minkštėjimo temperatūra, °C
3	44	57	55	54	72	51
5	42	60	54	56	70	54
8	41	62	52	58	68	56
10	40	64	50	59	67	58
15	38	66	48	62	64	61
20	36	69	45	65	60	62



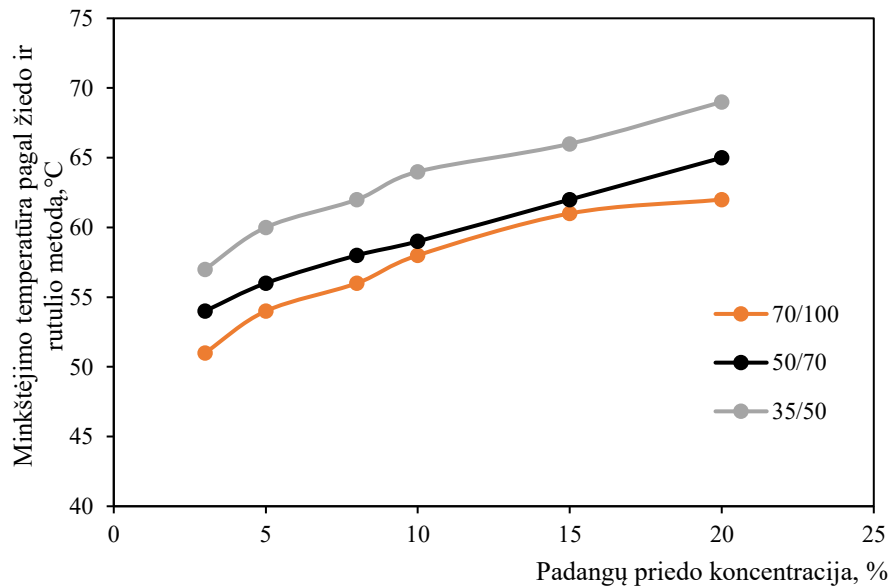
6 pav. Penetracijos pokytis bitume, įterpiant skirtingą polimero kiekį



7 pav. Penetracijos pokytis bitume, įterpiant skirtingą padangų priedo kiekį



8 pav. Minkštėjimo temperatūra žiedo ir rutulio metodu, įterpiant skirtingą polimero kiekį



9 pav. Minkštėjimo temperatūra žiedo ir rutulio metodu, įterpiant skirtingą padangų priedo kiekį

Pagal 5 lentelės (žr. 5 lentelę) duomenis ir 6 paveikslą (6 pav.), didėjant polimero koncentracijai bitume, penetracijos vertės sumažėjo nuo 15 iki 27 0,1 mm. Didesnis penetracijos pokytis atsiranda minkštesnėse bitumo rūšyse 70/100 ir 50/70 lyginant su 35/50. Kietesnėje bitumo rūšyje 35/50, didinat polimero koncentraciją iki 20 % masės, penetracijos vertė sumažėjo 15 0,1 mm, minkštesnėse rūšyse 50/70 ir 70/100 sumažėjimas didesnis – 22 ir 27 0,1 mm.

Naudojant devulkanizuotų padangų priedą bitumo modifikacijai, pagal 6 lentelės duomenis (žr. 6 lentelę) ir 7 paveikslą (7 pav.), didėjant modifikatoriaus koncentracijai, penetracijos vertės mažėja. Devulkanizuotų padangų priedas sumažina bitumų penetracijos vertes nuo 9 iki 15 0,1 mm. Bitumo penetracija, naudojant devulkanizuotų padangų priedą pakinta 66–100 % mažiau, lyginant su rezultatais gautais naudojant polimerą. Įterpiant devulkanizuotų padangų priedą į bitumą, penetracijos vertė labiau pasikeičia minkštesnėse bitumo rūšyse 50/70 ir 70/100, negu kietesnėje 35/50. Kietesnėje

bitumo rūšyje 35/50 penetracijos vertė pakito 9 0,1 mm, o minkštesnėse rūšyse 50/70 ir 70/100 atitinkamai: 11 ir 15 0,1 mm.

Pagal 5 lentelės (žr. 5 lentelę) duomenis ir 8 paveikslą (8 pav.), didinant polimero koncentraciją bitume, didėja minkštėjimo temperatūros vertės. Minkštėjimo temperatūros didėjimas yra pastovus visoms bitumo rūšims: 24–25 °C. Naudojant devulkanizuotų padangų priedą pagal 6 lentelės (žr. 6 lentelę) duomenis ir 9 paveikslą (9 pav.), bitumo minkštėjimo temperatūros vertės didėja 14–16 °C, apie 56–71 % mažiau negu naudojant polimerą.

Didėjant polimero ir devulkanizuotų padangų priedo koncentracijai bitume, didėja bitumo minkštėjimo temperatūros vertė ir mažėja penetracijos vertė, bitumas tampa kietesnis. Įterpiant polimerą arba devulkanizuotų padangų priedą į kietesnę bitumo rūšį pastebimas mažesnis penetracijos pokytis negu minkštesnėse bitumo rūšyse. Minkštėjimo temperatūros verčių pokyčiui bitumo rūšis įtakos nedaro. Polimeras lyginant su devulkanizuotų padangų priedu, bitumo savybėms daro didesnę įtaką, todėl norint pasiekti reikiamas produkto savybes, devulkanizuotų padangų priedo reikia daugiau negu polimero.

3. Inžinerinė dalis

3.1. Technologinė dalis

Šiame skyriuje pateikiamas masės balansas polimerais modifikuoto bitumo gamybos linijai, taip pat įrenginių: koloidinio malūno, siurblio ir apvalkalinio šilumokaičio skaičiavimai bei priimtos prielaidos. Pateikti šilumos nuostoliai, atsirandantys produkto talpose, šilumos perdavimas šilumokaityje, pateiktas elektros energijos, reikalingos palaikyti įrenginio veiklą, kiekis. Pateiktas technologinės linijos, modifikuoto bitumo gamybai aprašas.

3.1.1. Žaliavų ir produktų masės balansas

Polimerais modifikuotas bitumas gaminamas sumaišant bazinį bitumą su atitinkamu kiekiu polimero ir kitų priedų. Pagal naftos perdirbimo įmonės ir literatūros duomenis, bitumo gamybai naudojamos sunkiosios naftos perdirbimo procesų frakcijos [1, 2, 6, 19]. Priimta, kad baziniam bitumui gaminti naudojamos vakuuminės rektifikacijos, katalizinio krekingo, visbreakingo ir visbreakingo likučio vakuuminės rektifikacijos frakcijos. Techninis oras naudojamas oksiduoti bitumo žaliavą, vandens garai naudojami kolonose, siekiant, neleisti susidaryti sprogiai aplinkai. Stireno-butadieno-stireno kopolimeras naudojamas bitumo modifikacijai, granuliuota siera naudojama kaip priedas, gerinantis modifikuoto bitumo savybes. 7 ir 8 lentelėse (žr. 7 ir 8 lentelę) remiantis naftos perdirbimo įmonės duomenimis ir literatūra pateikti masės balansai bitumo ir polimerais modifikuoto bitumo gamybai.

7 lentelė. Bendras bitumo ir polimerais modifikuoto bitumo gamybos masės balansas

Žaliavos				Produktai			
Komponentas	t/metus	t/h	%, masės	Komponentas	t/metus	t/h	%, masės
VVF Vakuuminis distiliatas	1292,929	0,161	2,000	Polimerais modifikuotas bitumas	64000	7,984	99
Katalizinio krekingo likutis	484,848	0,060	0,750	Skilimo dujos	646,465	0,081	1
Gudronas	49454,545	6,169	76,500				
VVF Vakuuminis likutis	3555,556	0,444	5,500				
Užtamsintas distiliatas iš VVF	484,848	0,060	0,750				
Užtamsintas distiliatas iš VDU	323,232	0,040	0,500				
Techninis oras	3878,788	0,484	6,000				
SBS polimeras	4525,253	0,565	7,000				
Granuliuota siera	646,465	0,081	1,000				
Suma	64646,465	8,065	100		64646,465	8,065	100
Vandens garai į kolonos viršų	646,465	0,0808	1	Vandens kondensatas	646,465	0,0808	1
Suma	65292,929	8,145	101		65292,929	8,145	101

Atskirai pateiktas modifikuoto bitumo masės balansas 8 lentelėje (žr. 8 lentelę). Pagal literatūros ir tiriamosios dalies duomenis, priimta naudoti 7 % SBS polimero ir 1 % sieros priedo bitumo modifikavimui.

8 lentelė. Polimerais modifikuoto bitumo gamybos masės balansas

Žaliavos				Produktai			
Komponentas	t/metus	t/h	%, masės	Komponentas	t/metus	t/h	%, masės
Bitumas	59474,747	7,420	92	Polimerais modifikuotas bitumas	64000	7,984	99
SBS polimeras	4525,253	0,565	7	Skilimo dujos	646,465	0,081	1
Granuluota siera	646,465	0,081	1				
Suma	64646,465	8,065	100		64646,465	8,065	100

Toliau pateikiami svarbiausios modifikuoto bitumo gamybos įrangos: koloidinio malūno, šilumokačio ir siurblio skaičiavimai.

3.1.2. Koloidinio malūno skaičiavimai

Pagrindinis įrenginys polimerais modifikuoto bitumo gamyboje yra didelės šlyties koloidinis malūnas. Šio įrenginio paskirtis susmulkinti polimero ir priedų granules, esančias bitume, norint gauti produktą pasižymintį reikiamomis savybėmis. Žemiau pateikti, atlikti koloidinio malūno skaičiavimai [20, 21, 22, 23].

Apskaičiuojamas masinis ir tūrinis bendras žaliavų debitas tiekiamas į koloidinį malūną, per sekundę:

$$G_{\text{žaliavos}} = 8,065 \cdot \frac{1000}{3600} = 2,24 \text{ kg/s}; \quad (1)$$

$$V_{\text{žaliavos}} = \frac{G}{\rho} = \frac{2,24}{868,64} = 0,0026 \text{ m}^3/\text{s}; \quad (2)$$

čia: ρ – polimerais modifikuoto bitumo žaliavos tankis esant 200 °C temperatūrai, kg/m³, pagal 3 lygtį.

Norint nustatyti tūrinį debitą, reikalingas žaliavos tankis, esant 200 °C. Tankis esant 20 °C yra lygus 1020 kg/m³. Pagal terminio plėtimosi lygtį, išreikšta lygtis tankiui perskaičiuoti [20, 22]:

$$\rho_T = \frac{\rho_0}{1 + \beta \cdot (T - T_0)} = \frac{1020}{1 + 0,001 \cdot (200 - 20)} = 868,64 \text{ kg/m}^3; \quad (3)$$

čia: ρ_T – ieškomas tankis atitinkamoje temperatūroje, kg/m³, ρ_0 – tankis žinomoje temperatūroje, β – polimerais modifikuoto bitumo terminis plėtimosi koeficientas – 0,001 °C⁻¹.

Tolimesniems skaičiavimams pasirinkti duomenys: rotoriaus diametras D – 0,3 metro, atstumas tarp rotoriaus ir statoriaus δ – 0,0001 metro, rotacijų skaičius per sekundę N – 30 s⁻¹. Toliau nustatomas rotoriaus greitis v_r , koloidiniame malūne:

$$v_r = \pi \cdot D \cdot N = 3,14 \cdot 0,3 \cdot 30 = 28,27 \text{ m/s}; \quad (4)$$

čia: D – rotoriaus diametras, m, N – rotacijų skaičius per sekundę.

Apskaičiuojamas šlyties greitis γ [20, 22]:

$$\gamma = \frac{v_r}{\delta} = \frac{28,27}{0,0001} = 282743 \text{ s}^{-1}. \quad (5)$$

Apskaičiuojamas žaliavos tėkmės plotas ir tėkmės greitis malūne:

$$A = \pi \cdot D \cdot \delta = 3,14 \cdot 0,3 \cdot 0,0001 = 9,425 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2; \quad (6)$$

$$w = \frac{V_{\text{žaliavos}}}{A} = \frac{0,0026}{9,425 \cdot 10^{-5}} = 27,36 \text{ m/s}. \quad (7)$$

Teorinis maksimalus koloidinio malūno našumas apskaičiuojamas pagal formulę žemiau:

$$V_{\text{maksimalus}} = N_q \cdot N \cdot D^3 = 0,005 \cdot 30 \cdot 0,3^3 = 0,004 \text{ m}^3/\text{s}; \quad (8)$$

čia: N_q – tekėjimo skaičius, koloidiniam malūnui priimta – 0,005.

Apskaičiuotas maksimalus įrenginio našumas yra didesnis už reikalingą ($0,004 \text{ m}^3/\text{s} > 0,0026 \text{ m}^3/\text{s}$), koloidinio malūno rotoriaus diametras tinkamas. Toliau atliekami skaičiavimai nustatyti reikalingą energijos kiekį malūnui.

Apskaičiuojamas Reinoldso kriterijus [22]:

$$Re = \frac{\rho \cdot w \cdot \delta}{\mu} = \frac{868,64 \cdot 27,36 \cdot 0,0001}{0,07} = 34; \quad (9)$$

čia: ρ – žaliavos tankis 200 °C temperatūroje 864,68 kg/m³, dinaminė žaliavos klampa, 200 °C temperatūroje – 0,07 Pa · s, priimta pagal literatūrą [24].

Apskaičiuotas Reinoldso kriterijus – 34 mažesnis negu 1000, tai rodo, jog srautas įrenginyje yra laminarinis. Pagal literatūrą ir gautą Reinoldso kriterijų parinktas koloidinio malūno galios skaičius $N_p - 2$.

Apskaičiuojama malūno galia P, pagal lygtį [21]:

$$P = N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D^5 = 2 \cdot 868,64 \cdot 30^3 \cdot 0,3^5 = 113983 \text{ W} = 113,983 \text{ kW}. \quad (10)$$

Variklio perduodama galia P_v , nustatoma įvertinant variklio ir pavaros naudingumo koeficientus pagal lygtį:

$$P_v = \frac{P}{\eta_{\text{var}} \cdot \eta_{\text{pav}}} = \frac{113983}{0,9 \cdot 0,9} = 140720 \text{ W} = 140,720 \text{ kW}; \quad (11)$$

čia: η_{pav} – pavaros naudingumo koeficientas, priimta 0,9, η_{var} – variklio naudingumo koeficientas, priimta 0,9.

Pagal apskaičiuotus rodiklius, polimerais modifikuoto bitumo gamybai reikalingas koloidinis malūnas, kurio variklio galia, norint užtikrinti sklandų darbą, turi būti 140,72 kW, koloidinio malūno rotoriaus diametras – 0,3 metro. Pagal našumą, galią ir naudojamas medžiagas parinktas „Vimpo“ VCM P-10/20, 160 kW galios koloidinis malūnas [25].

3.1.3. Siurblio skaičiavimai

Siurblys projektuojamas produkto išpumpavimui iš brandintuvų į talpas. Priimtas vamzdyno ilgis – 80 metrų. Siurblys projektuojamas įvertinant slėgio nuostolius vamzdyne pagal lygtį [26]:

$$\Delta p = \Delta p_{gr} + \Delta p_{tr} + \Delta p_{vk} + \Delta p_{pak} + \Delta p_{pap}; \quad (12)$$

čia: Δp – sistemos slėgio perkritis sukuriamas trinties, vietinių kliūčių, greičio, pakėlimo aukščio ir skirtumo tarp zonų slėgių skirtumo, Pa.

Srauto greitis vamzdyne w , priimtas – 1 m/s, priimta, kad produktas po malimo atvėsta iki 180 °C, šioje temperatūroje produkto dinaminė klampa μ – 1 Pa · s.

Apskaičiuojami visi slėgio nuostoliai pateikti 12 lygtyje. Slėgio nuostoliai dėl greičio skaičiuojami:

$$\Delta p_{gr} = \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = \frac{1^2 \cdot 883,62}{2} = 441,81 \text{ Pa}; \quad (13)$$

čia: ρ – transportuojamo produkto tankis, 180 °C temperatūroje, apskaičiuotas pagal 3 lygtį, 883,62 kg/m³.

Norint nustatyti nuostolius dėl trinties, pirmiau nustatomas tūrinis debitas V_s , vamzdyno skersmuo d ir Reinoldso kriterijus Re .

Tūrinis debitas apskaičiuojamas analogiškai kaip 2 lygtyje:

$$V_s = \frac{G}{\rho} = \frac{2,240}{883,62} = 0,00253 \text{ m}^3/\text{s}; \quad (14)$$

čia: ρ – transportuojamo produkto tankis 180 °C, temperatūroje, apskaičiuota pagal 3 lygtį, 883,62 kg/m³.

Reikalingas vamzdyno skersmuo nustatomas pagal lygtį [26]:

$$d = \sqrt{\frac{V_s}{0,785 \cdot w}} = \sqrt{\frac{0,00253}{0,785 \cdot 1}} = 0,057 \text{ m}. \quad (15)$$

Skaičiavimams priimtas $d = 0,065$ m vamzdyno skersmuo.

Reinoldso kriterijus apskaičiuojamas:

$$Re = \frac{w \cdot \rho \cdot d}{\mu} = \frac{1 \cdot 883,62 \cdot 0,065}{1} = 57,435. \quad (16)$$

Reinoldso kriterijus $Re < 2300$, todėl srautas yra laminarinis. Pagal Reinoldso kriterijų nustatomas šurkštumo koeficientas ζ , pagal lygtį žemiau:

$$\zeta = \frac{64}{Re} = \frac{64}{57,435} = 1,114. \quad (17)$$

Toliau pagal apskaičiuotus duomenis nustatomi slėgio nuostoliai dėl trinties Δp_{tr} :

$$\Delta p_{tr} = \zeta \cdot \frac{L}{d_e} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = 1,114 \cdot \frac{80}{0,065} \cdot \frac{1^2 \cdot 883,62}{2} = 605917,16 \text{ Pa}; \quad (18)$$

čia: L – tiriamos vamzdyno atkarpos ilgis m, d_e – ekvivalentinis skersmuo, kadangi naudojami apvalūs vamzdžiai $d_e = d$, m.

Atliekant slėgio perkryčio skaičiavimus, kuriuos sukelia kliūtys sistemoje, būtina nustatyti kliūčių skaičių ir jų kiekį. Kliūtys, jų kiekis vamzdyne ir koeficientai nurodyti 9 lentelėje (žr. 9 lentelę).

9 lentelė. Vietinės kliūtys vamzdyne

Kliūtis tipas	Skaičius	Kliūtis koeficientas	Koeficientų suma
Įtekėjimo atvamzdis	1	0,5	0,5
90° Alkūnė	12	1,19	14,28
Sklendė	10	0,15	1,5
Ištekėjimo atvamzdis	1	1	1
Suma			17,28

Slėgio perkrytis sistemoje dėl kliūčių nustatomas pagal lygtį:

$$\Delta p_{vk} = \sum \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = 17,28 \cdot \frac{1^2 \cdot 883,62}{2} = 7634,48 \text{ Pa.} \quad (19)$$

Priimama kad skystis pakeliamas į 14 metrų aukštį. Apskaičiuojami slėgio nuostoliai dėl pakėlimo Δp_{pak} :

$$\Delta p_{pak} = \rho \cdot g \cdot h = 883,62 \cdot 9,81 \cdot 14 = 121356,47 \text{ Pa.} \quad (20)$$

Siekiant apskaičiuoti slėgio nuostolius tarp zonų slėgių skirtumo, priimta, kad slėgis, po brandintuvų yra 2 barai, o slėgis talpose – 3 barai, todėl slėgio nuostoliai dėl šių zonų slėgių skirtumo:

$$\Delta p_{pap} = p_2 - p_1 = 300000 - 200000 = 100000 \text{ Pa.} \quad (21)$$

Slėgio nuostolių suma pagal 12 lygtį:

$$\Delta p = 441,81 + 695917,16 + 7634,48 + 121356,47 + 100000 = 835349,92 \text{ Pa.}$$

Siurblio sudaroma slėgio aukštį apskaičiuojame pagal lygtį:

$$H_{Siurblio} = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{835349,92}{883,62 \cdot 9,81} = 96,34 \text{ m.} \quad (22)$$

Apskaičiuojama siurblio galia, perteikta skysčiui, įvertinant veleno naudingumo koeficientą, kuris priimamas 0,8:

$$N_{vel} = \frac{V \cdot \rho \cdot g \cdot H}{\eta} = \frac{0,00253 \cdot 883,62 \cdot 9,81 \cdot 96,34}{0,8} = 2647,26 \text{ W} = 2,647 \text{ kW.} \quad (23)$$

Siurblio variklio galia apskaičiuojama priimant pavaros ir variklio naudingumo koeficientus η_{pav} ir η_{var} lygius 0,8.

$$N_v = \frac{N_{vel}}{\eta_{pav} \cdot \eta_{var}} = \frac{2647,26}{0,8 \cdot 0,8} = 4136,3 \text{ W} = 4,136 \text{ kW.} \quad (24)$$

Toliau atliekamas galimo teigiamo tinklo įsiurbimo slėgio aukščio $NPSH_a$ (angl. *Net positive suction head*) skaičiavimas pagal formulę [20, 21]:

$$NPSH_a = \frac{p}{\rho \cdot g} - h_e - h_l - \frac{p_v}{\rho \cdot g}; \quad (25)$$

čia: p – slėgis brandintuvuose Pa, h_e – pakėlimo aukštis m, h_l – slėgio nuostoliai vamzdyne nuo brandintuvų iki siurblio, p_v – produkto sočiųjų garų slėgis Pa, ρ – produkto tankis, kg/m^3 .

Produkto sočiųjų garų slėgis p_v skaičiuojamas naudojanti Ašvorto lygtimi:

$$p_v = 10^{7,6715 \cdot \frac{2,68 \cdot f(T)}{f(T_0)} + 3158} = 10^{7,6715 \cdot \frac{2,68 \cdot 1,347}{3,9569} + 3158} = 3158,63 \text{ Pa}; \quad (26)$$

$$f(T) = \frac{1250}{\sqrt{T^2 + 108000} - 307,6} - 1 = \frac{1250}{\sqrt{(180 + 273,15)^2 + 108000} - 307,6} - 1 = 1,347;$$

čia: T_0 – produkto virimo temperatūra, priimta $500 \text{ }^\circ\text{C}$, T – srauto temperatūra $180 \text{ }^\circ\text{C}$.

Slėgio nuostoliai vamzdyne dėl trinties, vietinių kliūčių ir greičio skaičiuojami analogiškai kaip lygtyse 13, 18 ir 19. Vamzdyno ilgis – 5 metrai, vietinės kliūtys: dvi 90° alkūnės, sklendė, įtekėjimo ir ištekėjimo atvamzdžiai. Kliūtys, jų kiekis, siurblio įvado vamzdyne pateikti lentelėje 10 (žr. 10 lentelę)

10 lentelė. Siurblio įvade esančios vietinės kliūtys

Kliūtis tipas	Skaičius	Kliūtis koeficientas	Koeficientų suma
Įtekėjimo atvamzdis	1	0,5	0,5
90° Alkūnė	2	1,19	2,38
Sklendė	1	0,15	0,15
Ištekėjimo atvamzdis	1	1	1
Suma			4,03

Nuostoliai dėl greičio:

$$\Delta p_{gr} = \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = \frac{1^2 \cdot 883,62}{2} = 441,81 \text{ Pa.}$$

Nuostoliai dėl vietinių kliūčių

$$\Delta p_{vk} = \sum \xi \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = 4,03 \cdot \frac{1^2 \cdot 883,62}{2} = 1780,50 \text{ Pa.}$$

Nuostoliai dėl trinties

$$\Delta p_{tr} = \zeta \cdot \frac{L}{d_e} \cdot \frac{w^2 \cdot \rho}{2} = 1,114 \cdot \frac{5}{0,065} \cdot \frac{1^2 \cdot 883,62}{2} = 37869,82 \text{ Pa.}$$

Nuostolių sudaromas slėgio aukštis:

$$h_l = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{37869,82}{883,62 \cdot 9,81} = 4,625 \text{ m.}$$

Priimtas pakėlimo aukštis $h_e = 0,5$ metro.

Sistemos $NPSH_a$:

$$NPSH_a = \frac{P}{\rho \cdot g} - h_e - h_l - \frac{P_v}{\rho \cdot g} = \frac{200000}{883,62 \cdot 9,81} - 0,5 - 4,625 - \frac{3158,63}{883,62 \cdot 9,81} = 17,583 \text{ m.} \quad (27)$$

Nustatytas sistemos $NPSH_a = 17,083$ m. Variklio reikalingo užtikrinti sklandų proceso darbą galia – 4,136 kW. Siurblys turi išvystyti 96,34 metrų pakėlimo aukštį. Bitumui transportuoti į koloidinį malūną ir produktui transportuoti į talpas naudojami krumpliaratiniai siurbliai, šie siurbliai tinkamesni transportuoti klampioms medžiagoms nei išcentriniai siurbliai. Produktui transportuoti parinkti „STEIMEL“ SF6/132 5,5 kW galios krumpliaratiniai siurbliai, pagal reikalingą pakėlimo aukštį, galimą tinklo įsiurbimo slėgio aukštį ir našumą [27].

3.1.4. Apvalkalinio šilumokaičio skaičiavimai ir šilumos balansas

Polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginyje, šilumos mainai vyksta šildant bitumo žaliavą malimo procesui. Bitumas ir modifikuotas bitumas sandėliuojami 170–180 °C, siekiant išvengti fazių persiskyrimo ir virsmo į kietą agregatinę būseną, tačiau malimo procesas turi būti atliekamas aukštesnėje temperatūroje, pagal praktinius duomenis bitumo temperatūra turi būti apie 200 °C, todėl būtina žaliavą pašildyti prieš atliekant malimą. Bitumo žaliavos pašildymui naudojamas apvalkalinis šilumokaitis, kuriame kaip šildantis agentas naudojama šildymo alyva, pašildyta elektriniame boileriuje. Žemiau pateikti šilumokaičio skaičiavimai ir šilumokaičio šilumos balansas [28, 29, 30, 31].

Šildymo alyvos ir bitumo tankiai, esant 20 °C, yra žinomi ir atitinkamai yra $\rho_{\text{Bitumo}} = 1025 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{Alyvos}} = 820 \text{ kg/m}^3$ [6, 30, 31]. Norint atlikti skaičiavimus reikalingos bitumo ir alyvos entalpijos skirtingose temperatūrose, skaičiavimams atlikti nustatomos srautų lyginamosios masės 15 °C temperatūroje.

Alyvos lyginamoji masė 15 °C temperatūroje [30]:

$$\rho_{15}^{15} = \rho_4^{20} + 5 \cdot \alpha = 0,820 + 5 \cdot 0,000738 = 0,824; \quad (28)$$

čia: ρ_4^{20} – alyvos lyginamoji masė esant 20 °C, α – koeficientas iš literatūros.

Bitumo lyginamoji masė 15 °C temperatūroje:

$$\rho_{15}^{15} = \rho_4^{20} + 5 \cdot \alpha = 1,025 + 5 \cdot 0,000515 = 1,028. \quad (29)$$

Toliau skaičiuojamos bitumo ir alyvos entalpijos pagal lygtį žemiau. Pavyzdys skaičiuojamas su įtekančio 170 °C bitumo srautu, žemiau 11 lentelėje (žr. 11 lentelę) surašomi gauti rezultatai [30, 31].

$$h_{0,t}^s = \frac{0,0017 \cdot T^2 + 0,762 \cdot T - 334,25}{\sqrt{\rho_{15}^{15}}}; \quad (30)$$

$$h_{0,t}^s = \frac{0,0017 \cdot (170 + 273,15)^2 + 0,762 \cdot (170 + 273,15) - 334,25}{\sqrt{1,028}} = 332,72 \text{ kJ/kg};$$

čia: T – temperatūra, K.

11 lentelė. Šilumokaičio šildančio ir šaldančio srautų temperatūros ir entalpijos

Parametras	Įtekantis į šilumokaitį srautas		Ištekantis iš šilumokaičio srautas	
	Bitumas (šaldalas)	Šildymo alyva (šildalas)	Bitumas (šaldalas)	Šildymo alyva (šildalas)
Temperatūra, °C	170	250	200	230
Entalpija h, kJ/kg	332,72	583,60	401,37	528,36

Atliekant šilumokaičio projektinius skaičiavimus nustatomi šiluminės energijos kiekiai įtekantys iš šilumokaičio su šildančiu ir šaldančiu srautais. Apskaičiuojami šilumokaičio duomenys [28, 29].

Žinomas šildančio agento, bitumo, srautas G_s , pagal lentelės 8 duomenis yra lygus 7,420 t/h (7149,50 kg/h). Apskaičiuojamas G_k apskaičiuojamas pagal lygtį, priimant šilumos perdavimo koeficientą $\eta = 0,9$ [28, 29]:

$$G_k = \frac{G_s \cdot (h_{s_{is}} - h_{s_i})}{(h_{k_{is}} - h_{k_i}) \cdot \eta} = \frac{7149,5 \cdot (401,37 - 332,72)}{(583,60 - 528,36) \cdot 0,9} = 10848,06 \text{ kg/h.} \quad (31)$$

Apskaičiuojamas šilumos kiekis perduodamas su šildančiu srautu alyvos Q_k :

$$Q_k = G_k \cdot (h_{k_i} - h_{k_{is}}) = 10848,06 \cdot (583,60 - 528,36) = 599244,64 \text{ kJ/h.} \quad (32)$$

Apskaičiuojamas šilumos kiekis perduotas bitumo srautui Q_s :

$$Q_s = G_s \cdot (h_{s_{is}} - h_{s_i}) = 7149,50 \cdot (401,37 - 332,72) = 509357,94 \text{ kJ/h.} \quad (33)$$

Apskaičiuojamas šilumos kiekis prarandamas kaip nuostoliai Q_n , dėl perdavimo koeficiento:

$$Q_n = Q_k - Q_s = 599244,64 - 509357,94 = 89886,70 \text{ kJ/h.} \quad (34)$$

Apskaičiuojamas vidutinis temperatūrų skirtumas $\Delta\tau_v$:

$$\Delta\tau_v = \frac{\Delta t_d - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_d}{\Delta t_m}} = \frac{30 - 20}{\ln \frac{30}{20}} = 24,66 \text{ °C;} \quad (35)$$

čia: Δt_d bitumo srauto į šilumokaitį ir iš šilumokaičio temperatūros pokytis, °C, Δt_m alyvos srauto į šilumokaitį ir iš šilumokaičio temperatūros pokytis, °C.

Paviršiaus plotas F perduodantis šiluminę energiją apskaičiuojamas pagal lygtį: [28, 29]:

$$F = \frac{Q_k}{(K \cdot \Delta\tau_v)} = \frac{599244,64}{(100 \cdot 24,46)} = 67,49 \text{ m}^2; \quad (36)$$

čia: K – šilumos perdavimo koeficientas, vertė priimama 100 W/(m²·K).

Apskaičiuojamas ėjos vamzdžių skaičius:

$$z = \frac{4 \cdot f}{(d^2 \cdot \pi)} = \frac{4 \cdot 0,0024}{(0,01^2 \cdot \pi)} = 30,21 \text{ vnt}; \quad (37)$$

čia: d – vamzdelių skersmuo priimtas 0,01 m.

Skysčio tekėjimo skerspjūvio plotas f nustatomas pagal formulę žemiau:

$$f = \frac{G_{\text{Bitumo}}}{(\rho_{\text{Bitumo}} \cdot w)} = \frac{2,06}{(868,64 \cdot 1)} = 0,0024 \text{ m}^2; \quad (38)$$

čia: ρ_1 – bitumo tankis, kg/m^3 esant 200°C , lygus 868,64; w – analogiškai siurbliui, lygus 1 m/s; G_{Bitumo} – transportuojamas bitumo kiekis, kg/s.

Ėjos vamzdelių skaičius, dėl konstrukcinių ypatumų, priimamas artimiausiam lyginiam skaičiui – 32. Vamzdžių šilumokaityje ilgis nustatomas pagal formulę [26, 28]:

$$L_1 = \frac{F}{\pi \cdot d_s \cdot z_1} = \frac{67,49}{\pi \cdot 0,015 \cdot 32} = 44,76 \text{ m}; \quad (39)$$

čia: d_s – vamzdelių skaičiuojamas skersmuo $d_s = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$, išorinis diametras d_2 , vamzdelio sienos storis – 0,005 m.

Apskaičiuojamas ėjų kiekis šilumokaityje e_1 , ilgis priimtas vienam vamzdeliui, L – 6 metrai.

$$e_1 = \frac{L_1}{L} = \frac{44,76}{6} = 7,46 = 8. \quad (40)$$

Nustatomas visų vamzdelių skaičius pagal ėjų skaičių, pagal lygtį:

$$z = e_1 \cdot z_1 = 8 \cdot 32 = 256. \quad (41)$$

Priimta kad vamzdelių vienetų skaičius z , ir praktinis skaičius z_{pr} yra lygūs.

Apvalkalinio šilumokaičio vidinis korpuso diametras D , apskaičiuojamas pagal formulę:

$$D = 1,13 \cdot \beta \cdot d_2 \cdot \sqrt{\frac{z_{\text{pr}}}{\Phi_{\text{praktinis}}}} \cdot \sin(\gamma) = 1,13 \cdot 1,5 \cdot 0,015 \cdot \sqrt{\frac{256}{0,615}} \cdot \sin(45) = 0,48 \text{ m}; \quad (42)$$

čia: $\beta = t/d_2$, β priimta 1,5, γ – kampas priimtas lygus 45° tarp šilumokaičio vamzdžių; $\Phi_{\text{praktinis}}$ – koeficientas rėtinei lėkštei.

Žemiau randami dydžiai apvalkalo diametru nustatyti. Pirmiau atliekami skaičiavimai rėtinės plokštės akyviam plotui nustatyti. Žingsnis t , apskaičiuojamas pagal lygtį:

$$t = 1,5 \cdot 0,015 = 0,0225. \quad (43)$$

Vamzdelio užimamas plotas F_0 nustatomas naudojantis lygtimi:

$$F_0 = t^2 \cdot \sin(\gamma) = 0,0225^2 \cdot \sin(45) = 0,00043 \text{ m}^2. \quad (44)$$

Toliau apskaičiuojamas visiems vamzdeliams reikalingas plotas F_n bei laisvas plokštelės plotas F_l :

$$F_n = z_{pr} \cdot F_0 = 288 \cdot 0,00043 = 0,124 \text{ m}^2; \quad (45)$$

$$F_l = 0,3 \cdot F_n = 0,3 \cdot 0,124 = 0,037 \text{ m}^2. \quad (46)$$

Pripildymo koeficientas φ , rélinei lėkštei nustatomas:

$$\varphi = \frac{F_n}{F_n + F_l} = \frac{0,124}{0,124 + 0,037} = 0,769. \quad (47)$$

Praktinis pripildymo koeficientas priimtas 20 procentų mažesnis už teorinį:

$$\varphi_{\text{praktinis}} = \varphi \cdot 0,8 = 0,615. \quad (48)$$

Šilumokaičio diametras reikalingas užtikrinti šilumos pernašą – 0,48 metro, šilumos perdavimo paviršiaus plotas – 67,49 m². Vamzdeliuose tiekama šildymo alyva, bitumas – korpuse, tokia konfigūracija parinkta siekiant palengvinti šilumokaičio valymus, remonto metu.

Pagal apskaičiuotus šilumos kiekius sudaromas šilumos balansas šilumokaičiui, duomenys pateikti 12 lentelėje (žr. 12 lentelę), metinis šilumos suvartojimas, gaunamas įvertinant metinį įrenginio eksploatacijos laiką – 8016 valandų.

12 lentelė. Šilumokaičio šilumos balansas

Įtekantys srautai							
Terpė	G, kg/h	G, t/h	G, t/metus	T, °C	Entalpija, kJ/kg	Q kJ/h	Q kJ/metus
Bitumas	7419,50	7,420	59474,75	170	332,72	2468642	19788636690
Šildymo alyva	10848,06	10,85	86958,03	250	583,60	6330883	50748355637
Viso	18267,56	18,268	146432,77			8799525	70536992326
Ištekantys srautai							
Bitumas	7419,50	7,420	59474,75	200	401,37	2978000	23871649959
Šildymo alyva	10848,06	10,848	86958,03	230	528,36	5731638	45944810614
Nuostoliai į aplinką						89886,70	720531753,3
Viso	18267,56	18,27	146432,77			8799525	70536992326

3.1.5. Šilumos nuostoliai ir bendras energijos balansas

Polimerais modifikuotas bitumas turi būti saugomas talpose 180 °C temperatūroje, nuolat maišomas, siekiant išvengti fazių atsiskyrimo tarp polimero ir bitumo, esant žemesnei temperatūrai polimeras esantis bitume yra linkęs aglomeruotis, ir išsisluoksniuoti atsiskiriant nuo bitumo terpės. Šiame poskyryje apskaičiuoti šilumos nuostoliai patiriami modifikuoto bitumo talpose, sandėliuojant produkciją, taip pat pagal anksčiau atliktus skaičiavimus ir nuostolių skaičiavimus pateikiami bendri elektros energijos kiekiai, reikalingi proceso temperatūriniam režimui palaikyti.

Siekiant nustatyti šilumos nuostolius, reikalinga žinoti talpų paviršiaus plotą, viso naudojamos 4 talpos modifikuoto bitumo sandėliavimui, talpos aukštis H – 7 metrai, spindulys r – 3,02 metro, talpos cilindro formos.

Vienos talpos paviršiaus plotas (vertinant kad talpos pastatytos išpylimo estakadoje, vertinamas ir dugno paviršiaus plotas) nustatomas:

$$S_{\text{pav}} = 2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H = 2 \cdot \pi \cdot 3,02^2 + 2 \cdot \pi \cdot 3,02 \cdot 7 = 101,13 \text{ m}^2. \quad (49)$$

Toliau atliekami skaičiavimai siekiant nustatyti šilumos perdavimo koeficientą K. Pagal literatūros duomenis priimti oro ir bitumo šilumos perdavimo koeficientai, taip pat plieno ir izoliacijos šilumos laidumo koeficientai.

13 lentelėje (žr. 13 lentelę) pateikti duomenys šilumos nuostolių skaičiavimui [24, 32, 33]:

13 lentelė. Duomenys šilumos nuostolių skaičiavimui

Parametras	Reikšmė
Rezervuaro tūris, m ³	200
Aukštis, m	7
Spindulys r, m	3,02
Dugno plotas A _{Dugno} , m ²	29
Rezervuarų skaičius	4
Vieno rezervuaro paviršiaus plotas S _{pav} , m ²	101,13
Visų rezervuarų paviršiaus plotas A, m ²	404,50
Šilumos perdavimo koeficientas K, W/m ² ·K	0,5
Izoliacijos storis δ, m	0,05
Plieno storis δ, m	0,05
Oro šilumos atidavimo koeficientas α, W/m ² ·K	10
Plieno šilumos laidumo koeficientas λ, W/m·K	46,5
Izoliacijos šilumos laidumo koeficientas λ, W/m·K	0,04
Bitumo šilumos atidavimo koeficientas α, W/m ² ·K	0,8
Temperatūra talpoje T ₁ , °C	180
Temperatūra lauke T ₂ , °C	10

Sistemos šilumos perdavimo koeficientas K, išreiškiamas pagal lygtį:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{Bitumo}}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{Izoliacijos}}} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{Plieno}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{Oro}}}} = \frac{1}{\frac{1}{0,8} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,05}{46,5} + \frac{1}{10}} = 0,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}. \quad (50)$$

Pagal apskaičiuotus duomenis, apskaičiuojami šilumos nuostoliai į aplinką per sekundę:

$$Q_n = K \cdot A \cdot \Delta T = 0,5 \cdot 404,50 \cdot (180 - 10) = 34456,49 \text{ W} = 34,457 \text{ kW}; \quad (51)$$

čia: K – bendras šilumos perdavimo koeficientas, W/m²·K, A – visų rezervuarų paviršiaus plotas m², ΔT – temperatūrų skirtumas tarp talpos vidaus ir aplinkos.

Skaičiuojant priimta, jog visos talpos visus metus yra pilnos, tai yra visas paviršiaus plotas perduoda šilumą tolygiai, kaip konservatyvus scenarijus. Pagal gautus duomenis parinkti „Mag-trade“ įmonės elektrinio šildymo elementai talpykloms, vieno teno galia 10 kW, viso 40 kW [34]. Priimant jog įrenginiai eksploatuojami 8016 valandų per metus, tenams talpoms šildyti reikalinga:

$$Q_{n, \text{viso}} = 8016 \cdot Q_n = 320640 \text{ kWh.}$$

Norint sudaryti bendrą elektros energijos balansą įrenginiui apskaičiuojamas elektros energijos kiekis, reikalingas šildymo alyvą pašildyti iki reikiamos temperatūros, elektriniame boileriuje. Pagal lygtį 29, matome, kad šildalas praranda 1130819,99 kJ/h. Reikalingas elektros kiekis per valandą išreikštas kWh:

$$Q_{\text{Boileryje}} = \frac{Q_s}{3600} \cdot 1 = \frac{599244,64}{3600} \cdot 1 = 166,457 \text{ kWh.} \quad (52)$$

Įvertinus nuostolius, kurie priimti 10 procentų, viso reikalingas boilerio elektros energijos kiekis:

$$Q_{\text{Boileryje viso}} = 1,1 \cdot 166,457 = 183,10 \text{ kWh.} \quad (53)$$

Pagal nustatytą 180,10 kWh energijos kiekį parinktas „RYAN“ įmonės GYD elektrinis boileris, kurio galia yra 200 kW [35]. Alyvos siurbliui, boileriui, maišyklėms, transporteriams reikalingi elektros energijos kiekiai yra parinkti pagal įrenginio našumą, temperatūrinį režimą, apskaičiuotus duomenis ir remiantis gamintojų siūloma įranga. Priimta kad produktas į talpas patenka atvėšęs iki 180 °C, iš koloidinio malūno ištekantis produkto srautas, kurio temperatūra yra apie 200 °C, praranda šilumą į aplinką, dėl to talpose nuolatos reikia palaikyti optimalią temperatūrą. Pagal technologinę schemą (žr. Priedas Nr. 1) S-7R, S-8R ir S-9R yra rezerviniai, todėl elektros sąnaudos šiems siurbliams neskaičiuojamos. Įrangos gamintojai ir įrangos modeliai parinkti procesui bei bendri elektros energijos kiekiai reikalingi įrenginio eksploatacijai 8016 valandų per metus, pateikti 14 lentelėje (žr. 14 lentelę) [25, 27, 34, 35, 36, 37].

14 lentelė. Elektros energijos poreikis įrenginiui

Įranga	Įrangos gamintojas, įrangos modelis	Įrangos kiekis	Galia, kW/vienetui	Bendra galia, kW	Energijos kiekis, kWh/metus
Boileris	RYAN GYD	1	200	200,0	1603200
Talpų šildymas	Mag trade	4	10	40,0	320640
Brandintuvų šildymas	Mag trade	3	6	18,0	144288
Talpų maišikliai	Siemens/SEW	4	15	60,0	480960
Brandintuvų maišikliai	Siemens/SEW	3	22	66,0	529056
Produkto siurbliai	STEIMEL SF6/132, krumpliaratinis siurblys	4	5,5	22,0	176352
Alyvos siurbliai	KEMAI, išcentrinis siurblys 50-32-200A	3	4	12,0	96192
Srangtiniai transporteriai polimerui	Sanyuantang LS-160	2	5,5	11,0	88176
Srangtinis transporteris sierai	Sanyuantang LS-100	1	2,5	2,5	20040
Energijos kiekis apšvietimui	-	-	15	15,0	120240
Koloidinis malūnas	VCM P-10/20	1	160	160,0	1282560
Maišyklės	Sinoroader	2	11	22,0	176352
Viso				628,5	5038056

3.2. Statybiniai sprendimai

3.2.1. Pagrindiniai duomenys

Projektas rengiamas naftos perdirbimo įmonėje, kurioje atliekama dyzelino, benzino, bitumo, žibalo ir kitos produkcijos gamyba bei distribucija. Įmonė nutolusi 21 km šiaurės vakarų kryptimi nuo Mažeikių miesto. Bendrovės plotas – 120 hektarų. Įrenginio konstrukcija atliekama ant esamo lygaus reljefo betonio pagrindo (aikštelės). Bitumas polimerais modifikuoto bitumo gamybai, tiekiamas esamo bitumo gamybos įrenginio rezervuarų, polimerai ir priedai, tiekiami maišais, elektra įrenginiui bus tiekama iš esamos pastotės. Statinio duomenys pateikti 15 lentelėje (žr. 15 lentelę)

15 lentelė. Bendri parametrai

Nr.	Parametras	Mato vienetas	Kiekis
1	Bendras sklypo plotas	ha	120
2	Įrenginio užimtamas plotas	m ²	384
3	Apželdintas žemės plotas (žalasis plotas)	m ²	50000
4	Automobilių stovėjimo vietų skaičius	vienetai	1
5	Sanitarinės (apsaugos) zonos plotis	m	300

Polimerais modifikuoto bitumo įrenginys projektuojamas gaminti 64000 tonų modifikuoto bitumo per metus. Projektuojamas polimerais modifikuoto bitumo įrenginys, ir papildoma įranga reikalinga produkto gamybai. Gamybai naudojama esama bitumo gamybos operatorinė, elektros, vandens tiekimas užtikrinami iš esamų sistemų. 16 lentelėje (žr. 16 lentelę) pateikti duomenys įrenginiui.

16 lentelė. Pagrindinio įrenginio ir pagalbinės įrangos rodikliai

Parametras	Matavimo vienetas	Kiekis
Bendrasis įrenginių plotas:	m ²	384
Pagrindinio įrenginio plotas	m ²	40
Pagalbinės įrangos užimamas plotas	m ²	344
Įrenginio plotis	m	4
Įrenginio ilgis	m	10
Įrenginio tūris	m ³	134
Įrenginio aukštis	m	3,350

3.2.2. Sklypo parametrai

Naftos perdirbimo įmonėje kas metus perdirbami milijonai tonų naftos, ir analogiškai pagaminamas ir transportuojamas toks pats kiekis produktų, todėl naujo įrenginio teritorijoje privaloma suprojektuoti automobilių eismui skirtus kelius. Gamykloje yra numatyti keliai automobilių, traukinių transportui ir krovininiams automobiliams ir jų apsisukimui. Kelių infrastruktūra yra būtina žaliavų gabenimui ir darbuotojų transportavimui. Keliai taip pat reikalingi avarinių situacijų atveju, avarinėms tarnyboms greitai patekti į avarijos vietą. Keliams numatytas plotis ne mažesnis negu 6 m, numatomas aukštis pravažiavimui po estakadomis didesnis negu 4,5 m. Suprojektuoti pėsčiųjų asfalto takeliai ne siauresni negu 1 m. Visi takai, esantys šalia kelių turi būti ne mažesniu negu 0,8 m atstumu nuo artimiausio kelio. Nuo žalios vejų iki įrengimų, konstrukcijų turi būti palaikomas atstumas ne

mažesnis negu 5 m. Naudojama bendra, esama automobilių aikštelė esanti teritorijoje esančioje už gamybinės erdvės.

3.2.3. Projektuojamo įrenginio sprendiniai

Projektuojamas polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginys bus statomas naftos perdirbimo bendrovei priklausančioje teritorijoje. Įrenginio fasadas nukreiptas šiaurės vakarų kryptimi. Pagrindinio įrenginio geometriniai parametrai: aukštis $H = 3,350$ m, plotis $B = 4$ m, ilgis $L = 10$ m. Įrenginys yra konteinerio tipo – visas pagrindinis įrenginys / pastatas yra sudarytas iš anglinio plieno ASTM A516 70, plokščių, ir iš tokios pat medžiagos pagamintų 10 kolonų išdėliotų dvejose lygiuose eilėse (2 x 5). Visas konteineris statomas ant lygaus paviršiaus, šiuo atveju esamos betoninės aikštelės, konteinerio apačia gaminama iš analogiškos sienoms medžiagos, konteineris 5 cm įleidžiamas į betoninę aikštelę. Pastato vidinė dalis padengta temperatūrai atsparia, silikonu modifikuota, epoksidine danga. Kadangi polimerais modifikuoto bitumo gamybos procesas vyksta 200 °C, temperatūroje, ir bitumo žaliava tiekama karšta, įrenginys papildomai nešildomas, įrenginio vidaus temperatūra žiemą siekia 10 °C. Įrenginio vamzdynams numatytas elektrinis ir garo šildymas, kad vamzdynai neužšaltų šaltuoju metų periodu. Papildomai temperatūros palaikymui išankstinio sumaišymo talpos turi šiluminį apvalkalą, kuriame cirkuliuoja alyva iš boilerio, kuriame elektra pašildoma alyva iki reikiamos temperatūros ir padeda palaikyti proceso temperatūrą. Numatyta kad įrenginį aptarnaus 12 darbuotojų.

3.2.4. Konteinerio tipo įrenginio konstrukciniai duomenys

PMB gamybos konteinerio tipo įrenginys projektuojamas šalia esančio bitumo produkcijos įrenginio bei žaliavos rezervuarų. Konteinerio tipo įrenginio gabaritai plane 10 x 4, įrenginio ilgis 10 metrų, plotis 4 metrai, aukštis 3,350 m. Įrenginiui nereikia sanitarinių mazgų, bei darbuotojų poilsio patalpos, šios patalpos numatytos bitumo gamybos įrenginio esamoje operatorinėje, iš kurios nuotoliniu būdu bus galima aptarnauti polimerais modifikuoto bitumo įrenginį. Įrenginio konstrukcija:

- įrenginio / konteinerio sienos – anglinio plieno ASTM A516 70 plokščių su silikonu modifikuotos epoksidinės dervos sluoksniu;
- konteinerio / įrenginio išorė padengta poliuretanineis dažais atspariais drėgmei, aplinkos šalčiui ir karščiui;
- grindys – anglies plieno, dengtos epoksidine danga;
- įrenginys sudarytas iš 3 atskirų sekcijų;
- įrenginio / konteinerio kolonos ir kitos konstrukcijos, išskyrus vamzdynus pagamintos iš to anglinio plieno ASTM A516 70;
- vamzdynams naudojamas AISI 304 plienas;
- talpyklos pagamintos iš ASTM A36 anglinio plieno, iš vidaus padengtos antikorozinium sluoksniu.

Projektuojant gamybos įrenginį, įvertinamos naujos sprogstamosios zonos.

3.2.5. Įrenginio ir technologinių įrengimų bendri inžineriniai sprendimai

Įrenginyje nuosekliai atliekami šie darbai: polimerai, kurie atvežami sunkvežimiais, dideliuose maišuose, dozuojami į įrenginį, sraigtiniais transporteriais iš talpų į maišyklę, kur kartu maišomas

bitumas, sumaišyta žaliavos masė patenka į koloidinį malūną, kur veikiant didelei šlyčiai gaunamas polimerais modifikuotas bitumas. Gautas produktas atvamzdžiu tiekiamas į produkto talpas.

Pagrindiniai statinio ir sistemų sprendimai aprašomi žemiau:

1. Statinio sistemų sprendimai: elektros, vandens garai ir vanduo reikalingi įrenginio eksploatacijai tiekiami iš esamos vandens sistemos ir vandens garų sistemos. Elektros poreikis užtikrinamas iš esamos transformatorinės.
2. Higienos ir personalo buities sprendiniai: įrenginio darbuotojų poreikiams užtikrinti skiriamos dabartinio bitumo gamybos įrenginio operatorinės sanitarinės ir higienos patalpos, suprojektuotos pagal patalpų įrengimo reikalavimus. Šalia esančiame bitumo operatorinės pastate esančių sanitarinių mazgų pakanka užtikrinti personalo reikmes. Darbuotojams skirti tualetai ir poilsio kambariai įrengti mažesniu negu 75 metrų atstumu. Kambariai skirti persirengimui ir sanitariniai mazgai yra suskirstyti pagal lytis. Minimalus plotas asmeniui poilsio ir maitinimosi zonoje yra 1 m², bendra patalpos erdvė turi siekti bent 22 m². Konteinerio tipo įrenginio viršus pagamintas naudojant anglinį plieną, iš analogiškos medžiagos pagamintos grindys. Visa reikiama buitinė įranga darbuotojams suteikta bitumo operatorinės pastate.
3. Technologinės įrangos sprendiniai: nauja modifikuoto bitumo įranga statoma, jau esančiose erdvėse, siurbliai projektuojami statyti esamose siurblinėse, naujos talpyklos, kaip ir pagrindinis įrenginys-konteineris projektuojami ant betoninės aikštelės. Polimero ir priedų sandėliavimas taip pat atliekamas jau esamose, tam skirtose patalpose. Šilumokaitis ir reikalingas šildymo alyvos boileris statomi tam skirtoje patalpoje, siekiant sumažinti gaisro pavojų.

3.3. Bendrosios technologinės schemos aprašymas

Šiame poskyryje aprašoma polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginio schema, kuri vaizduojama priede Nr. 1 (žr. Priedas Nr. 1). Polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginio tikslas – pagaminti polimerais modifikuotą bitumą, įmaišant reikiamą polimero kiekį į bitumą pagamintą bitumo oksidacijos kolonose. Modifikuoto bitumo gamybą galima perskirti į bitumo produkcijos ir bitumo modifikavimo dalis.

3.3.1. Bitumo gamybos sekcijos aprašymas

Išcentrinis siurbliu S-1, (S-1R siurblys – rezervinis), bitumo žaliava, kurią sudaro VVF vakuuminis distiliatas, likutis iš katalizinio krekingo įrenginio, gudronas iš vakuuminės rektifikacijos, visbrekingo likučio vakuuminės rektifikacijos likutis, visbrekingo likučio vakuuminės rektifikacijos užtamsintas distiliatas ir vakuuminės rektifikacijos užtamsintas distiliatas, yra tiekiami į oro aušintuvą AO-1 arba rezervinį aušintuvą AO-1R, kur žaliavos temperatūra palaikoma apie 250 °C. Iš aušintuvų bloko žaliava tiekiami į talpas T-1, T-2. Talpose palaikoma temperatūra elektriniu šildymu, žaliava nuolat maišoma maišyklėmis esančiomis talpose. Išcentrinis siurbliu S-2 arba rezerviniu S-2R bitumo žaliava tiekiami į aušintuvą AO-2 (AO-2R), kur žaliava ataušinama iki 170 – 180 °C, tokios temperatūros žaliava tiekiami į oksidacijos kolonas K-1, K-2. Oksidacijos kolonos yra vertikalūs cilindrinis aparatas su praplatinta viršutine dalimi ir kolonos apačioje įmontuotu oro tiekimo skirstytuvu. Techninis oras tiekiamas iš bendragamyklinio oro tinklo į kolonos apačią, oro pulsacijoms sumažinti naudojama talpa T-9. Kolonos apačioje įrengtas skirstytuvas tolygiai paskirsto orą kolonos skerspjūvyje ir gerina kontaktą su oksiduojama žaliava. Oksidavimo kolona, kūgine pertvara perskirta į apatinę – reakcijos zoną, bei viršuje esančią separacijos zoną. Viršutinė kolonos dalis yra praplatinta dujų slėgiui mažinti ir separacijai gerinti. Sunkiųjų naftos frakcijų mišinys

transportuojamas į kolonų įvado zonas, kuriose žaliava susimaišo su produktais iš apatinės kolonos dalies. Kolonos viršutinėje dalyje sukondensuoti skysčio lašeliai iš separacijos zonos išoriniu pertekėjimo vamzdynu tiekiami atgal į apatinę kolonos dalį. Reakcijos zona visiškai užpildyta dujų-skysčio mišiniu. Į oksidavimo kolonų K-1, K-2 separacijos zonos viršų (dujinę dalį) oksidavimo dujoms atskiesti, sumažinant deguonies kiekį iki saugios koncentracijos, numatytas vandens garų tiekimas. Skilimo dujos iš kolonos viršaus patenka į separatorių SP-1 kuriame sukondensuojami vandens garai, kondensatas tiekiamas į pramoninę kanalizaciją. Nesukondensuotos dujos patenka į požeminę talpą SP-2, kartu su skilimo dujomis iš talpų T-1–T-8. Talpų slėgiui palaikyti, išpumpavimo metu, numatytas azoto tiekimas iš bendragamyklinio tinklo. Iš talpos SP-2 dujos tiekiamos į krosnį KR-1 sudeginti. Gautas oksiduotas bitumas tiekiamas krumpliaratiniu siurbliu S-3 (S-3R), į oro aušintuvą AO-3 (A-O3R), ataušinti gautą bitumą. Bitumas ataušinamas iki 170 °C, dalis bitumo gali būti gražinama kaip recirkuliuojamas atgal į kolonas K-1, K-2, tokiu būdu sušvelninamos pradinės temperatūrinės oksidavimo proceso sąlygos, – bei siekiant užtikrinti bitumo kokybę nustatomas reikiamas hidrodinaminis režimas kolonose. Be to, oksidavimo kolonose, tiekiant ataušintą recirkuliatą, valdomas egzoterminio, bitumo oksidacijos, proceso temperatūrinis režimas. Gautas bitumas tiekiamas į talpas T-3, T-4, kuriame atliekamas analogiškas maišymas ir elektrinis šildymas kaip talpose T-1, T-2. Gaminant bitumą kompaundavimo būdu – sumaišant oksiduotą bitumą su bitumo žaliava, numatytas atvamzdis bitumo žaliavai iš aušintuvų bloko AO-1, AO-2 tiekti tiesiai į talpas su bitumu T-3, T-4.

3.3.2. Polimerais modifikuoto bitumo gamybos sekcija

Bitumas iš talpų T-3, T-4, krumpliaratiniu siurbliu S-4 (S-4R) gali būti tiekiamas tiesiogiai į krovos estakadą, į autotransportą ant svarstyklių. Gaminant polimerais modifikuotą bitumą, bazinis bitumas iš talpų T-3, T-4, siurbliu S-4 (S-4R) tiekiamas į šilumokaitį TK-1, kuriame bitumas pašildomas iki 200 °C, ši temperatūra reikalinga užtikrinti tolygų polimero susmulkinimą ir paskirstymą, kaip šildalas naudojama šildymo alyva iš elektra šildomo boilerio B-1, tiekiamą išcentrinu siurbliu S-9 (S-9R). Toliau pašildyta žaliava tiekiamą į maišyklės M-1, M-2, kur bitumas sumaišomas su polimerais ir priedais, maišyklės dirba pakaitomis arba kartu. Jeigu reikalinga, maišyklėse temperatūrai palaikyti galima tiekti šildymo alyvą iš boilerio siurbliais S-10, S-11. Bitumo, polimerų ir priedų mišinys iš maišyklių, krumpliaratiniais siurbliais S-5, S-6, tiekiamas į koloidinį malūną, KM-1, kuriame vykdomas bitumo didelės šlyties sumaišymas su polimerais ir priedais. Polimerai ir priedai į maišyklės tiekiami transporteriais TR-1, TR-2, TR-3 iš talpų P-1–P-3, gamybos linijoje numatyta galimybė sumaišyti tris skirtingus priedus, įskaitant polimerą, į bitumą. Į talpas P-1–P-3 polimerai kraunami dideliais maišais. Koloidiniame malūne gautas polimerais modifikuotas bitumas, krumpliaratiniu siurbliu S-7 (S-7R) tiekiamas į brandintuvus BR-1, BR-2, BR-3. Brandintuvuose atliekamas papildomas sumaišymas, taip užtikrinamas vienalytis ir stabilus bitumo, polimero ir sieros priedo mišinys. Galutinis produktas iš brandintuvų, krumpliaratiniu siurbliu S-8 (S-8R) tiekiamas į talpas T-5, T-6, T-7, T-8, produkto laikymo temperatūra – 180 °C. Yra numatyta vamzdyno atkarpa iš brandintuvų produktą tiekti atgal į bazinio bitumo talpas, esant produkto kokybės neatitikimui. Iš talpų T-5–T-8 PMB tiekiamas į krovos estakadą, autotransportą ant svarstyklių.

3.4. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

Šiame skyriuje aprašomas polimerais modifikuoto bitumo gamybos ekonominis pagrindimas. Aprašyti projekto gamybos kaštai, produkto kaina. Apskaičiuoti ir susisteminti pagrindiniai ekonominiai projekto parametrai, reikalingi nustatyti projekto ekonominę naudą.

17 lentelėje (žr. 17 lentelę) pateiktas įrenginio veikimo planas.

17 lentelė. Įrenginio eksploatacijos planas metams

Parametras	Vienetai	Vertė
Dienų skaičius, eksploatuojant įrenginį, per metus	Dienos	365
Kapitalinio remonto sustojimas, vykdomas kartą per 5 metus	Kartai	1
Kapitalinio remonto trukmė	Dienos	30
Įrenginio sustabdymai per metus	Dienos	25
Įrenginio eksploatacijos dienų skaičius per metus	Dienos	334
Įrenginio eksploatacijos valandų skaičius per metus	Valandos	8016

Priimta, kad įrenginys stoja kapitaliniam remontui kartą per 5 metus, remonto trukmė 30 dienų, išskirstyta pamečiui. Įrenginio planuotiems ir neplanuotiems stabdymams skirta 25 dienos.

3.4.1. Projektuojamos technologijos įrengimų ir jų statybos kaštai

Pagal PMB gamybos technologinę schemą, pateiktą priede 1, nustatoma įranga reikalinga modifikuoto bitumo gamybos technologijai, ir šios įrangos kaina, duomenys pateikti 18 lentelėje (žr. 18 lentelę).

18 lentelė. Kapitalinės išlaidos įrangai įsigyti

Įrangos pavadinimas	Kiekis, vienetai	Vieneto kaina, mln. Eur	Kaina, mln. Eur	Procentinė kainos dalis, %
Polimero sraigtinis transporteris ir talpa	2	0,020	0,040	0,761
Priedų sraigtinis transporteris ir talpa	1	0,010	0,010	0,181
Alyvos siurbliai	4	0,010	0,040	0,761
Produkto talpyklos	4	0,600	2,400	45,688
Krumpliaratiniai produkto siurbliai	6	0,080	0,480	9,138
Brandintuvai	3	0,200	0,600	11,422
Koloidinis malūnas	1	0,820	0,820	15,610
Maišyklės	2	0,080	0,160	3,046
Alyvos boileris	1	0,300	0,300	5,711
Apvalkalinis šilumokaitis	1	0,200	0,200	3,807
Filtrai	3	0,005	0,015	0,286
Vamzdynai	-	0,080	0,080	1,523
Sklendės su elektros pavara	31	0,004	0,109	2,065
Viso			5,253	100

Toliau atliekami skaičiavimai nustatyti įrengimų statymo kaštai, įvertinama, jog sklypas, kuriame bus statomi nauji įrengimai, jau priklauso įmonei, todėl į kaštus sklypo kaina nėra įtraukiama. Skaičiavimų rezultatai pateikti 19 lentelėje (žr. 19 lentelę).

19 lentelė. Įrangos statybos kaštai

Reikalingi atlikti darbai ir kitos išlaidos	Kaina, mln. Eur	Procentinė kaštų dalis, %
Technologinės įrangos įrengimas	1,31	53,25
Statybų aikštelės įrengimas	0,50	20,33
Esamos elektros sistemos praplėtimas ir prijungimas prie naujos įrangos	0,20	8,13
Vandens sistemos prijungimas ir praplėtimas	0,20	8,13
Alyvos šildymo sistemos pastatymas	0,20	8,13
Polimerų ir priedų sandėliavimo vietos paruošimas	0,05	2,03
Viso	2,46	100

Statybos ir įrangos kaštų suma pateikta 20 lentelėje (žr. 20 lentelę).

20 lentelė. Įrangos bendri kaštai

Reikalingi atlikti darbai / įranga	Kaina, mln. Eur
Įrangos kaina	5,253
Statybos kaštai	2,460
Bendri statybos ir įrangos kaštai	7,713

3.4.1.1. Tiesioginiai gamybos kaštai

21 lentelėje (žr. 21 lentelę) pateikti medžiagų kiekiai ir kaštai, reikalingi produktui pagaminti. Numatyta, kad polimerais modifikuoto bitumo įrenginys kasmet pagamina 64000 tonų tikslinio produkto – modifikuoto bitumo. Kaštai skaičiuojami pirmiems metams, kitų metų kaštai perskaičiuojami įvertinant infliaciją.

21 lentelė. Žaliavų, reikalingų produktui gaminti, planas

Žaliava	Reikalingas kiekis per metus, t	Žaliavos kaina, Eur / tonai	Žaliavos kiekis, pagaminti tonai tikslinio produkto, tonomis	Kaina mln. Eur / metus	Kaštai, vienai tonai produkto pagaminti, Eur / t
VVF Vakuuminis distiliatas	1292,929	250	0,020	0,323	5,051
Katalizinio krekingo likutis	484,848	230	0,008	0,112	1,742
Gudronas	49454,545	300	0,773	14,836	231,818
VVF Vakuuminis likutis	3555,556	230	0,056	0,818	12,778
Užtamsintas distiliatas iš VVF	484,848	240	0,008	0,116	1,818
Užtamsintas distiliatas iš VDU	323,232	270	0,005	0,087	1,364
Techninis oras	3878,788	20	0,061	0,078	1,212
SBS polimeras	4525,253	1850	0,071	8,372	130,808
Granuluota siera	646,465	300	0,010	0,194	3,030
Viso				24,936	389,621

Procesams reikalingas energijos kiekis pateiktas 22 lentelėje (žr. 22 lentelę). Elektros sąnaudos rezerviniams alyvos ir produkto siurbliams, taip pat siurbliams dirbantiems pakaitomis nevertinamos kadangi įrenginiai nedirba vienu metu.

22 lentelė. Elektros energijos išlaidos

Įrenginiai	Įrenginių skaičius, vnt.	Reikalinga galia kW, vienetai	Darbo valandų skaičius	Suminis elektros kiekis kWh metams	1 kWh elektros kaina	Kaštai, mln. Eur / metus
Reikalingas elektros energijos kiekis boileriye pašildyti šildymo alyvą	1	200,000	8016	1603200	0,100	0,160
Talpyklų šildymo elementai	4	10,000	8016	320640	0,100	0,032
Brandintuvų šildymas	3	6,000	8016	144288	0,100	0,014
Talpų maišiklių motorai	4	15,000	8016	480960	0,100	0,048
Brandintuvų maišiklių motorai	3	22,000	8016	529056	0,100	0,053
Produkto siurblių motorai	4	5,500	8016	176352	0,100	0,018
Alyvos siurblių motorai	3	4	8016	96192	0,100	0,010
Sraigtnių polimero transporterių motorai	2	5,500	8016	88176	0,100	0,009
Sraigtnio sieros transporterio motoras	1	2,500	8016	20040	0,100	0,002
Elektros kiekis apšvietimui	-	15,000	8016	120240	0,100	0,012
Koloidinio malūno motoras	1	160,000	8016	1282560	0,100	0,128
Maišyklių motorai	2	11,000	8016	176352	0,100	0,018
Viso						0,504

Išlaidos vandens ir vandens garų tiekimui pateikiamos 23 lentelėje (žr. 23 lentelę).

23 lentelė. Vandens, vandens garo suvartojimas ir išlaidos

Vandens ir garo išlaidos	Vandens sunaudojimas per dieną, m ³ / dieną	Vidutinis metinis kiekis, m ³ / metus	Vandens kaina, m ³ / Eur	Kaštai vandeniui Eur / metus
Vandens garas	1,936	646,465	18,000	11636,364
Aušinimo vanduo	50	16700	0,350	5845
Viso				17481,364

Polimerais modifikuoto bitumo įrenginyje, slėgiui palaikyti talpyklose tiekiamas azotas iš bendragamyklinės sistemos. Kaštai dėl azoto pateikti 24 lentelėje (žr. 24 lentelę).

24 lentelė. Azoto suvartojimas ir išlaidos

Procesas	Kiekis, kg / metus	Kaštai azotui Eur / kg	Metinės išlaidos azotui Eur / metus
Vamzdynų valymams ir slėgio palaikymui talpose	12000	1,05	12600

Įrenginiui dirbant ir nedirbant mokamas mokeskis darbuotojams, išlaidos darbuotojams pateiktos 25 lentelėje (žr. 25 lentelę).

25 lentelė. Išlaidos įrenginio darbuotojams

Profesija	Darbuotojų skaičius / mėn	Darbuotojo mėnesinis atlyginimas (Bruto) Eur / mėn	Mėnesinis vieno darbuotojo atlyginimas, Eur / mėn	Atsiskaitymai socialiniam draudimui, Eur / mėn	Išlaidos darbuotojams, Eur / mėn	Išlaidos darbuotojams, Eur / metus
Operatorius	7	2200	15400	272,58	15672,58	188070,96
Vyresnysis operatorius	3	2800	8400	148,68	8548,68	102584,16
Įrenginio viršininkas	1	3400	3400	60,18	3460,18	41522,16
Inžinierius	1	3000	3000	53,10	3053,10	36637,20
Viso			30200	534,54	30734,54	368814,48

3.4.1.2. Netiesioginiai gamybos kaštai

Projekte priimama sąlyga, jog polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginys bus stabdomas kas 5 metus, darbuotojų, susijusių su įrenginio kapitaliniu remontu, darbo užmokesčio skaičiavimas pateikiamas 26 lentelėje (žr. 26 lentelę).

26 lentelė. Kaštai kapitaliniam remontui

Įrenginio eksploatacijos metų skaičius	Priežiūrai, remontui reikalingų darbuotojų skaičius / mėn	Darbuotojo mėnesinis atlyginimas (Bruto) Eur / mėn	Mėnesinis darbuotojo užmokestis, Eur/mėn	Atsiskaitymai socialiniam draudimui, Eur/mėn	Išlaidos darbuotojams, Eur / mėn	Išlaidos darbuotojams, Eur / metus
5	5	2500,00	12500	221	12721	152655

Kadangi priimama, jog įrenginys eksploatuojamas su jau esama bitumo gamybos įrenginio operatorine, neskaičiuojami kaštai už šiluminę energiją ir apšvietimą, tačiau skaičiuojami kaštai buičiai už vandens suvartojimą. 27 lentelėje (žr. 27 lentelę) pateikiami duomenys dėl išlaidų už karšto ir šalto buitinio vandens suvartojimą.

27 lentelė. Išlaidos už buitinio vandens suvartojimą

Išlaidų pavadinimas	Paros suvartojimas, l/1 darbuotojui,	Metinis kiekis, m ³	Kaina, Eur / 1 m ³ vandens	Kaštai metams, tūkst. Eur
Išlaidos už vandenį (šaltą)	40	160,32	0,9	0,144
Išlaidos už vandenį (karštą)	40	160,32	5,9	0,946
Viso:	80		-	1,090
Eksploatacinės išlaidos	-	-	-	20
Iš viso:	80	320,64	-	21,090

Netiesioginiams gamybos kaštams priskiriamas įrangos nusidėvėjimas, kuris skaičiuojamas penkeriems metams, tiesiniu metodu, priimtas naudingas įrengimo tarnavimo laikas – 25 metai.

Ilgalaikio turto likvidacinė vertė priimta 10 % nuo pradinės vertės. 28 lentelėje (žr. 28 lentelę) pateikti nusidėvėjimo (amortizacijos) skaičiavimai.

28 lentelė. Nusidėvėjimo duomenys

Ilgalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, mln. Eur	Normatyvinė eksploatavimo trukmė, metais	Nusidėvėjimo suma, mln. Eur metams					Likutinė vertė, mln. Eur
			1	2	3	4	5	
Bitumo su polimeriniais priedais gamybos įranga	7,713	25	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278	6,325

3.4.2. Veiklos kaštai

Sąnaudos susiejusios su veikla pateikiamos 29 lentelėje (žr. 29 lentelę).

29 lentelė. Veiklos kaštai

Išlaidos pobūdis	Suma, tūkst. Eur/metus
Produktų išvežimo sąnaudos	120
Energijos sąnaudos	4
Administracinės sąnaudos	10
VSD, GF ir IDIF	0,177
Darbo saugos sąnaudos	3
Viso	137,177

Visos veiklos sąnaudos yra mažesnės negu 5 % gamybos kaštų, todėl nuspręsta taikyti 5 % bendrų gamybos kaštų sumą (1299,56 tūkst. Eur) kaip veiklos kaštų apimtį.

3.4.3. Gaminių kainos skaičiavimas

Pagal nustatytus gamybos, veiklos kaštus visi rezultatai susisteminami 30 lentelėje (žr. 30 lentelę), taip pat nustatoma produkto kaina.

30 lentelė. Gaminių kainos skaičiavimo suvestinė

Kaštų rūšys, komponentai	Gaminys
	Polimerais modifikuotas bitumas
Kaštai už žaliavas, tūkst. Eur/metus	24935,76
Vandens ir garo išlaidos, tūkst. Eur/metus	17,48
Kaštai už elektrą, tūkst. Eur/metus	503,81
Kaštai už azotą, tūkst. Eur/metus	12,60
Darbo užmokestis, tūkst. Eur/metus	368,81
Veiklos kaštai, tūkst. Eur/metus	1299,56
Kiti kaštai, tūkst. Eur/metus	21,09
Gamybos apimtis, t/metus	64000
Gamybinė savikaina, Eur/t	403,73
Pilnoji savikaina, Eur/t	424,36

Pelno norma	%	25
	Eur	106,11
Pardavimo kaina, Eur/t		530,45

3.4.4. Projekto pelnas

Sudarant pelno ataskaitą priimtas 17 % pelno mokestis. Projekto prognozei priimta kad, atsižvelgiant į infliaciją, produkcijos pajamos, gamybos kaštai ir sąnaudos kasmet didėja po 2,3 %. Duomenys pateikti 31 lentelėje (žr. 31 lentelę).

31 lentelė. Projekto pelno (nuostolio) ataskaita

Rodiklis, mln. Eur	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
Pardavimo apimtis	33,949	34,730	35,528	36,346	37,182
Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	25,838	26,433	27,041	27,663	28,299
Bendras pelnas	8,110	8,297	8,488	8,683	8,883
Veiklos sąnaudos	1,321	1,351	1,382	1,414	1,446
Veiklos pelnas	6,790	6,946	7,106	7,269	7,436
Pelnas prieš apmokestinimą	6,790	6,946	7,106	7,269	7,436
Pelno mokestis	1,154	1,181	1,208	1,236	1,264
Grynasis pelnas (nuostolis)	5,636	5,765	5,898	6,033	6,172

3.4.5. Finansinės būklės pakeitimų (pinigų srautų) ataskaita

Prieš sudarant finansinės būklės ataskaitą pirmiau atliekami trumpalaikio turto skaičiavimai, kur priimama, kad nuliniiais projekto įgyvendinimo metais, pinigų suma sudaro 55 % pirmų metų apyvartinių lėšų sumos. Apyvartos periodas priimtas – 45 dienos, 32 lentelėje (žr. 32 lentelę) pateiktas apyvartinių lėšų skaičiavimas.

32 lentelė. Trumpalaikio turto (apyvartinių lėšų) vertės nustatymas

Rodiklis, mln. Eur	Projekto gyvavimo metai					
	0	1	2	3	4	5
Gamybos kaštai	-	25,838	26,433	27,041	27,663	28,299
Apyvartinių lėšų metinis poreikis	-	3,230	3,304	3,380	3,458	3,537
Apyvartinių lėšų papildomas poreikis	-	1,453	0,074	0,076	0,078	0,080
Apyvartinės lėšos	1,776	3,230	3,304	3,380	3,458	3,537

Finansų būklės ataskaitoje pateikiami išleisti ir gaunami pinigų srautai per tam tikrą laiką, vertinant įmonės veiklos ir finansinės investicinės veiklos. Pinigų srautams apskaičiuoti taikomas netiesioginis būdas, sąnaudos, amortizacija pridedami prie grynojo pelno, iš gauto srauto atimant papildomas investicijas ir apyvartines lėšas. Finansų ataskaita pateikta 33 lentelėje (žr. 33 lentelę).

33 lentelė. Finansinės būklės pakitimų ataskaita

Eil. Nr	Rodikliai	Projekto gyvavimo metai					
		0	1	2	3	4	5
I	Pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos						
1.1	Grynasis pelnas (nuostolis)	0	5,636	5,765	5,898	6,033	6,172
1.2	Nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudos	0	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278
1.3	Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą	1,776	3,230	3,304	3,380	3,458	3,537
1.4	Finansinės veiklos sąnaudų eliminavimas	0	0	0	0	0	0
	Grynieji pinigų srautai iš įmonės įprastinės veiklos	-1,776	2,128	2,183	2,240	2,298	2,357
II	Pinigų srautai iš investicinės veiklos	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2.1	Ilgalaikio turto perleidimas (įsigijimas)	7,713	0,000	0,000	0,000	0,000	6,325
	Grynieji pinigų srautai iš investicinės veiklos	-7,713	0,000	0,000	0,000	0,000	6,325
III	Grynieji metiniai pinigų srautai	-9,489	2,128	2,183	2,240	2,298	8,682

Toliau atliekami skaičiavimai, nustatant diskontuotus pinigų srautus ir pagrindinius ekonominius projekto rodiklius.

3.4.6. Diskontuoti pinigų srautai

Skaičiuojant diskontuotus pinigų srautus priimtos prielaidos, jog nuosavas kapitalas yra 100 %, akcininkai siekia 8 % grąžos. Priimtos prielaidos dėl įmonės strategijos, stengiantis pasiekti žaliajo kurso tikslus. Diskontuojant projekto pinigų srautus bus naudojama diskonto norma 8 %. Projekto pinigų srautai pateikti 34 lentelėje (žr. 34 lentelę).

34 lentelė. Projekto pinigų srautai

Metai	Paprastieji grynieji pinigų srautai, mln. Eur		Diskontuoti grynieji pinigų srautai, mln. Eur	
	Metiniai	Bendri	Metiniai	Bendri
0	-9,489	-9,489	-9,489	-9,489
1	2,128	-7,361	1,970	-7,519
2	2,183	-5,178	1,872	-5,647
3	2,240	-2,938	1,778	-3,869
4	2,298	-0,640	1,689	-2,180
5	8,682	8,042	5,909	3,729

3.4.7. Ekonominių rodiklių nustatymas

Pagal diskontuotų pinigų srautų skaičiavimus ir pateiktus duomenis lentelėje aukščiau, nustatomi šie ekonominiai parametrai:

- atsipirkimo laikotarpis (T);
- grynoji esamoji vertė (GEV);
- vidinė grąžos (pelno) norma (*IRR*);

- pelningumo indeksas (PI).

3.4.7.1. Atsipirkimo periodo nustatymas

Laikotarpis per kurį diskontuoti projekto grynujų pinigų srautai padengia investiciją vadinamas atsipirkimo periodu T.

Atsipirkimo periodas randamas pagal formulę:

$$T = T_{t-1} - \frac{BGPS_{t-1}}{GPS_t} = 4 + \left| -\frac{2,180}{5,909} \right| = 4,369 \text{ metai};$$

čia: T_{t-1} – metai prieš visišką išmokų padengimą, $BGPS_{t-1}$ – bendras grynujų pinigų srautas prieš visišką išmokų padengimą, GPS_t – visiško padengimo metų grynasis pinigų srautas.

Pagal apskaičiuotas vertes, atsipirkimo periodas yra mažesnis už 5 metus, kurie rodo projekto įgyvendinimo laikotarpį, $T < 5$, tai rodo, jog projektas priimtinas.

3.4.7.2. Grynosios esamosios vertės nustatymas

Sudedant pagal kaštus diskontuotus grynuosius pinigų srautus (GPS), nustatome grynąją esamąją vertę (GEV). GEV – nuo nulinių metų skaičiuojama grynujų pinigų srautų suma.

$$GEV = GPS_0 + \sum_{t=1}^n \frac{GPS_t}{(1 + KK)^t} = 3,729 \text{ mln. Eur};$$

čia: n – metai, t – metų skaičius, KK - kapitalo kaina/diskonto norma.

Kai $GPS > 0$, projektas yra atsiperkantis ir sukurs įmonei 3,729 mln. Eur turto.

3.4.7.3. Vidinės grąžos normos (IRR) apskaičiavimas

Vidinė pelno (grąžos) norma (angl. *IRR*) - aprašo diskonto normą, su kuria projekto būsimųjų grynujų pinigų įplaukų dabartinė vertė yra lygi projekto būsimų išlaidų dabartinei vertei. Vidinės grąžos normos išraiška:

$$GEV = 0 = \sum_{t=0}^n \frac{GPS_t}{(1 + IRR)^t}$$

Naudojantis programa Microsoft Excel vidinė grąžos norma atitinka 18,83 %.

3.4.7.4. Pelningumo indekso PI skaičiavimas

Pelningumo indeksas nustatomas kaip diskontuotų įplaukų (teigiamų GPS) sumos santykis su diskontuotų išmokų (neigiamų GPS) suma, įskaitant ir pradinę investicijų sumą („0“ metų GPS)

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n (+)GPS_t}{\sum_{t=1}^n (-)GPS_t} = 1,39;$$

čia: (+) GPS – diskontuotų teigiamų GPS suma, (-) GPS – diskontuotų neigiamų GPS suma.

Apskaičiuotas pelningumo indeksas didesnis už 1 rodo, jog projektas yra atsiperkantis.

Ekonominiai rodikliai susisteminti 35 lentelėje (žr. 35 lentelę).

35 lentelė. Projekto ekonominiai rodikliai

Ekonominis rodiklis	Vienetai	Reikšmė
Atsipirkimo laikotarpis, T	Metai	4,369
Grynoji esamoji vertė, GEV	mln. Eur	3,729
Vidinė pelno norma, IRR	%	18,83
Pelningumo indeksas, PI	-	1,39

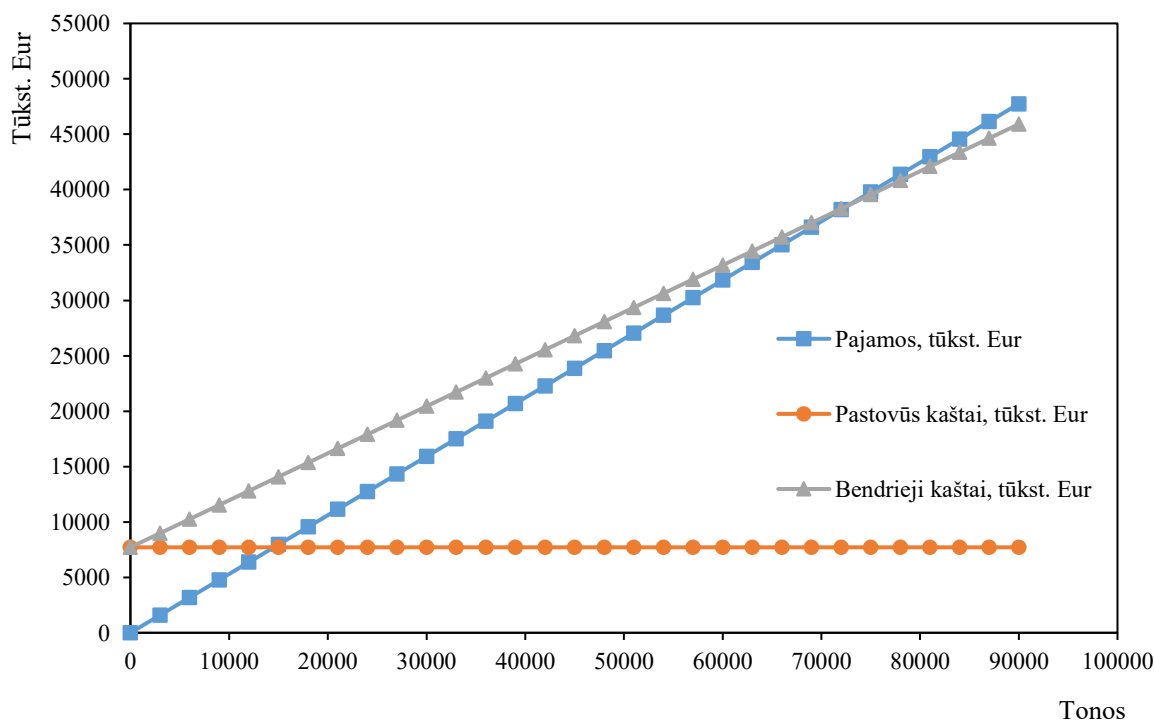
3.4.7.5. Lūžio taško skaičiavimas

Šioje darbo dalyje apskaičiuojamas lūžio taškas, kuris parodo kiek reikia pagaminti tam tikro produkto kad įmonės veikla būtų pelninga. Lūžio tašku laikomas toks produkcijos ir pardavimų kiekis, su kuriuo bendri kaštai lygūs bendroms projekto pajamoms, įmonės pelningumas yra nulinis. Sudarius projekto lūžio taško grafiką galima numatyti, kokios turi būti gamybos ir pardavimų apimtys, kad veikla taptų pelninga. Lūžio taško gamybos apimtis nustatoma naudojantis formulę:

$$B_{Lj} = \frac{PK_j}{(C_j - VKK_j)} = \frac{7713000}{(530 - 424)} = 72702 \text{ tonų};$$

čia: B_{Lj} - j-ojo gaminio pardavimo apimtis lūžio taške, vnt; PK_j - j-ajam gaminiui priskiriama pastoviujų kaštų suma, Eur; C_j - j-ojo gaminio vieneto kaina, Eur; VKK_j - j-ojo gaminio vidutiniai kintamieji kaštai (gamybinė savikaina), Eur.

Pagal apskaičiuotus duomenis braižomas lūžio rodiklio grafikas vaizduojamas paveiksle 10 (10 pav.).



10 pav. Lūžio taško vaizdavimas

3.4.8. Ekonominiai projekto rodikliai

Išlaidų ir finansavimo šaltiniai susisteminti nurodyti 36 lentelėje (žr. 36 lentelę).

36 lentelė. Projekto kaštai ir finansavimo šaltiniai

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	Mln. Eur	Struktūra	Mln. Eur
Ilgalaikiam turtui įsigyti, (įrengimai, pastatai ir pan.)	5,253	Akcininkų nuosavybė; akcinis kapitalas, rezervai	9,489
Trumpalaikiam turtui įsigyti, tarp jų žaliavoms ir pagrindinėms medžiagoms	1,776	Paskolos	0
Statybos, montavimo darbų kaštai	2,460		
Viso	9,489	Viso	9,489

37 lentelėje (žr. 37 lentelę) pateikiama pagrindinių ekonominių parametru ataskaita.

37 lentelė. Ekonominių rodiklių ataskaita

Pagrindinių ekonominių rodiklių ataskaita	Projektas (3 metai)
1. Produkcijos pardavimo apimtis, t/metus	
Polimerais modifikuotas bitumas	64000
2. Pardavimų pajamos, mln. Eur	35,528
3. Įmonės personalas, žmonėmis	12
4. Darbuotojų našumas, mln. Eur	2,961
5. Vidutinis metinis darbo užmokestis, Eur/metus	30200
6. Gamybos kaštai, mln. Eur	27,041
7. Gaminio pilnoji savikaina, Eur/t	424,361
8. Grynasis pelnas, mln. Eur	5,636
9. Investicijų apimtis, mln. Eur	-9,489
10. Bendras pelningumas, %	23,89
11. Grynasis pelningumas, %	15,86
12. Investicijų grąža (ROI) %	19,56
13. Veiklos rentabilumas, %	19,83
14. Apyvartų skaičius per metus	8
15. Apyvartos trukmė, dienomis	45
16. Produkcijos imlumas apyvartinėms lėšoms, Eur	0,095
17. Projekto kapitalo kaštai, %	8
18. Projekto investicijų diskontuotas atsipirkimo laikas, metais	4,369
19. Projekto grynoji esamoji vertė, mln. Eur	3,729
20. Vidinė pelno norma, %	18,83%
21. Modifikuota pelno norma, %	15,40%
22. Pelningumo indeksas	1,39

3.5. Aplinkosauginis vertinimas

Šiame skyriuje aprašomas polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginyje naudojamų žaliavų, pagaminamų produktų ir gamybos proceso įtaka aplinkai. Aplinkosauginis vertinimas atliekamas naujai polimerais modifikuoto bitumo gamybos linijai [38, 39, 40, 41, 42].

3.5.1. Proceso bendri duomenys

Polimerais modifikuoto bitumo gamyboje naudojamos žaliavos: vakuuminės rektifikacijos, katalizinio krekingo, visbrekingo ir visbrekingo vakuuminės rektifikacijos procesų frakcijos, stireno-butadieno polimeras, granuliuota siera. Per metus pagaminama 64000 tonų polimerais modifikuoto bitumo. 38 lentelėje (žr. 38 lentelę) pateiktos proceso žaliavos ir jų įtaka aplinkai [33].

38 lentelė. Polimerais modifikuoto bitumo gamybos žaliavos ir jų poveikis žmogui bei aplinkai

Žaliava	UN kodas	Reikalingas kiekis per metus, t	Cheminės medžiagos klasifikavimas		
			Kategorija	Pavojaus nuoroda	Pavojingumo frazės
VVF Vakuuminis distiliatas	3257	1292,929	Pavojinga	Sukelia odos ir akių uždegiminius procesus, dirginimą, labai toksiška vandens ekosistemoms	H315, H319, H411
Katalizinio krekingo likutis	3257	484,848	Pavojinga	Sukelia odos ir akių uždegiminius procesus, dirginimą, labai toksiška vandens ekosistemoms	H315, H319, H411
Gudronas	3257	49454,545	Pavojinga	Sukelia odos ir akių uždegiminius procesus, dirginimą, labai toksiška vandens ekosistemoms	H315, H319, H411
VVF Vakuuminis likutis	3257	3555,556	Pavojinga	Sukelia odos ir akių uždegiminius procesus, dirginimą, labai toksiška vandens ekosistemoms	H315, H319, H411
Užtamsintas distiliatas iš VVF	3257	484,848	Pavojinga	Sukelia odos ir akių uždegiminius procesus, dirginimą, labai toksiška vandens ekosistemoms	H315, H319, H411
Užtamsintas distiliatas iš VDU	3257	323,232	Pavojinga	Sukelia odos ir akių uždegiminius procesus, dirginimą, labai toksiška vandens ekosistemoms.	H315, H319, H411
Techninis oras	1002	3878,788	Nepavojinga	-	-
SBS polimerai	-	3878,788	Nepavojinga	-	-
Granuliuota siera	1350	646,465	Pavojinga	Gali sukelti odos arba smarkų akių dirginimą	H315, H319
Vandens garas	-	646,465	Nepavojinga	-	-

Pagal 38 lentelės duomenis, didžioji dalis žaliavų yra pavojingos, todėl yra sandėliuojamos specialiose tam pritaikytose talpyklose. Naftos perdirbimo procesų sunkiosios frakcijos, naudojamos bitumo gamyboje, sandėliuojamos tarpinėse talpyklose, granuliuota siera, tam skirtose talpose. Vandens garas į įrenginį, kaip ir techninis oras yra tiekiamas iš gamykloje esančių vandens garo ir techninio oro tinklų. SBS polimerai, sandėliuojami tam skirtose vietose, dideliuose maišuose.

Polimerais modifikuoto bitumo gamyboje reikalinga palaikyti reikiamą temperatūrą visuose įrenginiuose, tam naudojama elektros energija. Taip pat reikalinga užtikrinti visų įrenginių – talpyklų maišyklių, koloidinio malūno, siurblių darbą ir apšvietimą, tam naudojama elektros energija, kuri tiekama iš bendro elektros tinklo arba bitumo gamybos įrenginio transformatorinės. Šilumos ir elektros energijos kiekiai, reikalingi metinei, 64000 tonų produkto, gamybai nurodyti 39 lentelėje (žr. 39 lentelę).

39 lentelė. Polimerais modifikuoto bitumo gamybai reikalingas elektros suvartojimas

Energijos ištekliai	Matavimo vienetai	Metinis suvartojimas	Energijos šaltinis
Elektros energija	kWh	5038056	Perdirbimo gamyklos energijos tinklas, šiluminė elektrinė, saulės elektrinė

Polimerais modifikuoto bitumo linijos, žaliavų reikalingų polimerais modifikuoto bitumo gamybai, gabenimo ir laikymo planas pateiktas 40 lentelėje (žr. 40 lentelę)

40 lentelė. Produkto gamybai reikalingos žaliavos transportavimas ir sandėliavimas

Proceso žaliava	Žaliavos transportavimo būdas	Sandėliavimo kiekis, t	Sandėliavimo tipas
VVF Vakuuminis distiliatas	Vamzdynais	100	Sandėliavimui skirtos talpyklos
Katalizinio krekingo likutis	Vamzdynais	100	Sandėliavimui skirtos talpyklos
Gudronas	Vamzdynais	1000	Sandėliavimui skirtos talpyklos
VVF Vakuuminis likutis	Vamzdynais	500	Sandėliavimui skirtos talpyklos
Užtamsintas distiliatas iš VVF	Vamzdynais	100	Sandėliavimui skirtos talpyklos
Užtamsintas distiliatas iš VDU	Vamzdynais	100	Sandėliavimui skirtos talpyklos
Techninis oras	Vamzdynais	150	Bendragamyklinė sistema
SBS polimerai	Sunkiųjų autotransportu	120	Sandėliavimui skirta saugykla, polimerai sandėliuojami dideliuose maišuose
Granuliuota siera	Autotransportu	150	Sandėliavimui skirta saugykla
Vandens garas	Vamzdynais	125	Bendragamyklinė sistema, vandens rezervuarai

Polimerais modifikuoto bitumo gamyboje gautų produktų ir šalutinių produktų poveikis aplinkai pateiktas 41 lentelėje (žr. 41 lentelę).

41 lentelė. Polimerais modifikuoto bitumo gamybos produktai ir jų poveikis žmogui bei aplinkai

Produktai	UN kodas	Pagamintas kiekis per metus, t	Cheminės medžiagos klasifikavimas		
			Kategorija	Pavojaus nuoroda	Pavojingumo frazės
Polimerais modifikuotas bitumas	3257	64000	Pavojinga	Sukelia odos ir akių uždegiminius procesus, dirginimą, labai toksiška vandens ekosistemoms	H315, H319, H411
Skilimo dujos	-	646,465	Pavojinga	Sukelia odos ir akių uždegiminius procesus, dirginimą, labai toksiška vandens ekosistemoms	H315, H319, H332, H411,
Vandens kondensatas	-	646,465	Nepavojinga	Labai toksiška vandens ekosistemoms.	H413

Pagal produktų savybes pateiktas lentelėje aukščiau, matyti, jog esant netinkamam produkcijos sandėliavimui ir utilizavimui gali kilti pavojus aplinkai, aplinkui esantiems asmenims, taip pat patekus į vandenį, gali būti pakenkta vandens organizmams.

42 lentelėje (žr. 42 lentelę) pateiktas privalomas produktų sandėliavimas ir transportavimas.

42 lentelė. PMB gamybos produktų sandėliavimo ir transportavimo planas

Proceso žaliava	Žaliavos transportavimo būdas	Sandėliavimo kiekis, t	Sandėliavimo tipas
Polimerais modifikuotas bitumas	Vamzdynais	800	Sandėliavimui skirtos talpyklos
Skilimo dujos	Vamzdynais	80	Skilimo dujos tiekiamos į požeminę talpą iš kurios tiekiamos į krosnį sudeginti
Vandens kondensatas	Vamzdynais	500	Bendragamyklinė kanalizacija

3.5.2. Atliekų tvarkymas

Polimerais modifikuoto bitumo gamyboje atliekos gali būti skirstomos į:

- proceso atliekas, susidarančias gamybos metu, tai yra šalutiniai proceso produktai, skilimo dujos ir vandens kondensatas;
- įrenginio priežiūros ir remonto atliekos – keičiami filtrai, tepaluoti skudurai, matavimo, ir kitų prietaisų atliekos;
- metalų atliekos atliekant vamzdynų aptarnavimą ir rekonstrukcijas;
- buitinės atliekos, susidarančios operatorinėje.

Visos atliekos iš operatorinės yra rūšiuojamos, sandėliuojamos pagal reikalavimus ir išvežamos į tam skirtus gamyklos punktus. Esant atliekų iš periodinių įrangos – šilumokaičių, koloidinio malūno, talpų remontų, tepaluoti audiniai ir metalinės atliekos bei panaudoti siurblių filtrai yra surenkami ir

rūšiuojami [34, 35, 36]. Įrenginių periodinės priežiūros ir buitinių atliekų rūšiavimo planas pateikiamas 43 lentelėje (žr. 43 lentelę).

43 lentelė. Atliekų tvarkymo planas

Procesas	Atlieka, kodas	Metinis kiekis, t	Agregatinė būseną	Kategorija	Sandėlavimo vieta	Maksimalus sandėliuojamas kiekis, t	Tvarkymo būdas
Buitinės atliekos	Komunalinės atliekos 20 03 01	5	Kieta	Nepavojinga	Konteineryje	0,3	D13
Įrenginių periodinė priežiūra	Metalinės atliekos 12 01 02	0,1	Kieta	Nepavojinga	Konteineryje	0,02	R4
	Filtrai 15 02 02	0,3	Kieta	Nepavojinga	Tam skirtos specialios talpos / konteineriai	0,05	R1
	Tepalai, tepaluoti audiniai 05 01 99	0,1	Kieta	Pavojinga	Tam skirtos specialios talpos / konteineriai	0,05	R1

3.5.3. Fizikinė tarša

Fizikinė tarša, polimerais modifikuoto bitumo įrenginyje, pasireiškia kaip triukšmas eksploatuojamuose įrenginiuose. Pagal Lietuvos higienos normas, maksimali triukšmo riba yra 87 dB. 44 lentelėje (žr. 44 lentelę) pateikti įrenginiai ir jų sukiamas triukšmo dydis.

44 lentelė. Fizikinės taršos šaltiniai

Tarša	Įranga, įrenginys	Skaičius	Įrenginio sukeliama triukšmo vertė, dB
Triukšmas	Koloidinis malūnas	1	85
Triukšmas	Siurbliai	8	84
Triukšmas	Oro aušintuvai	4	82

Pagal 43 lentelės duomenis matyti, kad joks įrenginys neviršija leistinos 87 dB ribinės vertės, tačiau koloidinio malūno sukeliama triukšmo vertė – 85 dB, todėl įrenginyje darbuotojai privalo dėvėti apsaugines ausines, siekiant apsaugoti nuo ilgalaikio poveikio sveikatai.

3.5.4. Biologinė tarša

Polimerais modifikuoto bitumo įrenginyje, biologinė tarša nebuvo nustatyta.

3.5.5. Vandens ir nuotekų balansas

Polimerais modifikuoto bitumo įrenginyje vanduo naudojamas proceso metu, siekiant praskiesti orą, tiekiamą bitumo oksidacijai, kad nesusidarytų sprogi terpė, vanduo tiekiamas garo pavidalu, visas vanduo kondensuojamas ir atskirtas separatoriuje nuo dujų, tiekiamas į bendragamyklinę kanalizaciją. Procese susidaręs vandens kondensatas yra drenuojamas talpoje/separatoriuje SP-1 į

bendragamyklinę kanalizaciją, iš jos vanduo patenka į valymų cechą, kuriame vanduo išvalomas ir vėl gražinamas į vandens bendragamyklinę sistemą. Vanduo taip pat naudojamas operatorinėje, buitinėms reikmėms. 45 lentelėje (žr. 45 lentelę) pateiktas vandens masės balansas įrenginiui.

45 lentelė. Vandens masės balansas

Šaltinis	Paskirtis	Suvartojimas, t/h	Suvartojimas, t/metus	Apsaugos ir taupymo priemonės
Vandens garas	Praskiesti orą, tiekiamą bitumo oksidacijai, kad nesusidarytų sprogi terpė	0,08	646,46	Sukodensuotas vandens garas tiekiamas į valymo įrengimus atliekant cheminį ir mechaninį valymą, išvalytas vanduo tiekiamas atgal į garo gamybos įrenginį

Nuotekos susidaro bitumo operatorinės talpų: tualetų, dušų, taip pat aušinimo vandens iš įrengimų. Šios nuotekoms šalinti naudojama miesto kanalizacija ir gamyklos vandens valymo cechas. Nuotekų šaltiniai ir nuotekų kiekiai pateikti 46 lentelėje (žr. 46 lentelę).

46 lentelė. Nuotekų šaltiniai

Nuotekų priėmimas	Nuotekos ir jų šaltinis		Transportavimo būdas	Maksimalus nuotekų kiekis laikotarpiui			
				m ³ /s	m ³ /h	m ³ /dieną	m ³ /metus
Miesto nuotekų tinklas	Buitinis vanduo	Vanduo iš tualetų, dušų, pagalbinių patalpų	Vamzdynai	0,00001	0,036	0,864	315,36
Valymo cechas	Aušinimo vanduo	Vanduo iš siurblių ir kitos įrangos	Vamzdynai	0,0006	2,08	50	16700

3.5.6. Aplinkos oro tarša

Polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginyje, kaip šalutinis produktas išskiriamos skilimo dujos. Šias dujas daugiausiai sudaro deguonis ir azotas, tiekiami į bitumo oksidacijos kolonas, oksidacijos procesui, taip pat nežymi dalis organinių junginių. Skilimo dujos yra išvedamos į bendrą skilimo dujų vamzdyną, šiuo vamzdynu dujos patenka į požeminę talpą SP-2 (žiūrėti priedą Nr. 1), iš kurios, dujos tiekiamos į krosnį sudeginimui. Gauta šiluminė energija naudojama pašildyti kitas žaliavas. Kaip šalutiniai produktai, skilimo dujų deginimo metu susidaro sieros, azoto oksidai bei anglies dioksidas. 47 lentelėje (žr. 47 lentelę) pateikti oro taršos šaltiniai ir procesai sukuriantys oro taršą. Pateikti teršalai ir jų kodai bei metinės ir momentinės vertės.

47 lentelė. Oro taršos šaltiniai

Technologinis procesas	Taršos šaltinis		Teršalai		Numatytas taršos kiekis		
	Pavadinimas	Kodas	Pavadinimas	Kodas	Momentinis dydis, μm/m ³		Metinė vertė, t/m
					Vidutinė vertė	Maksimali vertė	
Skilimo dujų deginimas	Skilimo dujas deginanti krosnis	16 05 04	SO ₂	1753	5	15	0,40
			NO _x	250	18	32	0,06
			CO	177	2	7	0,04

Polimerais modifikuoto bitumo gamyboje naudojamos talpos, produktui ir žaliavoms laikyti. Visos skilimo dujos, vamzdynais iš talpų, patenka į krosnį sudeginimui, tačiau galimas lakiųjų organinių junginių patekimas į aplinką per apsauginius vožtuvus, esant viršslėgiui talpose. Apsauginiai vožtuvai, esant višslėgiui talpose, atsidaro, taip į aplinką, avarinės situacijos metu gali patekti lakieji organiniai junginiai. 48 lentelėje (žr. 48 lentelę) pateikti oro taršos, kurią gali sukelti lakieji organiniai junginiai, duomenys.

48 lentelė. Oro tarša dėl lakiųjų organinių junginių

Procesas	Taršos šaltinis		Teršalai		Maksimali nustatyta vertė, mg/m ³
	Pavadinimas	Kodas	Pavadinimas	Kodas	
Sandėliavimas	Bitumo rezervuarai	225	Lakieji organiniai junginiai	308	0,5
Sandėliavimas	Polimerais modifikuoto rezervuarai	225	Lakieji organiniai junginiai	308	0,5

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

Šioje darbo dalyje pateikti polimerais modifikuoto bitumo įrenginyje dirbančių darbuotojų saugos ir sveikatos reikalavimai ir pavojais, su kuriais gali susidurti darbuotojai.

Skyriuje apžvelgiamos šios darbų saugos charakteristikos:

- projektuojamo įrenginio charakteristikos;
- profesinės rizikos vertinimas ir reikalavimai saugiai gamybai;
- darbo higienos reikalavimai;
- gaisrinė sauga.

4.1. Projektuojamo įrenginio charakteristikos

Baigiamajame darbe planuojama polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginio statyba. Įrenginys numatomas statyti naftos perdirbimo įmonės gamybinėje teritorijoje. Pagal Lietuvos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymą sanitarinės apsaugos zona yra teritorija aplink vieną ar daugiau taršos šaltinių, šioje teritorijoje taikomi specialūs žemės naudojimo apribojimai, remiantis įstatymų tvarka ir siekiant apsaugoti visuomenės sveikatą nuo galimų, neigiamų padarinių. Pagal Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymo 2 priedą, nustatyta, kad naftos perdirbimo įmonės, kurioje atliekama naftos produktu gamyba, gamybos sanitarinės apsaugos zonos dydis turi būti nemažesnis negu 1000 metrų, todėl įrenginiui parinktas sanitarinės apsaugos zonos dydis – 1000 metrų [43].

Įrenginys yra projektuojamas atvirame lauke. Esama bitumo gamybos įrenginio operatorinė naudojama kaip naujo, polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginio valdymo stotis, todėl nevertinama profesinė rizika operatorinėje.

4.2. Profesinės rizikos vertinimas ir saugios gamybos vykdymas

Profesinė rizika aprašoma ir įvertinama siekiant nustatyti įrenginio, šiuo atveju polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginio, potencialią riziką, taip pat šios rizikos veiksnius, juos įvertinti, pateikiant sprendimo būdus rizikoms panaikinti arba sumažinti. Žemiau pateikti profesinės rizikos vertinimo etapai [44]:

- parengiamieji, išankstiniai darbai;
- rizikos veiksnių tyrimas, rizikos dydžio nustatymas ir priimtino įvertinimas;
- rizikos pašalinimas ar sumažinimas;
- rizikos stebėjimas.

Atliekant profesinės rizikos vertinimą, projektuojamame įrenginyje, identifikuojamos vietos kurios, darbo metu, gali sukelti pavojų darbuotojams. Šiame įrenginyje pavojingiausios yra šios zonos:

- koloidinio malūno zona;
- polimerais modifikuoto bitumo talpyklos;
- siurblių zona;
- priedų dozavimo zona;
- oro aušintuvų – šilumokaičių zona;
- polimerais modifikuoto bitumo brandintuvai;
- separatorių talpyklų zona;
- krosnies zona.

Polimerais modifikuoto bitumo įrenginyje galimi fizikiniai, fiziniai ir cheminiai pavojai. 49 lentelėje (žr. 49 lentelę) pateiktos pavojingos cheminės medžiagos esančios įrenginyje ir jų charakteristikos [6, 45, 46].

49 lentelė. Pavojingos cheminė medžiagos, naudojamos įrenginyje ir jų požymiai

Eil. Nr.	Medžiaga	Pavojingumo klasė	Temperatūra, °C		Sprogumo riba, %		Poveikis žmogui, toksiškumo charakteristika	Ribinė medžiagos vertė darbo aplinkoje, orc, mg/m ³
			Pliūpsnio	Savaiminio užsiliepsnojimo	Apatinė	Viršutinė		
1	VVF Vakuuminis distiliatas	4	160	> 380	1	7	Patekus į akis, ant odos gali sukelti stiprų dirginimą, išbėrimą, prarijus ar įkvėpus gali sukelti haliucinacijas, pykinimą, svaigimą	300
2	Katalizinio krekingo likutis	4	180	> 400	-	-	Patekus į akis, ant odos gali sukelti stiprų dirginimą, išbėrimą, prarijus ar įkvėpus gali sukelti haliucinacijas, pykinimą, svaigimą	300
3	Gudronas	4	> 200	> 450	-	-	Patekus į akis, ant odos gali sukelti stiprų dirginimą, išbėrimą, prarijus ar įkvėpus gali sukelti haliucinacijas, pykinimą, svaigimą	300
4	VVF Vakuuminis likutis	4	> 220	> 440	-	-	Patekus į akis, ant odos gali sukelti stiprų dirginimą, išbėrimą, prarijus ar įkvėpus gali sukelti haliucinacijas, pykinimą, svaigimą	300
5	Užtamsintas distiliatas iš VVF	4	181	> 380	1	7	Patekus į akis, ant odos gali sukelti stiprų dirginimą, išbėrimą, prarijus ar įkvėpus gali sukelti haliucinacijas, pykinimą, svaigimą	300
6	Užtamsintas distiliatas iš VDU	4	179	> 360	1	7	Patekus į akis, ant odos gali sukelti stiprų dirginimą, išbėrimą, prarijus ar	300

							įkvėpus gali sukelti haliucinacijas, pykinimą, svaigimą	
7	Bitumas	4	> 230	> 500	-	-	Patekus į akis, ant odos gali sukelti stiprų dirginimą, išbėrimą, prarijus ar įkvėpus gali sukelti haliucinacijas, pykinimą, svaigimą	300
8	Polimerais modifikuotas bitumas	4	> 230	> 500	-	-	Patekus į akis, ant odos gali sukelti stiprų dirginimą, išbėrimą, prarijus ar įkvėpus gali sukelti haliucinacijas s, pykinimą, svaigimą	300
9	Šildymo alyva	3	70	>200	0,6	0,7	Patekus į akis, ant odos gali sukelti stiprų dirginimą, išbėrimą, prarijus ar įkvėpus gali sukelti haliucinacijas, pykinimą, svaigimą	200
10	Anglies monoksidas	0	-	609	12	74	Dėl sumažėjusios deguonies koncentracijos atsiranda uždusimo pavojus, sukelia deguonies trūkumą kraujyje	-
11	Anglies dioksidas	0	-	-	-	-	Dėl sumažėjusios deguonies koncentracijos atsiranda uždusimo pavojus	-
12	Angliavandėninės dujos	1	-	500	2	15	Dėl sumažėjusios deguonies koncentracijos atsiranda uždusimo pavojus, gali sukelti haliucinacijas	200
13	Azoto dujos	0	-	-	-	-	Dėl sumažėjusios deguonies koncentracijos atsiranda uždusimo pavojus	-

Toliau aprašomi fizikiniai veiksniai, kai susidarius tam tikroms aplinkybėms, darbuotojas gali patirti žalą dėl triukšmo, apšvietimo, šiluminės aplinkos, vibracijos ir kitų pavojų su kuriais gali susidurti darbuotojai dirbantys polimerais modifikuoto bitumo įrenginyje [47, 48, 49]. Toliau 50 lentelėje (žr. 50 lentelę) pateikiami fizikiniai veiksniai, veikiantys darbuotojus įrenginyje.

50 lentelė. Fizikiniai veiksniai veikiantys darbuotojus PMB gamybos įrenginyje

Fizikinis rizikos veiksnys	Veiksnių lokacija, atsiradimo vieta	Rizikos veiksnio maksimalus dydis, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio ribinė vertė, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis	Priemonės rizikos veiksniumi pašalinti arba sumažinti poveikį
Triukšmas	Koloidinis malūnas	78 dB	80 dB	Nuolatinis	Neviršija ribinių normų, apsaugos priemonė nebūtina
	Siurbliai	80 dB	80 dB	Nuolatinis	Neviršija ribinių normų, apsaugos priemonė nebūtina
Apšvietimas	Technologinio įrenginio zona	250 lx	>200 lx	Nuolatinis	Nereikia papildomų veiksmų
Šiluminė aplinka	Technologinio įrenginio zona	500 °C	50 °C	Nuolatinis	Šiluminė izoliacija, privalomos apsauginės pirštinės, paviršių žymėjimas
Vibracija	Siurblių zona	5 m/s ²	0,5 m/s ²	Periodinis	Nereikia papildomų veiksmų

Fiziniai profesinės rizikos veiksniai su kuriais yra pavojus susidurti polimerais modifikuoto bitumo įrenginyje pateikti 51 lentelėje (žr. 51 lentelę) [50, 51].

51 lentelė. Fiziniai veiksniai veikiantys darbuotojus PMB gamybos įrenginyje

Fizinis rizikos veiksnys	Veiksnių lokacija, atsiradimo vieta	Rizikos veiksnio maksimalus dydis, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio ribinė vertė, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis	Priemonės rizikos veiksniumi pašalinti arba poveikiui sumažinti
Temperatūra	Šilumokaičiai	250 °C	40 °C	-	Šiluminė izoliacija, privalomos apsauginės pirštinės, ryškus paviršių žymėjimas
	Modifikuoto bitumo talpyklos	180 °C	40 °C	-	Šiluminė izoliacija, privalomos apsauginės pirštinės, ryškus paviršių žymėjimas
	Krosnis	500 °C	40 °C	-	Šiluminė izoliacija, privalomos apsauginės pirštinės, ryškus paviršių žymėjimas
	Šildymo alyvos boileris	250 °C	40 °C	-	Šiluminė izoliacija, privalomos apsauginės pirštinės, ryškus paviršių žymėjimas
	Koloidinis malūnas	200 °C	40 °C	-	Šiluminė izoliacija, privalomos apsauginės pirštinės,

					ryškus paviršių žymėjimas
Elektros srovė	Koloidinis malūnas	-	-	-	Antistatinė avalynė darbuotojams, įrenginių įžeminimas
	SiurbLIAI	-	-	-	Antistatinė avalynė darbuotojams, įrenginių įžeminimas
	Šildymo alyvos boileris	-	-	-	Antistatinė avalynė darbuotojams, įrenginių įžeminimas
	Elektra šildomi vamzdynai	-	-	-	Vamzdynų izoliacija

52 lentelėje (žr. 52 lentelę) pateikti su ergonominiai ir psichosocialiniai veiksniai, kurių poveikį gali patirti darbuotojai dirbantys polimerais modifikuoto bitumo įrenginyje

52 lentelė. Ergonominiai ir psichosocialiniai veiksniai veikiantys darbuotojus įrenginyje

Ergonominis arba psichosocialinis rizikos veiksnys	Veiksnių lokacija, atsiradimo vieta	Rizikos veiksnio maksimalus dydis, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio ribinė vertė, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis	Priemonės rizikos veiksniumi pašalinti arba poveikiui sumažinti
Darbo monotonija	Technologinio įrenginio zona	-	-	-	Darbuotojų priskyrimas prie skirtingų užduočių, keičiant užduotis kintančiu grafiku, daromos pertraukos tarp darbų
Darbo poza	Technologinio įrenginio zona	-	-	-	Darbuotojų priskyrimas prie skirtingų užduočių, keičiant užduotis kintančiu grafiku, daromos pertraukos tarp darbų

Pagal atliktą profesinės rizikos vertinimą, polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginyje, nustatyti rizikos veiksniai, darantys įtaką darbuotojams dirbantiems įrenginyje. Pasėkmės, kurios kyla nesivadovaujant darbų sauga, modifikuoto bitumo įrenginyje [52]:

- potencialus apsinuodijimas;
- sužeidimai dėl karštų paviršių;
- susižeidimai dėl aukštos elektros srovės;
- susižeidimai dėl darbų aukštyje;
- slėginių indų sproginimas;
- potencialus uždusimas.

Siekiant apsaugoti darbuotojus nuo veiksnių, su kuriais galima susidurti projektuojamo įrenginio zonoje, įrengiamos kolektyvinės apsaugos priemonės:

- įrengtos dujų detekcijos ir ventiliacijos sistemos;
- suprojektuotas įrenginio pilnas nuotolinis valdymas;
- suprojektuoti atitvarai pavojingose įrenginio zonose.

Užtikrinti saugai, darbuotojai privalo būti aprūpinami asmeninėmis apsaugos priemonėmis (AAP):

- darbiniais antistatiniais rūbais, vasariniais ir žieminiiais;
- dujokaukėmis;
- temperatūriniam poveikiui atsparios pirštinės;
- dujų analizatoriais;
- antistatiniais ir smūgiams atspariais batais.

Asmenines apsaugos priemones darbuotojai laiko įmonėje, tam paskirtose asmeninėse spintelėse. Pagal gamintojo nurodytas instrukcijas asmeninės apsaugos priemonės yra skalbiamos ir dezinfekuojamos. Dujų analizatorius būtina turėti su savimi atliekant darbus įrenginio teritorijoje, analizatorius privalu kalibruoti, tikrinti, analizatorius kabinamas prie darbinio švarko, tam skirtoje vietoje.

Polimerais modifikuoto bitumo įrenginyje vertinamas įrangos ir įrengimų kategorijos pagal sprogo ir gaisro pavojų. 53 lentelėje (žr. 53 lentelę) aprašytas įrengimo zonų klasifikavimas, pagal sprogo ir gaisro pavojų, taip pat zonų klasifikacija pagal sprogo aplinkos susidarymo dažnumą [53, 54].

53 lentelė. Objektų pavojingumo kategorijos, sprogo ir gaisro atžvilgiu

Vertinamo pavojingo objekto pavadinimas	Požymis nulemiantis kategoriją, sprogo zonos vietą	Pavojingumo kategorija, pagal gaisro ir sprogo pavojų	Pavojingumo kategorija pagal sprogo aplinkos susidarymo dažnumą
Koloidinis malūnas	Įrenginyje naudojamas degus skystis iš kurio gali išsiskirti degios dujos	A _{sgi}	Zona 2
Šilumokaičiai	Įrenginyje naudojamas degus skystis iš kurio gali išsiskirti degios dujos	A _{sgi}	Zona 2
Siurblių zona	Įrenginyje naudojamas degus skystis iš kurio gali išsiskirti degios dujos	A _{sgi}	Zona 2
Krosnies zona	Įrenginyje naudojamas degus skystis iš kurio gali išsiskirti degios dujos	A _{sgi}	Zona 2
Šildymo alyvos boileris	Įrenginyje naudojamas degus skystis iš kurio gali išsiskirti degios dujos	A _{sgi}	Zona 2
Produkto rezervuarai	Įrenginyje naudojamas degus skystis iš kurio gali išsiskirti degios dujos	A _{sgi}	Zona 2

Įranga, darbo vietoje naudojamos priemonės ir apsaugai skirtos sistemos komplektuojamos pagal potencialiai sprogoje aplinkoje naudojamos įrangos ir apsaugos sistemų, techninį reglamentą. Įranga, elektros kabeliai, kabelių įvadai, suprojektuojami taip, kad normalios eksploatacijos metu nesusidarytų sprogo dujų ar dulkių mišinys, ir kad įranga neužsidegtų nuo galimų šaltinių bei nebūtų galimybės dulkėms susikaupti įrangoje. 52 lentelėje paminėti įrenginiai naudoja elektros energiją [51, 54, 55]:

- siurbLIAI;
- koloidinis malūnas;
- šildymo alyvos boileris;
- susižeidimai dėl darbų aukštyje;
- produkto rezervuarai.

Elektros įrenginiai, eksploatuojami sprogiroje aplinkoje turi turėti: aiškius pažymėjimus su gamintojo pavadinimu ir adresu, CE atitikties ženklas, serijos numerius, tipus, ženklinimą (Ex) priskiriamą apsaugai nuo sprogo, pagaminimo metus, įrangos grupės ir kategorijos simbolius. SiurbLIAI, statomi jau esamose, tam skirtose patalpose – siurblinėse. Apsaugoti darbuotojus nuo pavojų, visai įrangai yra įrengtos kolektyvinės apsaugos priemonės: temperatūros jutikliai, liepsnos detektoriai, uždujinimo sistemos bei signalizacijos [51, 56].

Pagal Lietuvos Respublikos patvirtintą „Įrangos ir apsaugos sistemų, naudojamų potencialiai sprogiroje aplinkoje“ techninį reglamentą įranga apsaugota nuo perkrovimo ir trumpojo jungimo. Visose fazėse sumontuota apsauga nuo perkrovų, suderinta pagal vardinę variklio srovę. Sistema privalo atjungti variklį vėliausiai per 2 valandas, jei srovė pasiekia 1,2 karto didesnę vertę už vardinės srovės ribą, tačiau neatjungti jo greičiau nei per 2 valandas, esant 1,05 karto didesnei srovei už vardinę [50, 51, 57].

Tik akreditaciją turintis personalas, galintis dirbti atitinkamus darbus, prižiūri vamzdinius, slėginius indus, talpas ir kitus sprogius įrengimus. Įrenginio viršininkas atsakingas informuoti valstybės institucijas apie netinkamus atliekamus darbus [56, 58, 59].

4.3. Darbo higienos reikalavimai

Polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginyje darbdavys turi užtikrinti Lietuvos higienos normų reikalavimus atitinkančią darbo aplinką.

Darbdavys, darbo vietai turi užtikrinti:

- geriamo vandens tiekimą;
- laiku atliekamų sveikatos patikrinimus;
- išduoti asmenines apsaugos priemones;
- tvarkingas darbo priemones;
- darbo patalpų tvarką ir švarą;
- tinkamą temperatūrą, ir oro tiekimą į buitines patalpas.

Darbuotojo pareigos:

- atlikti jam priskirtus darbus;
- laikytis numatytų darbo taisyklių;
- tinkamai naudotis darbo priemonėmis;
- esant asmeninių apsaugos priemonių pažeidimams, pateikti jas valymui ar pakeitimui;
- rūkyti tik tam skirtose vietose;
- palaikyti švarą darbo vietoje.

4.3.1. Šiluminis komfortas ir šiluminė aplinka

Įrenginyje dirbantis personalas – operatoriai, priskiriami prie I a darbo sunkumo kategorijos. Šiai kategorijai keliami šiluminio komforto ir šiluminės aplinkos reikalavimai pateikti 54 ir 55 lentelėje (žr. 54 ir 55 lentelę) [60]:

54 lentelė. Šiluminio komforto norminės vertės I a darbo sunkumo kategorijai

Darbo sunkumo kategorija	Temperatūra šiltuoju metų laikotarpiu, °C	Temperatūra šaltuoju metų laikotarpiu, °C	Oro santykinis drėgnumas, %	Oro judėjimo greitis, m/s
I a	23–25	22–24	40–60	0,1

55 lentelė. Šiluminės aplinkos norminės vertės I a darbo sunkumo kategorijai

Metų laikotarpis	Darbo sunkumo kategorija	Oro temperatūra, °C		Oro santykinis drėgnumas, %	Oro judėjimo greitis, m/s
		Nuolatinėse darbo vietose	Nenuolatinėse darbo vietose		
Šiltasis	I a	22–28	20–30	55 (prie 28 °C)	0,1–0,2
Šaltasis	I a	21–25	18–26	75	ne daugiau kaip 0,1

4.3.2. Darbo vietų apšvietimas

Darbo vietoje esančios įrangos, pastatų ir kitų statinių zonose turi būti užtikrintos dirbtinės apšvietos ribinės vertės. Apšvietos vertės nurodytos 56 lentelėje (žr. 56 lentelę) [47]:

56 lentelė. Polimerais modifikuoto bitumo įrenginio, statinių išorės apšvietos ribinės vertės

Eil. Nr.	Zonos, veiklos ar užduoties tipas	Minimalus apšvietimo dydis, lx
1	Modifikuoto bitumo įrenginio valdymas, rankinis vožtuvų valdymas, siurblių ir koloidinio malūno paleidimas	30
2	Polimerų ir priedų pakrovimas ir iškrovimas	50
3	Produktų iškrovimas į vagonus ir autotransportą	100
4	Šildymo alyvos pakrovimo zona	100
5	Prietaisų remonto zona	200

Įrenginys suprojektuotas siekiant užtikrinti mažiausias apšvietos ribines vertes. Pagal darbų kategoriją, operatoriams priskiriama III regos darbų kategorija. Šiai kategorijai skirta mažiausia apšvietos ribinė vertė – 500 lx. Minimalus natūralios apšvietos koeficientas (NAK) – 4 %.

4.3.3. Triukšmas vertinimas darbo vietoje

Dirbant polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginyje, vadovaujantis „Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatus“ įstatymu, rekomenduojama dėvėti apsaugos nuo triukšmo asmenines apsaugos priemones. Išmatuotos ribinės triukšmo vertės neviršija 80 dB reikšmės, tačiau siekiant visiškai sumažinti triukšmo keliamą riziką, operatoriams išduodami šalmai su pritvirtintomis ausinėmis, taip pat ausų kištukai, taip sumažinamas triukšmo poveikis galintis atsirasti dirbant ilgą laiką koloidinio malūno ir siurblių zonose [48].

4.4. Saugi gamyba

Siekiant užtikrinti saugią polimerais modifikuoto bitumo gamybos įrenginio eksploataciją būtina laikytis darbų saugos nurodymų. Įvykus avarijai viename iš įrenginių ar talpyklų, ir išsiliejus kambario temperatūroje stingstantiems skysčiams (žaliavai arba produktui), išsiliejimo vieta aptveriami, apibarstoma smėliu, absorbentu. Užterštas smėlis, žvyras, absorbentai gabenami į tam skirtus punktus, utilizuoti. Užterštoje zonoje dirbantis personalas aprūpinamas dujokaukėmis [52].

Visi polimerais modifikuoto bitumo įrenginiai, yra sprogoje aplinkos zonoje, todėl būtina visus įrenginius apsaugoti nuo elektros išlydžio, kibirkščių, ar žaibo pavojaus. Tam išvengti visi įrenginiai: siurbliai, motorai, koloidinis malūnas, vamzdynai įnulinami, elektros išlydis nukreipiamas į saugią vietą, įrengti žaibolaidžiai [51, 53].

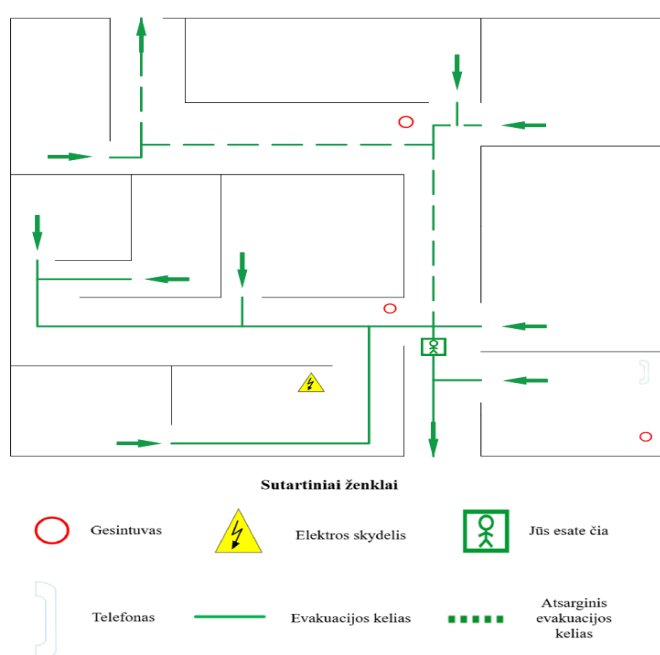
Eismas įrenginio teritorijoje organizuojamas pagal Lietuvos kelių eismo taisykles, į pavojingą teritoriją automobiliu galima įvažiuoti tik turint leidimą, automobiliai statomi išvažiavimo iš zonos kryptimi, didžiausias leistinas greitis įrenginio zonoje – 20 km/h.

4.5. Gaisrinė sauga

Eksploatuojant polimerais modifikuoto bitumo įrenginį būtina laikytis gaisrinės saugos taisyklių [54]:

- privalo būti užtikrintas vamzdynų ir įrangos sandarumas;
- rūkyti darbuotojams leidžiama tik tam skirtose vietose;
- evakuacijos ženklai išdėstyti užtikrinant jų matomumą iš kiekvieno patalpos taško;
- susidarius avarinei situacijai būtina informuoti įmonės dispečerį;
- įvykus avarinei situacijai, pastebėjus sužeistuosius, privaloma suteikti pirmąją pagalbą;
- esant perkūnijai draudžiamas mėginių ėmimas;
- įrenginio technologinėje zonoje būtina dėvėti tam skirtus, antistatinius, nedegius drabužius.

Įrenginyje dėl nepalankių aplinkybių, gali susidaryti gaisras. Esant gaisrui, kurio nebegalima suvaldyti, darbuotojai turi vadovautis evakuacijos planu, pavaizduotu 11 paveiksle (11 pav.) [54].



11 pav. Evakuacijos planas polimerais modifikuoto bitumo operatorinėje

Evakuacijos planasi iškabinami visuose operatorinės aukštuose, užtikrinant gerą jų matomumą. Plane nurodomi gesintuvai, elektros skydai, telefonai, evakuacijos keliai ir išėjimai. Evakuacijos išėjimai turi turėti duris, kurias būtų galima atidaryti iš vidaus bet kuriuo paros metu. Pagal aukšto plotą ir gaisrinį pavojingumą, parinkti miltelių tipo gesintuvai. Viso naudojami 3 gesintuvai, kiekvienas gesintuvas sveria 6 kg, gesintuvai turi GRC sertifikatus. Gesintuvai skirti A, B ir C klasių gaisrams gesinti, kandangi įrenginyje gali įvykti, kietų ir skystų produktų ir žaliavų išsiliejimai ir gaisrai, rečiau – dujų. Šalia operatorinės įrengti hidrantai ir smėlio dėžės. Operatorinėje įrengta nedegaus audeklo ir priešgaisrinio skydo laikymo vieta. Žymėjimas parinktas pagal bendrųjų gaisrinės saugos taisyklių 6 priedą.

Išvados

1. Atliekant mokslinės literatūros duomenų analizę, aprašyti modifikuoto bitumo gamybos dėsningumai bei skirtingų polimerų daroma įtaka procesui. Apžvelgtas potencialus panaudotų padangų panaudojimas vietoje polimero, norint užtikrinti žiedinės ekonomikos principus. Pagal surinktus duomenis, modifikuoto bitumo gamybos, įrangos projektavimui, pasirinktas stireno-butadieno polimeras ir sieros priedas.
2. Tyrimų metu nustatyta, kad didinant polimero koncentraciją iki 20 %, pagal masę, bitume, mišinio penetracijos vertės sumažėja 15–27 0,1 mm, minkštėjimo temperatūra padidėja 24–25 °C. Devulkanizuotų padangų priedas sumažina bitumų penetracijos vertes 9–15 0,1 mm, 66–100 % mažiau, lyginant su polimeru. Devulkanizuotų padangų priedas taip pat didina minkštėjimo temperatūros vertes, bitumo minkštėjimo temperatūra didėja 14–16 °C, 56–71 % mažiau negu naudojant polimerą. Panaudojant polimerą arba devulkanizuotų padangų priedą modifikavimui, kietesnėje bitumo rūšyje 35/50 pastebimas mažesnis penetracijos pokytis negu minkštesnėse bitumo rūšyse 50/70 ir 70/100. Nustatyta, kad minkštėjimo temperatūros verčių pokyčiui bitumo rūšis įtakos nedaro.
3. Pateikti įrenginio šilumos ir masės balansai, per metus pagaminama 64000 tonų modifikuoto bitumo produkto, nuostoliai sudaro 646,465 tonų per metus. Pagal atliktus skaičiavimus žaliavai pašildyti reikalingas 599244,64 kJ/h šilumos kiekis, per metus 4803545034 kJ. Per metus sunaudojamas elektros kiekis įrenginyje dėl šildymo ir kitos įrangos aptarnavimo – 5038056 kWh.
4. Apskaičiuoti siurblio ir koloidinio malūno galingumai, reikalingi užtikrinti gamybos kiekius. Nustatytas reikalingas koloidinio malūno variklio galingumas – 140,27 kW. Produktui iš brandintuvų į produkto talpas transportuoti reikalingas siurblio variklio galingumas – 4,136 kW. Pagal apskaičiuotus galingumus parinktas 160 kW koloidinis malūnas ir 5,5 kW produkto krumpliaratinis siurblys. Apskaičiuotas apvalkalinio šilumokaičio diametras – 0,48 metro, šilumos perdavimo plotas – 67,49 m².
5. Apskaičiuoti pagrindiniai ekonominiai projekto rodikliai: vidinė gražos norma, IRR – 18,83 %, grynoji esamoji vertė, GEV – 3,729 mln. Eur, pelningumo indeksas, PI – 1,39 ir atsipirkimo periodas, T – 4,369 metų.
6. Atliktas įrenginio aplinkosauginis vertinimas, įvertintos emisijų vertės, sudarytas žaliavų ir atliekų transportavimo planas.
7. Atliktas profesinės rizikos vertinimas, darbų saugai įvertinti. Pagal pavojingus veiksnius, su kuriais gali susidurti polimerais modifikuoto bitumo įrenginio darbuotojai, aprašytos reikalingos asmeninės apsaugos ir kolektyvinės priemonės įrenginyje.
8. A1 formato lapuose nubraižyta ir aprašyta technologinė schema, A1 formato lapuose nubraižytos pagrindinio įrenginio, įrenginio sklypo plano schemas.

Literatūros sąrašas

1. McNALLY, Tony. *Polymer modified Bitumen Properties and characterization* [interaktyvus]. Woodhead Pub., 2011 [žiūrėta 2025-12-05]. ISBN 9781845697617. Prieiga per internetą: https://books.google.lt/books?hl=lt&lr=&id=UntwAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Polymer+m odified+Bitumen+Properties+and+characterization.&ots=AoZcC-P9tX&sig=izOlciJFUFWu5VKysHxSEqgdAtU&redir_esc=y#v=onepage&q=Polymer%20modified%20Bitumen%20Properties%20and%20characterization.&f=false
2. GIAVARINI, Carlo. *Chapter 16 Polymer-Modified Bitumen. In Developments in Petroleum Science* [interaktyvus]. 1994 [žiūrėta 2026-01-20]. Vol. 40, p. 381–400. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/chapter/bookseries/pii/S0376736109702638>
3. BLAZEJOWSKI, Krzysztof ir WOJCIK-WISNIEWSKA, Marta. *Bitumen Handbook 2017 ORLEN Asphalt Sp* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2025-12-05]. Prieiga per internetą: <https://asfalt.orlen.pl/content/dam/internet/orlen-asfalt/pl/pl/informacje-techniczne/nasze-publicacje/Bitumen%20Handbook%202017.pdf.coredownload.pdf>
4. BLAZEJOWSKI, K., WOJCIK-WISNIEWSKA, M., BARANOWSKA, W., OSTROVSKI, P. *Bitumen Handbook 2024 ORLEN Asphalt sp* [interaktyvus]. 2024 [žiūrėta 2026-01-20]. Prieiga per internetą: <https://asfalt.orlen.pl/content/dam/internet/orlen-asfalt/pl/pl/informacje-techniczne/nasze-publicacje/Bitumen%20Handbook.pdf.coredownload.pdf>
5. HUNTER, Robert N., SELF, A., READ, J. *The Shell Bitumen Handbook Sixth edition* [interaktyvus]. USA:ASCE Press, 2003 [žiūrėta 2025-12-05]. ISBN:072773220X. Prieiga per internetą: https://ptabdata.blob.core.windows.net/files/2017/IPR2017-01242/v8_1008%20-%20Shell%20Bitumen%20Handbook.pdf
6. AKCINĖ BENDROVĖ „ORLEN LIETUVA“. *Bitumo gamybos proceso techninis reglamentas TR-3-BGI-2022*. 2022.
7. BRIDE M., WONDERS, George A., LYNN, R. *Optimized liquid-phase oxidation in a bubble column reactor* [interaktyvus]. 2005 [žiūrėta 2026-03-02]. Prieiga per internetą: <https://patents.google.com/patent/KR101275465B1/en>
8. FINGAS, Merv. *The Chemistry of Oil and Petroleum Products* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2026-02-20]. ISBN 978-3-11-069436-9. Prieiga per internetą: https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9783110694529_A43647070/preview-9783110694529_A43647070.pdf
9. LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ DIREKCIJA. *DĖL KELIŲ BITUMŲ IR POLIMERAIS MODIFIKUOTŲ BITUMŲ NAUDOJAMŲ AUTOMOBILIŲ KELIUOSE TECHNINIŲ REIKALAVIMŲ APRAŠO TRA BITUMAS 23 PATVIRTINIMO* [interaktyvus]. 2023 [žiūrėta 2025-12-01]. Prieiga per internetą: <https://vialietuva.lt/wp-content/uploads/2023/01/Keliu-bitumu-ir-polimerais-modifikuotu-bitumu-naudojamu-automobiliu-keliuose-techniniu-reikalavimu-aprasas-TRA-BITUMAS-23.pdf>
10. LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ DIREKCIJA. *DĖL AUTOMOBILIŲ KELIŲ ASFALTO MIŠINIŲ TECHNINIŲ REIKALAVIMŲ APRAŠO TRA ASFALTAS 24 PATVIRTINIMO* [interaktyvus]. 2024 [žiūrėta 2025-12-01]. Prieiga per internetą: <https://vialietuva.lt/wp-content/uploads/2024/03/TRA-ASFALTAS-24.pdf>
11. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTO TECHNIKOS KOMITETAS. LIETUVOS STANDARTAS. [LST EN 1426-2024] *Bitumas ir bituminiai rišikliai. Adatos penetracijos nustatymas*. 2024.

12. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTO TECHNIKOS KOMITETAS. LIETUVOS STANDARTAS. [LST EN 1427-2015] *Bitumas ir bituminiai rišikliai. Minkštėjimo temperatūros nustatymas. Žiedo ir rutulio metodas*. 2015.
13. THAKRE, N., MANGRULKAR, D., JANBANDHU, M., SAXENA, J. Polymer Modified Bitumen. In *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN* [interaktyvus]. 2016, Vol. 13, no. 6, p. 120–128 [žiūrėta 2026-01-05]. Prieiga per internetą: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/vol13-issue6/Version-6/T130606120128.pdf>.
14. PORTO, M., CAPUTO, P., LOISE, V., ESKANDARSEFAT, S., TELTAYEV, B., and ROSSI, Cesare O. *Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances* [interaktyvus]. University of Calabria, 2019 [žiūrėta 2026-01-25]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/4/742>
15. MUNERA, J. C. ir OSSA, E. A. Polymer modified bitumen: Optimization and selection. In *Materials and Design* [interaktyvus]. Eafit University, 2014. Vol. 62, p. 91–97 [žiūrėta 2026-01-04]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306914003719>
16. SENGOZ, B., ir ISIKYAKAR, G. Evaluation of the properties and microstructure of SBS and EVA polymer modified bitumen. In *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Dokuz Eylul University, 2008. Vol. 22, no. 9, p. 1897–1905 [žiūrėta 2026-01-05]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006180700195X>
17. IBRAHIM, Rasdan M., KATMAN, Yati H., KARIM, Rehan M., KOTING S., MASHAAN, Nuha S. *A Review on the Effect of Crumb Rubber Addition to the Rheology of Crumb Rubber Modified Bitumen* [interaktyvus]. University of Malaya, 2013 [žiūrėta 2026-01-10]. Prieiga per internetą: https://www.researchgate.net/publication/258393574_A_Review_on_the_Effect_of_Crumb_Rubber_Addition_to_the_Rheology_of_Crumb_Rubber_Modified_Bitumen
18. BALDINO, N., GABRIELE, D., LUPI, Francesca R., ROSSI Cesare O., CAPUTO, P., FALVO, T. Rheological effects on bitumen of polyphosphoric acid (PPA) addition. In *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. University of Calabria, 2013. Vol. 40, p. 397–404 [žiūrėta 2026-01-20]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061812008033>
19. Lietuvos modifikuoto bitumo apyvarta. *Lithuania Modified Bitumen Market (2025-2031)* [interaktyvus]. 2024 [Žiūrėta 2025-12-05]. Prieiga per internetą: <https://www.6wresearch.com/industry-report/lithuania-modified-bitumen-market>
20. GREEN, Don W., PERRY, H. R. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, Eighth Edition* [interaktyvus]. University of Kansas, 2019 [žiūrėta 2026-03-10]. Prieiga per internetą: https://mathguy.us/BySubject/Chemistry/Perrys_Chemical_Engineers_Handbook.pdf
21. McCABE, W., SMITH, J., HARRIOTT P. *Unit Operations of Chemical Engineering 7th Edition*. McGraw Hill Higher Education, 2021, ISBN:0070448450.
22. PAUL, Edward L., ATIEMO-OBENG, A. V., KRESTA, M. S. *HANDBOOK OF INDUSTRIAL MIXING SCIENCE AND PRACTICE* [interaktyvus]. 2004 [žiūrėta 2026-01-08]. Prieiga per internetą: <https://www.stxip.org/books/9.pdf>.
23. ZASTEMPOWSKI, M., BOCHAT, A., HUJO, L. *Selected Aspects of Modelling and Design Calculations of Roller Mills. In Sustainability (Switzerland)* [interaktyvus]. 2021. Vol. 13, no. 5, p. 1–10 [žiūrėta 2026-02-01]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2595>
24. BRAŽIŪNAS, Justas ir SIVILEVIČIUS, Henrikas. Heat transfer and energy loss in bitumen batching system of asphalt mixing plant. In *9th International Conference on Environmental Engineering, ICEE 2014* [interaktyvus]. Dept. of Mathematical Modelling, 2014 [žiūrėta 2026-02-30]. Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/271014300>

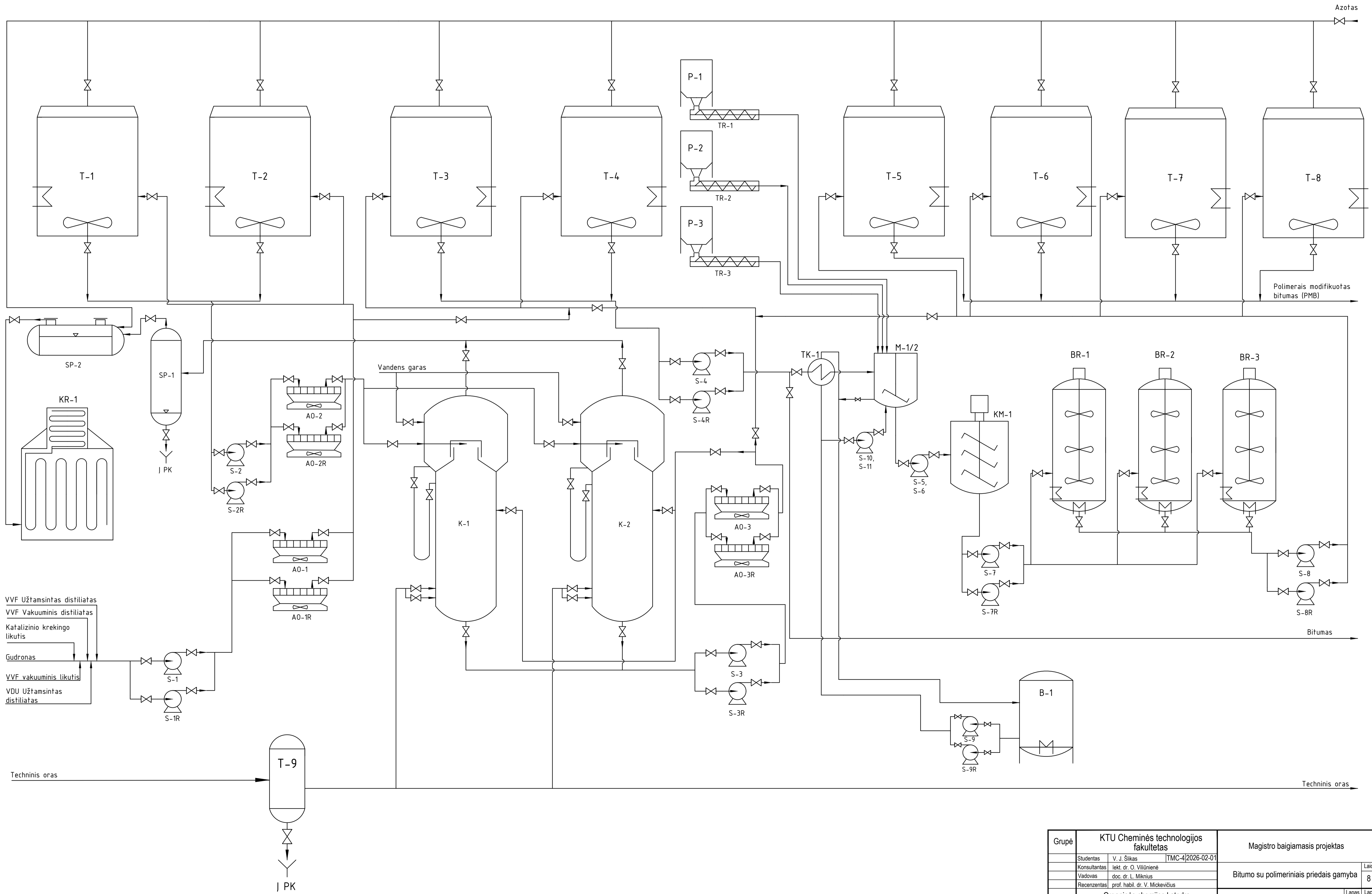
25. VIMPO. *Koloidinio malūno duomenų lapai* [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-20-15]. Prieiga per internetą: <https://www.vimpopump.com/storage/catalogs/mills/vimpo-pumps-degirmen-1-0073946001640456748.pdf>
26. BALANDIS, A., LESKAUSKAS, B., VAICKELIONIS, G., VALANČIUS, Z. *Chemijos inžinerija, 3 knyga*. Kaunas: Technologija, 2011. 180 p. ESN 978-9955-25-987-9
27. STEIMEL. *Krumpliaratiniai siurbliai* [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-20-15]. Prieiga per internetą: <https://www.directindustry.com/prod/gebr-steimel/product-40379-2277057.html>
28. BALANDIS, A., LASTAUSKAS, B., ŠINKŪNAS, S., VAICKELIONIS, G., VALANČIUS, Z. *Chemijos inžinerija: II knyga*. Kaunas: Technologija, 2007. 533 p. ISBN 9789955253976.
29. BALANDIS, Alfredas ir kt. *Chemijos inžinerija I knyga*. Kaunas: Leidykla „Technologija“, 2006. ISBN 995525100X.
30. MIKNIUS, Linas. *Naftos perdirbimo technologija. Paskaitų konspektai*.
31. BARKAUSKAS, V. *Naftos perdirbimo technologija I: naftos paruošimas perdirbimui ir rektifikacijai*. Kaunas: Technologija, 2007. 79 p. ISBN 9789955254010.
32. ABLAOUI, El M., MALENDOWSKI, M., SZYMKUC, W., POZORSKI, Z. Determination of Thermal Properties of Mineral Wool Required for the Safety Analysis of Sandwich Panels Subjected to Fire Loads. *In Materials* [interaktyvus]. Poznan University of Technology, 2023, Vol. 16, no. 17 [žiūrėta 2026-01-20]. Prieiga per internetą <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/17/5852>
33. SEONG-KYUM, Kim ir KWAN-HO L. Evaluation of heat transfer properties of asphalt mixtures. *In KSCE Journal of Civil Engineering* [interaktyvus]. Kongju National University, 2025. Vol. 29, no. 7 [žiūrėta 2026-01-15]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226798824052851>
34. Mag-trade. *Talpyklos, maišytuvai ir šildymo įranga* [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-20-15]. Prieiga per internetą: <https://mag-trade.com/en/products/bitumen-facilities/bitumen-tanks/polymer-modified/28>
35. Ryan. *Alyvos boileriai ir šildymo įranga* [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-20-15]. Prieiga per internetą: <https://www.cn-ryan.com/shop/200kw-thermal-fluid-hot-oil-heater-with-cooling?>
36. KEMAI. *Alyvos siurbliai* [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-20-15]. Prieiga per internetą: <https://www.pumpsandcouplings.com/hot-oil-pump.html>
37. Sanyuantang. *Sraigtiniai transporteriai* [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-20-15]. Prieiga per internetą: <https://sanyuantangcn.com/products/hopper-with-screw-conveyor>
38. EUROPOS KOMISIJA. *Pavojingumo ir atsargumo frazės* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2025-04-15]. Prieiga per internetą: https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/LT/Safety/HP_LT.htm
39. APLINKOS APSAUGOS AGENTŪRA. *Suvestinė pagal atliekų kodus 2024* [interaktyvus]. 2025 [žiūrėta 2026-01-07]. Prieiga per internetą: <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/atliekos/atlieku-apskaita/atlieku-apskaitos-duomenys/suvestine-pagal-atlieku-kodus/>
40. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl Atliekų tvarkymo taisyklių patvirtimo* [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2026-01-05]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/it/legalAct/TAR.38E37AB6E8E6>
41. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Atliekų tvarkymo įstatymas* [interaktyvus]. 2003 [žiūrėta 2026-01-05]. Prieiga per internetą: https://www.e-tar.lt/portal/it/legalAct/TAR.8D38517814F1/TAIS_324137
42. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl atliekų susidarymo ir tvarkymo apskaitos ir ataskaitų teikimo taisyklių patvirtinimo* [interaktyvus]. 2026 [žiūrėta 2026-01-05]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/it/legalAct/TAR.B8FFB9E4F47F/asr>

43. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos specialiųjų žemės naudojimo sąlygų įstatymas* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2026-01-05]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/46c841f290cf11e98a8298567570d639>
44. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl Profesinės rizikos vertinimo bendrųjų nuostatų patvirtinimo* [interaktyvus]. 2012 [žiūrėta 2026-01-05]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.435935?jfwid=32wf948v>
45. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 23:2011 „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai“ patvirtinimo* [interaktyvus]. 2001 [žiūrėta 2026-01-05]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/rs/actualedition/TAIS.157275/AirCNwWNb/>
46. CHEMICAL BOOK. *Svetainė apie pavojingas medžiagas, pavojingų medžiagų riziką* [interaktyvus]. [žiūrėta 2025-04-15]. Prieiga per internetą: https://www.chemicalbook.com/Search_EN.aspx?keyword=Distillates
47. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl Higienos normos HN 98:2014 „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai“ patvirtinimo* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.101854/asr>
48. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamų rizikos nuostatų patvirtinimo* [interaktyvus]. 2013 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.254877/asr>
49. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl darbuotojų apsaugos nuo vibracijos keliamos rizikos nuostatų patvirtinimo* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.0630DF325F2F/rdmWneGiXm>
50. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl specialiųjų patalpų ir technologinių procesų elektros įrenginių įrengimo taisyklių patvirtinimo* [interaktyvus]. 2013 m. kovo 5 d. Nr. 1-52 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/fr/legalAct/TAR.5088B8E78982>
51. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl saugos eksplotuojant elektros įrenginius taisyklių patvirtinimo* [interaktyvus]. 2024 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.4A8EFBB9DE98/asr>
52. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl Darbuotojų aprūpinimo asmeninėmis apsaugos priemonėmis nuostatų patvirtinimo* [interaktyvus]. 2025 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.309802>
53. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl darbo įrenginių naudojimo bendrųjų nuostatų patvirtinimo* [interaktyvus]. 2020 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.FECF8EBD1AFF/addXnJdOKP?csrt=15604526711144427680>
54. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl bendrųjų gaisrinės saugos taisyklių patvirtinimo* [interaktyvus]. 2025 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.C7BB0BCD6F81/asr>
55. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos potencialiai pavojingų įrenginių priežiūros įstatymo Nr. I-1324 pakeitimo įstatymas* [interaktyvus]. 2019 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/9e0ae3d1ef4011e99ab7ff5a9ea34fcc>
56. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl saugos ir sveikatos apsaugos ženklų naudojimo darbovietėse nuostatų* [interaktyvus]. 1999 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/de/legalAct/TAR.02EABB5CF5CB>

- 51-57. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl Įrangos ir apsaugos sistemų, naudojamų potencialiai sprogioje aplinkoje, techninio reglamento tvirtinimo* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.94529/asr>
58. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl slėginių indų priežiūros taisyklių patvirtinimo* [interaktyvus]. 2002 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.A989AE5C41BB/asr>
59. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl Darbuotojų, dirbančių potencialiai sprogioje aplinkoje, saugos nuostatų patvirtinimo* [interaktyvus]. 2014 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.263216?jfwid=>
60. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Dėl Lietuvos higienos normos HN 69:2003 „Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametrų norminės vertės ir matavimo reikalavimai“ patvirtinimo* [interaktyvus]. 2003 [žiūrėta 2026-01-23]. Prieiga per internetą: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.230880>

Priedai

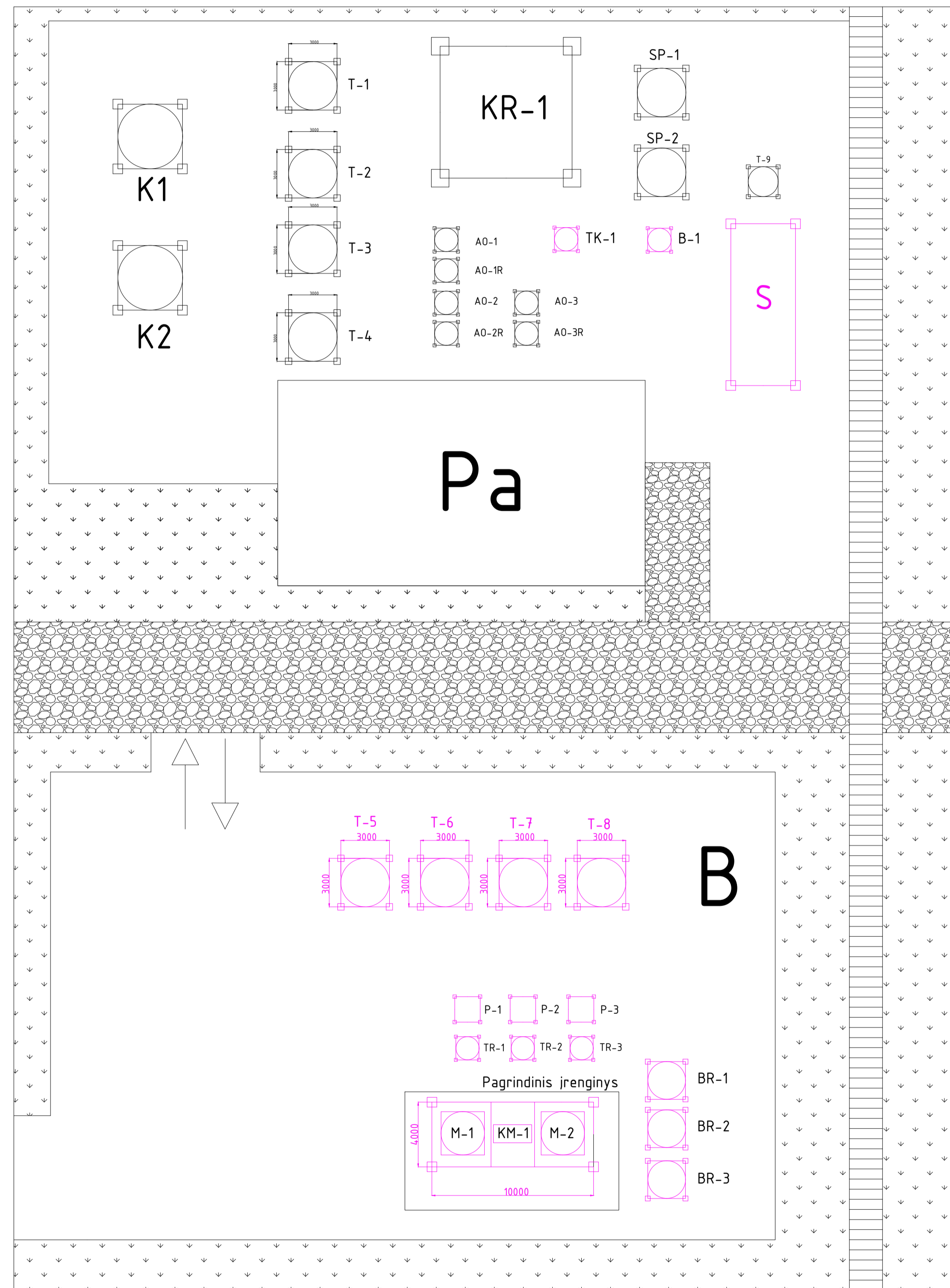
- 1 priedas. Bitumo su polimeriniais priedais gamybos technologinė schema**
- 2 priedas. Sklypo plano brėžinys**
- 3 priedas. Polimerais modifikuoto bitumo įrenginio brėžinys (vaizdas iš šono)**
- 4 priedas. Polimerais modifikuoto bitumo įrenginio brėžinys (vaizdas iš viršaus)**
- 5 priedas. Darbo suderinimai**



VVF Užtamsintas distiliatas
 VVF Vakuuminis distiliatas
 Katalizinio krekingo likutis
 Gudronas
 VVF vakuuminis likutis
 VDU Užtamsintas distiliatas

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
Studentas	V. J. Štikas	TMC-4 2026-02-01	Laida	
Konsultantas	lekt. dr. O. Vilčiūnienė		Bitumo su polimeriniais priedais gamyba	8
Vadovas	doc. dr. L. Miknius			
Recenzentas	prof. habil. dr. V. Mickevičius		Technologinė schema	Lapas Lapų 1 4
Organinės chemijos katedra LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas				

§

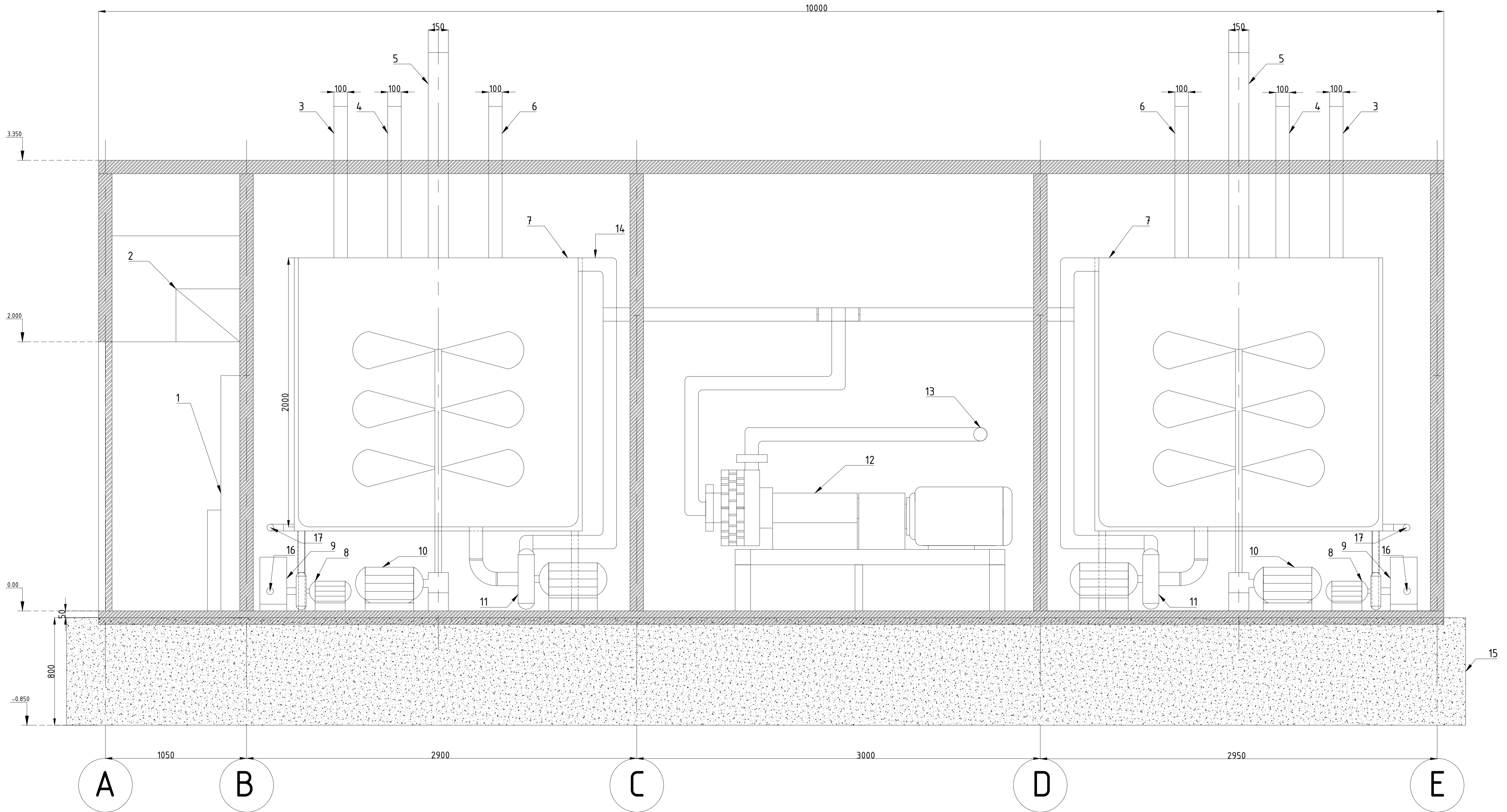


Sutartinis žymėjimas

	Esama įranga
	Nauja įranga
B	Betonas
	Sklypo riba
	Ivažiavimo išvažiavimo kryptis
	Asfaltas
	Žolė
	Bėgiai
	Įrenginio vieta

Numeris	Reikšmė	Žymėjimas
1	Kolona	K
2	Aušintuvas-kondensatorius (oru)	AO
3	Pašūturė	Pa
4	Koloidinis malūnas	KM
5	Maišyklė	M
6	Talpa polimerui arba priedams	P
7	Sraigtinis transporteris	TR
8	Talpykla	T
9	Brandintuvas	BR
10	Separatorius	SP
11	Krosnis	KR
12	Siurblinė	S
13	Apvalkalinis šilumokaitis	TK
14	Šildymo alyvos boileris	B-1

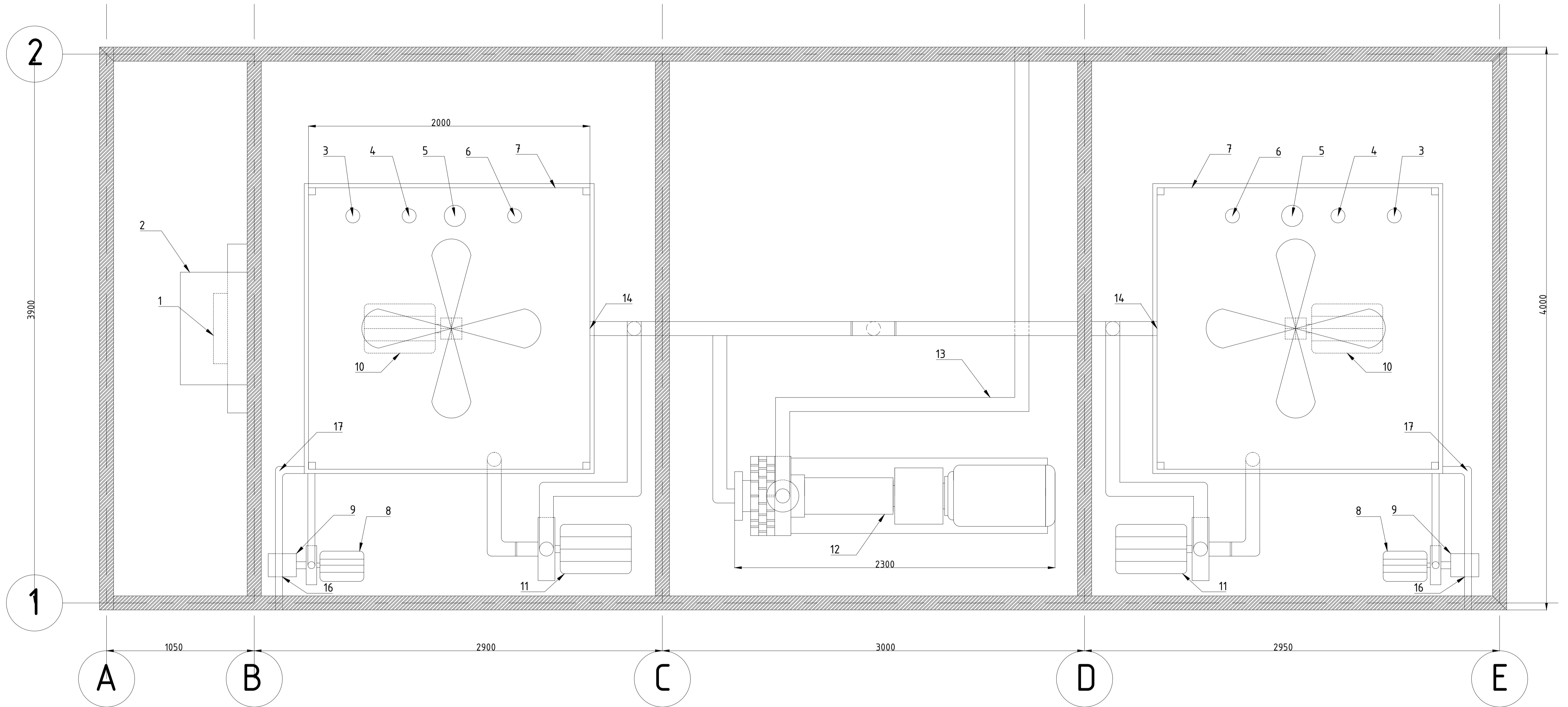
Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
Studentas	V. J. Štikas	TMC-4	2026-02-01	Bitumo su polimeriniais priedais gamyba
Konsultantas	lekt. dr. O. Viliūnienė			
Vadovas	doc. dr. L. Miknius			
Recenzentas	prof. habil. dr. V. Mickevičius			Mastelis 1:200
MBP	Organinės chemijos katedra LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas		Sklypo planas	
				Laida 8
				Lapas Lapų 1 4



Sutartiniai ženklai

Numeris	Kiekis	Reikšmė
1	1	Valdymo pultas
2	1	Valdymo sistema
3	2	Polimero atvamzdis
4	2	Sieros priedo atvamzdis
5	2	Bitumo atvamzdis
6	2	Papildomas atvamzdis priedams
7	2	Maišyklė
8	2	Šildymo alyvos siurblys
9	2	Šildymo alyvos talpa
10	2	Maišyklės motoras
11	2	Žaliavos siurblys
12	1	Koloidinis malūnas
13	1	Produkto atvamzdis
14	2	Recirkuliacijos atvamzdis
15	1	Betoninė aikštelė
16	2	Šildymo alyvos įvado atvamzdis
17	2	Šildymo alyvos išvado atvamzdis

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
Studentas	V. J. Štikas	TMC-4 2026-02-01	Bitumo su polimeriniais priedais gamyba	Laida
Konsultantas	tekt. dr. O. Vilionienė			8
Vadovas	doc. dr. L. Miknius			
Recenzentas	prof. habil. dr. V. Mickevičius		Polimerais modifikuoto bitumo įrenginys	Lapai
Mastelis	Organinės chemijos katedra LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas			2



Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis projektas	
Studentas	V. J. Štikas	TMC-4 2026-02-01		
Konsultantas	tekt. dr. O. Viliūnienė			Laida
Vadovas	doc. dr. L. Miknys	Bitumo su polimeriniais priedais gamyba		8
Recenzentas	prof. habil. dr. V. Mickevičius			Lapas
Mastelis	Organinės chemijos katedra	Polimerais modifikuoto bitumo įrenginys		Lapų
1:15	LT - 50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas			3 4

Studento **Viliaus Jokūbo Šliko** baigiamojo magistro projekto „**Bitumo su polimeriniais priedais gamyba**“ skyrius „**Darbuotojų sauga ir sveikata**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **doc. dr. Dalia Nizevičienė**



Irena Pekarskienė

Kam: Vilius Jokūbas Šlikas

😊 ↩️ Atsakyti ↩️ Atsakyti visiems ➡️ Persiųsti 📄 🗨️ ⋮

2026-05-04, Pr 09:07

Laba diena,

šiuo laišku informuoju, kad studento **Viliaus Jokūbo Šliko** baigiamojo magistro projekto „**Bitumo su polimeriniais priedais gamyba**“ skyrius „**Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantė prof. dr. Irena Pekarskienė

Pagarbiai / Best regards

dr. Irena Pekarskienė

Profesorė / Professor



Gintaras Denafas

Kam: Vilius Jokūbas Šlikas

Kopija: Andrius Jaskūnas

😊 ↩️ Atsakyti ↩️ Atsakyti visiems ➡️ Persiųsti 📄 🗨️ ⋮

2026-05-25, Pr 10:51

Studento **Viliaus Jokūbo Šliko** baigiamasis magistro baigiamojo magistro projekto „**Bitumo su polimeriniais priedais gamyba**“ skyrius „**Aplinkosauginis vertinimas**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas **Gintaras Denafas**

↩️ Atsakyti ↩️ Atsakyti visiems ➡️ Persiųsti



Odeta Viliūnienė

Kam: Vilius Jokūbas Šlikas

😊 ↩️ Atsakyti ↩️ Atsakyti visiems ➡️ Persiųsti 📄 🗨️ ⋮

2026-05-27, Tr 07:55

Studento **Viliaus Jokūbo Šliko** baigiamojo magistro projekto „**Bitumo su polimeriniais priedais gamyba**“ skyrius „**Statybiniai sprendimai**“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantė lekt. Odeta Viliūnienė

Pagarbiai

Odeta Viliūnienė

↩️ Atsakyti ➡️ Persiųsti