



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

**Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo  
dulkių gamybos cechas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Brigita Savickaitė**

Projekto autorė

**Prof. dr. Rimvydas Kaminskas**

Vadovas

---

**Kaunas, 2024**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

## **Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas**

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

---

### **Konsultantai**

**Lekt. dr. Odeta Viliūnienė**  
Statybiniai sprendimai

**Prof. dr. Irena Pekarskienė**  
Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai

**Prof. dr. Gintaras Denafas**  
Aplinkosauginis vertinimas

**Doc. dr. Dalia Nizevičienė**  
Darbuotojų sauga ir sveikata

**Brigita Savickaitė**  
Projekto autorė

**Prof. dr. Rimvydas  
Kaminskas**  
Vadovas

**Doc. dr. Anatolijus Eisinis**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2024**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

Brigita Savickaitė

## **Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas**

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.

Brigita Savickaitė

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



## Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:

Cheminės technologijos fakulteto dekanė

Doc. dr. Vaida Kitrytė-Syrpa

Dekanės potvarkis Nr. V25-02-23

2024 gegužės 15 d.

Suderinta:

Silikatų technologijos katedra

Katedros vedėjas

Prof. dr. Raimundas Šiaučiūnas

2024 m. vasario mėn. 9 d.

## Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema

Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas:  
suprojektuoti papildomosios cementinės medžiagos gamybos cechą iš keramzito degimo dulkių.

Darbo uždaviniai:

- ištirti keramzito degimo dulkių pucolaninį aktyvumą ir jų įtaką portlandcemenčio hidratacijai ir kietėjimui;
- suprojektuoti 100 tūkst. t/metus našumo tinkamų savybių priedo cementui gamybos cechą;
- atlikti gamybos technologinius, statybinius ir ekonominius skaičiavimus;
- atlikti projekto aplinkosauginį ir darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimą.

Reikalavimai ir sąlygos

Turi būti visos privalomos baigiamojo projekto sudėtinės dalys kaip nurodyta dekanos 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

Prof. dr. Rimvydas Kaminskas

2024-02-02

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau:

Brigita Savickaitė

2024-02-02

(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Savickaitė, Brigita. Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas / Prof. dr. Rimvydas Kaminskas; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: papildomoji cementinė medžiaga, keramzito degimo dulkės, pucolaninis aktyvumas, sukamoji krosnis.

Kaunas, 2024. 79 p.

### **Santrauka**

Šio projekto tikslas yra suprojektuoti papildomųjų cementinių medžiagų iš keramzito degimo dulkių gamybos cechą, kurio gamybos apimtis yra 100000 tonų per metus. Produkto žaliavos yra keramzito degimo metu elektrostatiškuose filtruose surinktos dulkės iš Čekijos ir Slovakijos keramzito gamyklų.

Atliktas tiriamasis darbas, kurio metu įvertintas terminės keramzito dulkių aktyvacijos poveikis jų pucolaniniam aktyvumui ir įtaka cemento fizinėms, hidratacinėms ir mechaninėms savybėms. Cemento bandiniai buvo formuojami pridedant iki 30 % termiškai aktyvuotos keramzito atliekos ir 20 % originalių atliekų. Tyrimais nustatyta, jog termiškai aktyvuotu priedu galima pakeisti iki 25 % portlandcemenčio, nesumažinant cemento bandinių stiprio gniuždant klasės.

Technologinėje dalyje parinktas gamybos būdas, tinkami technologiniai įrengimai, apskaičiuotas medžiagų balansas ir įrenginių charakteristikos.

Parenkami ir įvertinami gamybos cecho statybiniai sprendimai, atliekami ekonominiai ir finansiniai įmonės skaičiavimai, aplinkosauginis bei darbo saugos ir sveikatos vertinimas. Grafinėje dalyje pateikiama principinė technologinė schema, gamyklos sklypo planas, pastato patalpų ir pagrindinių įrenginių išdėstymas bei jų skersinis pjūvis.

Savickaitė, Brigita. The Workshop for the Production of Supplementary Cementitious Material from Expanded Clay Combustion Dust. Master's Final Degree Project / supervisor prof. dr. Rimvydas Kaminskas; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: Supplementary Cementitious Materials, Expanded Clay production waste, pozzolanic activity, rotary kiln.

Kaunas, 2022. 79 p.

### **Summary**

The purpose of this project is to design the Workshop which will produce 100000 tones of Supplementary Cementitious Materials from Expanded Clay Combustion Dust per year. Raw materials of the product are Dust collected in electrostatic filters during the Combustion of Expanded Clay from Czech Republic and Slovakia Expanded Clay factories.

During research work, effect of thermal activation of Expanded Clay Dust on their pozzolanic activity and the influence of the physical, hydration and mechanical properties of cement were evaluated. Cement samples were formed by adding up to 30 % thermally activated Expanded Clay waste and 20% original waste. Research has shown that up to 25% of Portland cement can be replaced with a thermally activated additive without reducing the compressive strength of cement samples.

In the technological part, the Production method and suitable technological equipment are selected and Material balance and equipment characteristics are calculated

The construction solutions of the production Workshop are selected and evaluated, economic and financial calculations of the company, environmental and workplace safety and health evaluation are performed. The graphic part presents the basic technological scheme, the plan of the factory site, the layout of the building's premises and main facilities and their cross-section.

# Turinys

Lentelių sąrašas .....	9
Paveikslų sąrašas .....	11
Santrumpų ir terminų sąrašas .....	12
Įvadas.....	13
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>14</b>
1.1. Portlandcementis .....	14
1.1.1. Portlandcemenčio cheminė sudėtis.....	14
1.1.2. Portlandcemenčio mineralinė sudėtis .....	15
1.1.3. Portlandcemenčio hidratacija .....	16
1.2. Papildomosios cementinės medžiagos .....	18
1.2.1. PCM klasifikacija .....	19
1.2.2. Cemento su PCM hidratacija.....	20
1.3. Keramzitas .....	21
1.3.1. Keramzito sudėtis ir savybės .....	22
1.3.2. Keramzito gamybos atliekos .....	23
<b>2. Tiriamoji dalis.....</b>	<b>25</b>
2.1. Medžiagos ir metodai .....	25
2.1.1. Medžiagos.....	25
2.1.2. Bandinio paruošimas .....	27
2.1.3. Tyrimo metodai .....	27
2.2. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas .....	28
2.2.1. Keramzito dulkių aktyvavimas.....	28
2.2.2. Keramzito dulkių įtaka cemento tešlos savybėms.....	29
2.2.3. Keramzito dulkių įtaka portlandcemenčio hidratacijai ir kietėjimui.....	30
<b>3. Inžinerinė dalis.....</b>	<b>36</b>
3.1. Technologinė dalis.....	36
3.1.1. Gamybos būdo parinkimas .....	36
3.1.2. Technologinės schemos parinkimas ir aprašymas.....	36
3.1.3. Gamybos cecho darbo režimas .....	37
3.1.4. Gamybos nuostolių skaičiavimas .....	38
3.1.5. Įrenginių parinkimas ir jų parametrų apskaičiavimas .....	38
3.2. Statybiniai sprendimai .....	48
3.2.1. Bendrieji duomenys.....	48
3.2.2. Statinio architektūrinė ir konstrukcinė sandara .....	48
3.2.3. Bendrųjų statinio inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai.....	49
3.2.4. Orientacinės statinio naujos statybos kainos apskaičiavimas.....	49
3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai.....	50
3.3.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė.....	50
3.3.2. Projekto investicijos ir jų finansavimo šaltiniai .....	51
3.3.3. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas .....	52
3.3.4. Trumpalaikio turto vertės skaičiavimas.....	52
3.3.5. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinosios pajamos.....	53
3.3.6. Gamybos kaštai .....	53
3.3.7. Veiklos kaštai .....	58

3.3.8. Finansinės ir investicinės sąnaudos .....	59
3.3.9. Gaminio kainos skaičiavimas .....	60
3.3.10. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai.....	60
3.3.11. Investicijų efektyvumo įvertinimas .....	61
3.4. Aplinkosauginis vertinimas .....	63
3.4.1. Bendrieji duomenys.....	64
3.4.2. Atliekų tvarkymas .....	65
3.4.3. Naudojamas vanduo ir nuotekos .....	65
3.4.4. Aplinkos oro tarša.....	66
3.4.5. Aplinkosauginio įvertinimo išvados.....	67
<b>4. Darbuotojų sauga ir sveikata .....</b>	<b>68</b>
4.1. Projektuojamo objekto charakteristika .....	68
4.2. Profesinės rizikos vertinimas.....	68
4.3. Saugi gamyba .....	71
4.4. Darbo higiena .....	72
4.5. Gaisrinė sauga .....	73
4.6. Darbo saugos ir sveikatos išvados .....	75
<b>Išvados .....</b>	<b>76</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>77</b>
1 Priedas .....	81
2 Priedas .....	83
3 Priedas .....	85
4 Priedas .....	87
5 Priedas .....	89



## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Portlandcemenčio cheminė sudėtis .....	15
2 lentelė. Cemento gamybos žaliavos .....	15
3 lentelė. Skirtingų keramzito bandinių cheminė sudėtis [17] .....	23
4 lentelė. Dulkių ir portlandcemenčio cheminė sudėtis .....	25
5 lentelė. OPC konsistencija ir stingimo laikas .....	29
6 lentelė. Darbo režimo duomenys .....	38
7 lentelė. Reikalingas žaliavų kiekis .....	38
8 lentelė. Bunkerio keramzito dulkėms sandėliuoti techninės charakteristikos .....	39
9 lentelė. Sraigtinio transporterio keramzito dulkėms tiekti techninės charakteristikos .....	42
10 lentelė. Juostinio transporterio keramzito dulkių granulėms transportuoti techninės charakteristikos .....	43
11 lentelė. Siloso PCM sandėliavimui techninės charakteristikos .....	45
12 lentelė. Granuliatoriaus techninės charakteristikos [23] .....	47
13 lentelė. Sukamosios krosnies charakteristikos [24] .....	47
14 lentelė. Aušintuvo techninės charakteristikos [25] .....	47
15 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai .....	48
16 lentelė. Suvestinės statybos kainos skaičiavimas .....	50
17 lentelė. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai .....	52
18 lentelė. Technologinių įrengimų vertė .....	52
19 lentelė. Trumpalaikio turto poreikis .....	52
20 lentelė. Produkcijos gamybos apimtis .....	53
21 lentelė. Išlaidos žaliavoms ir medžiagoms .....	53
22 lentelė. Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui .....	54
23 lentelė. Tiesioginės išlaidos elektros energijai .....	54
24 lentelė. Tiesioginės išlaidos vandeniui .....	55
25 lentelė. Tiesioginės išlaidos dujoms .....	55
26 lentelė. Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui .....	55
27 lentelė. Netiesioginės išlaidos vandeniui .....	56
28 lentelė. Netiesioginės išlaidos gamybinių patalpų šildymui .....	56
29 lentelė. Netiesioginės išlaidos patalpų apšvietimui .....	56
30 lentelė. Pagrindinių priemonių amortizacija .....	57
31 lentelė. Netiesioginių gamybos išlaidų sąrašas .....	57
32 lentelė. Gamybos kaštai .....	58
33 lentelė. Veiklos kaštai .....	59
34 lentelė. Veiklos išlaidos gaminiui .....	59
35 lentelė. Palūkanų mokėjimo ir paskolos gražinimo planas .....	59
36 lentelė. Gaminio kainos skaičiavimai .....	60
37 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita .....	60
38 lentelė. Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita .....	61
39 lentelė. Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai (GPS) .....	61
40 lentelė. Projekto ekonominio vertinimo rodikliai .....	62
41 lentelė. Lūžio taškas .....	62
42 lentelė. Projekto balansas .....	63
43 lentelė. Duomenys apie naudojamą žaliavą [26] .....	64

<b>44 lentelė.</b> Kuro ir elektros energijos suvartojimas.....	64
<b>45 lentelė.</b> Šiluminė energija patalpoms šildyti .....	64
<b>46 lentelė.</b> Žaliavų transportavimas ir sandėliavimas .....	64
<b>47 lentelė.</b> Atliekų tvarkymo būdai .....	65
<b>48 lentelė.</b> Numatomas vandens tiekimas ir vartojimas.....	66
<b>49 lentelė.</b> Duomenys apie nuotekų šaltinius ir išleistuvus.....	66
<b>50 lentelė.</b> Tarša į aplinkos orą .....	66
<b>51 lentelė.</b> Išmetamųjų dujų įrenginiai ir kitos taršos prevencijos priemonės .....	67
<b>52 lentelė.</b> Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [29, 30, 31, 32, 33, 34 ].....	69
<b>53 lentelė.</b> Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai [35].....	70
<b>54 lentelė.</b> Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorija pagal sprogo ir gaisro pavojų, pavojingų vietų zonos [36] .....	71
<b>55 lentelė.</b> Apšvietos ribinės vertės.....	72
<b>56 lentelė.</b> Gaisro klasė ir ugnį gesinanti medžiaga.....	73
<b>57 lentelė.</b> Žmonių evakavimo plano sutartiniai ženklai .....	74

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> a) C <sub>3</sub> S kristalai, mažesni nei 10 μm; b) C <sub>2</sub> S kristalai, mažesni nei 1 μm.....	16
<b>2 pav.</b> Ca(OH) <sub>2</sub> nuosėdos, įsiterpusios į C-S-H gelį .....	18
<b>3 pav.</b> Papildomųjų cementinių medžiagų klasifikacija.....	20
<b>4 pav.</b> Keramzito granulės.....	22
<b>5 pav.</b> Keramzito poros .....	23
<b>6 pav.</b> Originalių (1) ir aktyvuotų (2) keramzito dulkių RSDA kreivės .....	26
<b>7 pav.</b> Keramzito dulkių vienalaikės terminės analizės (1 – TG, 2 – DSK) kreivės.....	26
<b>8 pav.</b> ECD dalelių dydžio pasiskirstymas.....	27
<b>9 pav.</b> ECD ir aktyvuoto ECD amorfinės fazės kiekis ir pucolaninis aktyvumas.....	29
<b>10 pav.</b> Šilumos išsiskyrimo kreivė: OPC – kontrolinis; RECD10 – 10 % priedo; RECD20 – 20 % priedo; RECD30 – 30 % priedo; ECD20 – 20 % nedegto priedo .....	30
<b>11 pav.</b> Šilumos išsiskyrimo kreivė: OPC – kontrolinis; RECD10 – 10 % priedo; RECD20 – 20 % priedo; RECD30 – 30 % priedo; ECD20 – 20 % nedegto priedo .....	30
<b>12 pav.</b> Mėginių RSDA analizės rezultatai po 28 dienų hidratacijos .....	31
<b>13 pav.</b> Vienalaikės terminės analizės rezultatai po 28 parų .....	32
<b>14 pav.</b> Masės nuostoliai bandiniuose 90 – 220 °C temperatūros intervale skirtingu hidratacijos metu .....	33
<b>15 pav.</b> Portlandito kiekis cemento tešloje skirtingu hidratacijos metu.....	33
<b>16 pav.</b> Bandinių stipris gniuždant po 28 dienų hidratacijos .....	34
<b>17 pav.</b> Principinė technologinė schema .....	37
<b>18 pav.</b> Lūžio taškas.....	63

## Santrumpų ir terminų sąrašas

### Santrumpos:

C – CaO;

S – SiO<sub>2</sub>;

A – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

H – H<sub>2</sub>O;

F – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

C<sub>3</sub>S – trikalcio silikatas;

C<sub>2</sub>S – dikalcio silikatas;

C<sub>3</sub>A – trikalcio aluminatas;

C-S-H – kalcio hidrosilikatai;

PCM – papildomosios cementinės medžiagos;

ECD – keramzito gamybos dulkės;

RECD – aktyvuotos keramzito gamybos dulkės;

TGA – termogravimetrinė analizė;

DSK – diferencinė skenuojamoji kalorimetrija;

OPC – cemento tešla;

RSDA – rentgeno spindulių difrakcinė analizė;

V/C – vandens ir cemento santykis.

## **Įvadas**

Cementas yra svarbi statybinė medžiaga visame pasaulyje ir dėl jos didelio poreikio cemento gamybos metu į aplinką išmetami dideli šiltnamio efektą sukeliančių emisijų kiekiai. Siekiant mažinti šį neigiamą poveikį aplinkai, dalis portlandcemenčio klinkerio yra pakeičiama papildomomis cementinėmis medžiagomis, tačiau, dėl besikeičiančių aplinkosauginių reikalavimų ir alternatyvių energijos šaltinių naudojimo, šių medžiagų resursai mažėja. Nepaisant to, cemento paklausa toliau didėja, tad atsiranda didesnis naujų papildomų cementinių medžiagų šaltinių poreikis.

Pakeičiant dalį portlandcemenčio klinkerio papildomosiomis cementinėmis medžiagomis, sumažinama aplinkos tarša bei gamybos kaštai, ypač naudojant kitos pramonės gamybos metu susidariusias atliekas. Šiame projekte bus tiriama galimybė panaudoti keramzito gamybos metu susidariusias dulkes kaip papildomąją cementinę medžiagą, taip mažinant CO<sub>2</sub> emisijas ir gerinant produkto kokybę, bei projektuojamas šios medžiagos gamybos cechas.

**Darbo tikslas** – suprojektuoti papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechą.

### **Darbo uždaviniai:**

1. ištirti keramzito degimo dulkių pucolanių aktyvumą ir jų įtaką portlandcemenčio hidratacijai ir kietėjimui;
2. suprojektuoti 100 tūkst. t/metus našumo tinkamų savybių priedo cementui gamybos cechą;
3. atlikti gamybos technologinius, statybinius ir ekonominius skaičiavimus;
4. atlikti projekto aplinkosauginį ir darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimą.

## 1. Literatūros apžvalga

### 1.1. Portlandcementis

Portlandcementis – tai plačiai naudojama cemento rūšis [1]. Šie pilkai žalsvos spalvos milteliai yra gera hidraulinė rišamoji medžiaga. Portlandcementis gaunamas iš daug kalcio karbonato turinčių uolienuų (kreida, klintis) ir molio arba molingų uolienuų [2].

Portlandcementis gaminamas trimis etapais:

1. žaliavų mišinio paruošimas;
2. klinkerio gamyba;
3. cemento paruošimas.

Klinkerio gamybos metu teoriškai reikia apie 1700 J/g energijos, tačiau reali energijos sąnaudų vertė yra daug didesnė ir gali siekti iki 3000 J/g. Dėl šios priežasties cemento gamyboje energijos poreikis bei šiltnamio efektą sukeliančių dujų – anglies dioksido – išmetamas kiekis yra labai didelis [1]. Siekiant šiuos rodiklius mažinti, svarbu išanalizuoti cemento gamybą ir keisti ją ekologiškesnėmis alternatyvomis.

#### 1.1.1. Portlandcemenčio cheminė sudėtis

Portlandcementis yra hidraulinė rišamoji cementinė medžiaga, gauta smulkiai sumalus cemento klinkerį su gipso priedu. Portlandcemenčio klinkeris formuojamas išdegant vienalytį žaliavų mišinį, vadinamą įkrova. Klinkerį sudarantys pagrindiniai oksidai yra CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ir Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Klinkeryje kalcio oksido (CaO) dalis svyruoja nuo 63 iki 66%, SiO<sub>2</sub> sudaro 21–24%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yra 4–8%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2–4 %, o kitų oksidų (MgO, R<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub> ir kt.) yra mažiau, tačiau jie taip pat turi įtakos klinkerio reakcijoms ir cemento savybėms.

Klinkeryje esant daugiau CaO, portlandcementis greičiau kietėja, tampa stipresnis, tačiau cementas yra mažiau atsparus aplinkos poveikiui. Kuo daugiau SiO<sub>2</sub>, tuo cementas lėčiau kietėja pradžioje, tačiau įgauna didesnę stiprumą, yra atsparesnis aplinkos veiksniams. Esant didesniai Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kiekiui klinkeryje, cementas greičiau kietėja, bet tampa mažiau atsparus aplinkai, kurioje yra sulfatų, chloridų ir kitų agresyvių jonų. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mažina klinkerio sukepimo temperatūrą.

MgO kiekis klinkeryje negali viršyti 5 %, siekiant neperdegti magnio oksido, taip jam virstant periklazu, kuris sukelia vidinius kietėjančio cemento įtempimus. Taip pat, klinkeryje gali būti tik nedideli šarminių oksidų kiekiai (<1 %), siekiant išvengti vadinamosios „šarmų – silicio“ reakcijos, dėl kurios, susidarius šarminiams silikatų kristalohidratams, betonai praranda stiprumą.

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> klinkeryje gali būti apie 0,2–0,3 % - taip didinamas klinkerio hidratacijos aktyvumas.

Klinkeryje dominuoja kalcio oksidas, todėl žaliavoje portlandcemenčio klinkeriui gauti turi būti gausu šio oksido. Pagrindinės žaliavos, naudojamos klinkeriui gaminti, yra kalcitinės uolienos, kuriose vyrauja CaO – klintis, kreida ir molis su SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Klintis yra tanki nuosėdinė uoliena, kurios sudėtyje yra kalcito mineralas (CaCO<sub>3</sub>). Taip pat, klintyje be kalcito randama ir molio, kvarco ir dolomito. Siekiama, kad kalcitinėje uolienoje būtų ≥ 85 % CaCO<sub>3</sub>, < 7 % MgCO<sub>3</sub>, o SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bei Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 8 % [3].

Portlandcemenčio cheminė sudėtis priklauso nuo cemento naudojimo tipo, naudojamų žaliavų bei jų sudėties. 1 lentelėje pateikiama pagrindinė cemento sudėtis procentais [4].

**1 lentelė.** Portlandcemenčio cheminė sudėtis

Oksidas	Sudėtis, %
CaO	60–67
SiO <sub>2</sub>	18–25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3–8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5–6
MgO	0,1–4
SO <sub>3</sub>	2,4
Na <sub>2</sub> O	0,13

Nors cemento klinkerio sudėtyje svarbiausi tik keturi ankščiau minėti oksidai, skirtingose šalyse žaliavų šaltiniai gali skirtis, priklausomai nuo esančių gamtinių išteklių. 2 lentelėje pateikiami įvairių žaliavų variantai [3].

**2 lentelė.** Cemento gamybos žaliavos

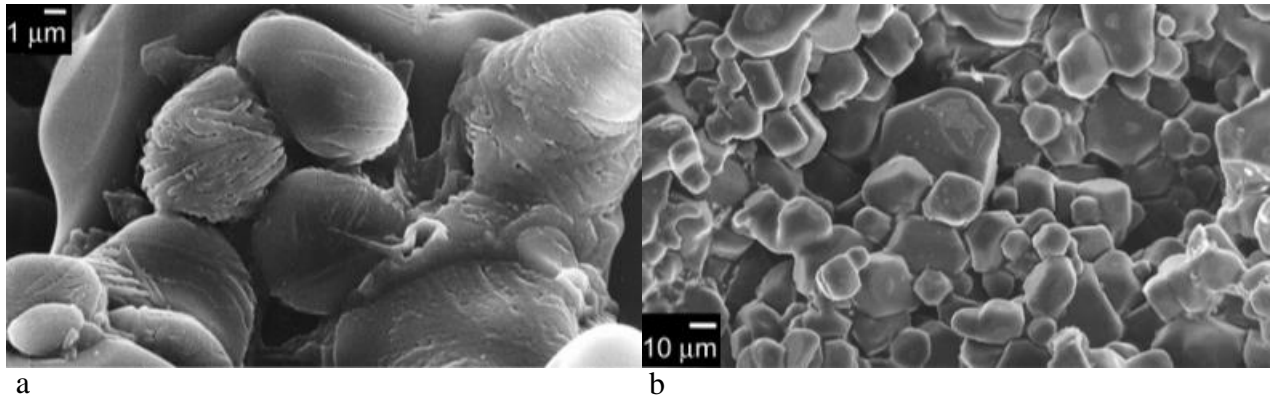
Žaliava	Tiekiamas oksidas				
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
Dažniausiai naudojami	Aragonitas Kalcitas Klintis Kreida Kreios mergelis Skalūnai	Smėlis Molis Kreidos mergelis Kvarcitas Skalūnai	Aliuminio rudos atliekos Boksitai Molis Lakieji pelenai Skalūnai	Molis Geležies rūda Skalūnai	Anhidritas Gipsas
Alternatyvi	Marmuras Šlakas Kriauklės	Šlakas Lakieji pelenai Ryžių lukštų pelenai Liosas	Šlakas Liosas Staurolitas Granodioritas	Aukštakrosnių dulkės Pirito degenos	Fosfogipsas Borogipsas

### 1.1.2. Portlandcemenčio mineralinė sudėtis

Išdegus portlandcemenčio įkrovą maždaug 1450 °C temperatūroje ir ją ataušinus, klinkeryje susiformuoja šie kalcio silikatai, kalcio aluminatai ir kalcio aliumoferitai, reaguojantys su vandeniu:

- Ca<sub>3</sub>SiO<sub>5</sub>; 3CaO · SiO<sub>2</sub>; C<sub>3</sub>S – trikalčio silikatas, klinkeryje esantis kietasis tirpalas vadinamas alitu (žiūrėti 1a pav.).
- Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>; 2CaO · SiO<sub>2</sub>; C<sub>2</sub>S – dikalcio silikatas, klinkeryje esantis kietasis tirpalas vadinamas belitu (žiūrėti 1b pav.).
- Ca<sub>3</sub>A; 3CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; C<sub>3</sub>A – trikalčio aluminatas.
- Ca<sub>4</sub>AF; 4CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – tetrakalcio aliumoferitas, klinkeryje susidaręs mineralas vadinamas braunmilleritu.

Pirmieji du mineralai sudaro silikatinę portlandcemenčio fazę, o trikalčio aluminatas ir tetrakalcio aliumoferitas sudaro aluminatinę fazę, sujungiančia silikatinę fazę.



**1 pav.** a) C<sub>3</sub>S kristalai, mažesni nei 10 μm; b) C<sub>2</sub>S kristalai, mažesni nei 1 μm [5]

Terminai „alitas“ ir „belitas“ naudojami atitinkamai C<sub>3</sub>S ir C<sub>2</sub>S su priemaišomis, kurios įsiterpia į mineralus iš žaliavų įkrovos bei kuro, apibūdinti [5].

Dėl esančių priemaišų, be įvardintų keturių pagrindinių mineralų, cemente yra nedidelis kiekis laisvojo kalcio oksido, magnio oksido ir šarmų – šių junginių bendras kiekis neturi būti didesnis 10 % [6].

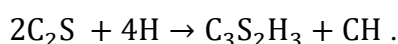
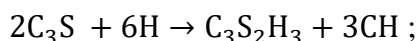
Kai kurie iš šių mineralų gali kristalizuotis į kitas polimorfines modifikacijas, priklausomai nuo esančių priemaišų kristalinėje struktūroje. Vienas iš pavyzdžių – trikalcio aluminatas. Gryno C<sub>3</sub>A mineralo kristalai sudaro kubinę gardelę, toks mineralas labai reakcingas, tačiau yra nesunku suvaldyti jo greitą hidrataciją. Kai tam tikras šarmų kiekis įsiterpia į C<sub>3</sub>A gardelę, ji kristalizuojasi į ortorombinę ar net monoklinę formą – taip mažėja mineralo aktyvumas, tačiau reakcija valdoma sunkiau [5].

### 1.1.3. Portlandcemenčio hidratacija

Portlandcemenčio hidratacija – tai cheminių reakcijų tarp klinkerio komponentų, kalcio sulfato ir vandens seka, cementui tirštėjant ir kietėjant. Nors portlandcemenčio hidratacijos reakciją geriausiai apibūdina C<sub>3</sub>S reakcija su vandeniu, kiti parametrai taip pat turi įtakos šiam procesui.

Portlandcemente esantys junginiai yra anhidridai ir, susijungę su vandeniu, sudaro hidratuotus junginius. Vykstant reakcijai, susidaro persotinti tirpalai, iš kurių palaipsniui nusėda susidarancios medžiagos. Daugiausiai stebimos atskirų komponentų reakcijos vandeninėje aplinkoje, jų hidratacijos kinetika ir susidarantys skirtingi produktai.

Daugiau nei 80 % portlandcemenčio sudaro silikatinės fazės – trikalcio ir dikalcio silikatai. Kaip parodyta toliau pateiktose cheminėse lygtyse, šių fazių hidratacijos produktai yra kalcio hidrosilikatai ir kalcio hidroksidas, dar vadinamas portlanditu.



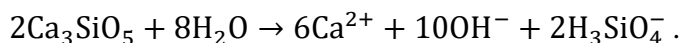
Daugiausiai analizuojama trikalcio silikato hidratacijos reakcija. Šis egzoterminis procesas vyksta penkiais etapais:

1. priešindukcinis periodas;
2. indukcijos periodas;

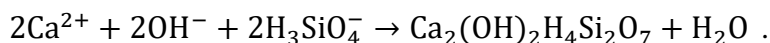


3. pagreitėjimo periodas;
4. lėtėjimo periodas;
5. lėtasis periodas.

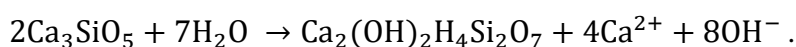
Pirmasis periodas trunka tik keletą minučių, maišymo metu ir iškart po jo. Šio proceso metu susidaro pradinis C-S-H gelio sluoksnis ant C<sub>3</sub>S paviršiaus. Vyksta momentinė reakcija, O<sup>2-</sup> ir SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup> jonams virstant į OH<sup>-</sup> ir H<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup> ir vyksta protonuoto paviršiaus tirpimas, kaip matoma lygtyje žemiau.



Tirpalas greitai persotinamas C-S-H gelio ir yra nusodinamas.



Šias lygtis sujungus, gaunama tokia reakcijos lygtis bei reakcijos produktai:

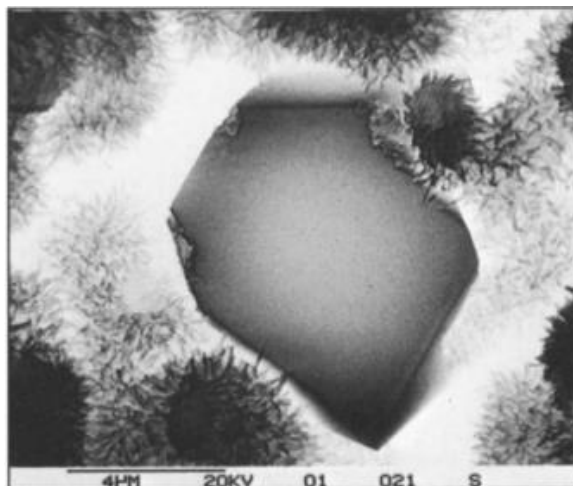


Indukcijos laikotarpiu hidratacijos aktyvumas mažesnis, C-S-H gelis lėtai nusodinamas, o Ca<sup>2+</sup> ir OH<sup>-</sup> jonų koncentracija didėja. Pasiekus kritinį persotinimą, atsiranda kalcio hidroksido nuosėdų. Pastebimas hidratacijos pagreitėjimas, rodantis indukcijos laikotarpio pabaigą. Remiantis viena iš teorijų, šio periodo pabaigoje vykstant tolimesnei hidratacijai susidaro didelė osmosinė jėga, susidaręs C-S-H gelio sluoksnis plyšta, taip į tirpalą patenkant silikatams ir masiškai formuojasi C-S-H gelis. Kitas hidratacijos aktyvumo padidėjimo paaiškinimas remiasi šiuo mechanizmu – manoma, jog gelio sluoksnis patiria morfologinius pokyčius, todėl padidėja jo pralaidumas. Be to, yra manoma, jog susidarius kalcio hidroksido nuosėdoms, jos nusėda ant aktyvių medžiagų vietų ir sudaro branduolius. Jiems pasiekus kritinį dydį, hidratacijos greitis padidėja. Šis periodas trunka kelias valandas.

Indukcijos laikotarpio pabaigoje tik nedidelė dalis C<sub>3</sub>S yra hidratuota. Greitėjimo ir lėtėjimo periodai, dar bendrai vadinami „reguliavimo laikotarpiu“, reiškia greičiausios hidratacijos intervalą. Pagreitėjimo laikotarpiu iš tirpalo kristalizuojasi Ca(OH)<sub>2</sub> nuosėdos (žr. 2 pav.), o C-S-H gelis nusėda į vandens užpildytą erdvę. Hidratai suauga, susidaro vientisas tinklas ir sistema stiprėja. Jos poringumas, nusėdant hidratams, mažėja, jonai ir vanduo sunkiau juda per gelio tinklą ir hidratacijos greitis sulėtėja. Aplinkos sąlygomis, šis procesas trunka kelias dienas.

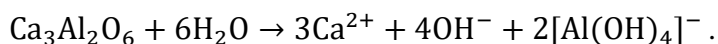
Lėtėjimo laikotarpio metu vyksta lėta hidratacija dėl mažėjančio sistemos poringumo, hidratuotų produktų tinklas tampa vis tankesnis ir stipresnis. Pastebima C-S-H gelio silikatų anijonų polimerizacija. Aplinkos sąlygomis šio periodo trukmė nėra apibrėžta.

Aliuminato fazės, ypač C<sub>3</sub>A, yra reakcingos trumpu hidratacijos metu. Nors šių komponentų yra daug mažiau nei silikatų, jie daro didelę įtaką cemento teslos reologijai bei pradiniam sustingusio cemento stiprumui.

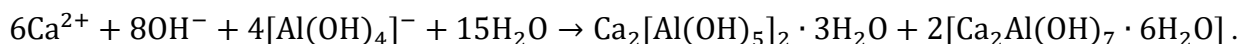


**2 pav.** Ca(OH)<sub>2</sub> nuosėdos, įsiterpusios į C-S-H gelį [7]

Kaip ir C<sub>3</sub>S, prasidėjus trikalčio aluminato hidratacijai, anhidridinės medžiagos paviršius sąveikauja su vandeniu – ši negrįžtama reakcija sukelia paviršinių anijonų AlO<sub>2</sub><sup>-</sup> ir O<sub>2</sub><sup>-</sup> hidroksilinimą į [Al(OH)<sub>4</sub>]<sup>-</sup> ir OH<sup>-</sup>.

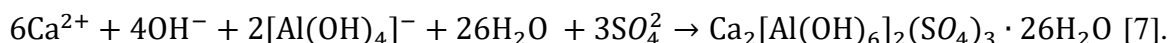


Tirpalas greitai tampa persotintas kalcio aluminato hidratu, todėl susidaro jų nuosėdos.



Skirtingai nuo kalcio hidrosilikatų, kalcio aluminato hidratai nėra amorfiniai ir nesudaro apsauginio C<sub>3</sub>A sluoksnio. Indukcijos periodas nevyksta ir hidratacija labai greitai baigiasi. Jei tokiai nekontroliuojamai hidratacijai leidžiama vykti portlandcemenčio suspensijoje, patiriama daug reologinių sunkumų.

C<sub>3</sub>A hidratacija kontroliuojama pridedant 3–5 % gipso, kurio dalis ištirpsta vandenyje. Kalcio ir sulfato jonai reaguoja su aluminato ir hidroksilo jonais, taip susidarant trisulfoaluminato hidratui, dar žinomam kaip etringitas.



## 1.2. Papildomosios cementinės medžiagos

Betono gamyba labai prisideda prie statybos pramonės anglies dvideginio išmetimo ir išteklių eikvojimo. Portlandcementį pakeitus papildomomis cementinėmis medžiagomis (trumpiau – PCM) galima pagerinti statybos pramonės tvarumą ir eksploatacines savybes [8].

Papildomosios cementinės medžiagos yra tirpūs silicio, aliuminio silicio arba kalcio aliuminio silicio milteliai, naudojami kaip dalinis pakaitalas cemento gaminiuose ir portlandcemenčio mišiniuose.

Daugelis šiuo metu naudojamų PCM medžiagų yra kitų pramonės šakų šalutiniai produktai, pvz.: akmens anglimi kūrenamų elektrinių lakieji pelenai. Taip pat naudojami ir kai kurie natūralūs mineralai, kurių energijos sąnaudos perdirbant yra daug mažesnės nei naudojant portlandcementį.

PCM šiuo metu yra viena pagrindinių su betono gamyba susijusių anglies dioksido emisijų mažinimo priemonių. Nors 2009 metais Cemento technologijos veiksmų plane buvo nustatyti keturi išmetamųjų

teršalų mažinimo būdai, įskaitant šiluminį ir elektros efektyvumą, alternatyvų kurą, klinkerio pakeitimą ir anglies surinkimą bei saugojimą, nustatyta, jog papildomųjų cementinių medžiagų naudojimas daro mažiausią neigiamą įtaką cemento ir betono gamybai [9].

Yra keletas sparčiai besivystančių technologijų ir metodų, kurie gali būti pasiūlyti naudoti netolimoje ateityje. Viena jų – alternatyvūs cementai, įprastą portlandcemenčio klinkerį keičiant jelimitu/feritais, kurių gamybos metu išsiskiriantis CO<sub>2</sub> kiekis yra žymiai mažesnis. Taip pat, pastebima ir kalcio hidrosilikatinių bei šarmais aktyvuotų cementų svarba. Išbandomos technologijos, kuriomis naudojantis betono gaminiai gaminami juos karbonizuojant, o ne hidratuojant – šiuo būdu CO<sub>2</sub> išmetimas gali būti sumažinamas iki 70 %. Tačiau dabartinėje situacijoje šie būdai yra labai riboti ir neekonomiški, tad galima teigti, jog artimoje ateityje toliau dominuos cemento gaminiai iš portlandcemenčio klinkerio.

Šiuo metu cimente įprastai pakeičiama tik apie 20 % portlandcemenčio klinkerio papildomomis cementinėmis medžiagomis dėl ribotų išteklių. Manoma, kad pakeičiant 40 % klinkerio papildomomis cementinėmis medžiagomis, būtų išmetama 400 milijonų tonų mažiau CO<sub>2</sub> per metus [10].

Be ekologinių veiksnių, betono pramonei svarbu ir PCM poveikis produktų mechaninėms savybėms ir betono mišinių tvarumui, nes taip gerinamas betono mišinių efektyvumas (pvz.: didinant stiprumo ir masės santykį) ir gaminių eksploatavimo laikas.

Dėl šių priežasčių šiuolaikiniuose betono mišiniuose visuomet naudojamos papildomosios cementinės medžiagos, tokios kaip lakieji pelenai, sumalti granuliuoti aukštakrosnių šlakai ir silicio dioksido mikrodulkės (mikrosilika). Tačiau šių atliekų kiekiai mažėja dėl spartaus elektrinių uždarymo, jas keičiant ekologiškesnėmis alternatyvomis – JAV buvo uždaryta daugiau nei 40 % anglimi kūrenamų elektrinių, Jungtinė Karalystė planuoja nutraukti visą anglimi kūrenamų elektrinių eksploataciją iki 2025 metų, o Olandija – iki 2030 metų. Nepaisant to, cemento paklausa didėja toliau, tad akivaizdu, jog atsiranda didesnis naujų papildomų cementinių medžiagų šaltinių poreikis [9].

### **1.2.1. PCM klasifikacija**

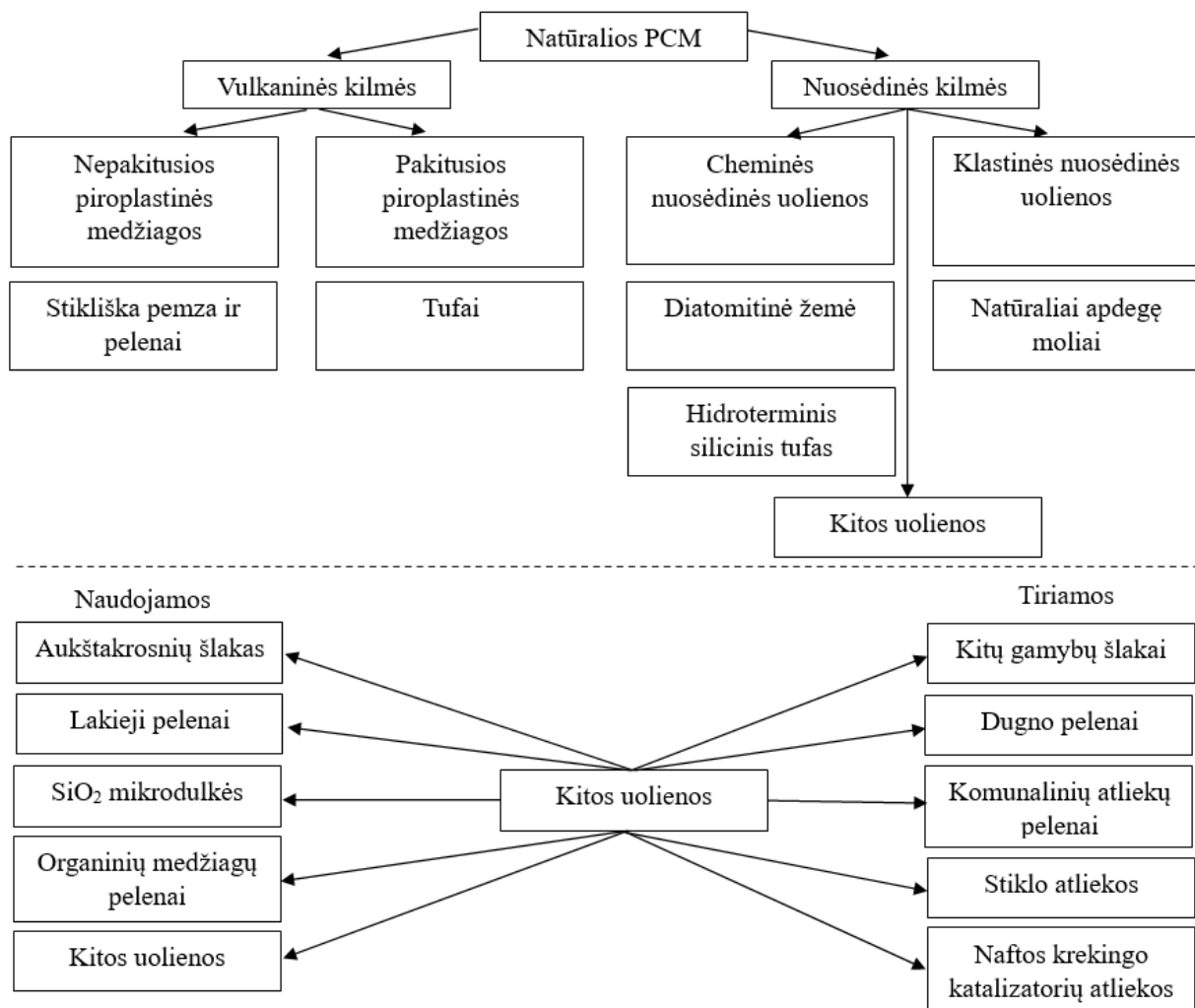
Yra siūlomi keli klasifikavimo principai bei metodai: pagal jų aktyvumą, kilmę, sąveikos su cemento hidratais mechanizmą ar kitus požymius [3]. Nors visuotinai priimta, kad PCM pucolaninis aktyvumas bei hidratacija daugiausiai priklauso nuo fizikinių ir cheminių savybių, o ne nuo jų kilmės, labiausiai naudojama ir pripažįstama klasifikacija, pagrįsta PCM kilme (žr. 3 pav.).

Išskiriamos dvi plačios PCM kategorijos – natūralios ir dirbtinės medžiagos. Pirmosios grupės medžiagos gali būti naudojamos natūralia forma, daugeliu atveju jos sijoamos ir malamos. Įprastos natūralios PCM yra piroklastinės ir daug silicio turinčios nuosėdinės uolienos.

Dirbtinių PCM grupė apima medžiagas, kurios gamybos proceso metu buvo struktūriškai modifikuotos. Dirbtinės medžiagos gali būti gaminamos tikslingai, pvz.: termiškai aktyvuojant kaolininius molius, siekiant gauti metakaoliną, arba gaunamos kaip šalutiniai produktai ir atliekos, susidarantys veikiant aukštomis temperatūroms – aukštakrosnių šlakai, lakieji pelenai ar mikrosilika.

Didžioji dauguma šiuo metu naudojamų natūralių pucolaninių medžiagų yra vulkaninės kilmės dėl plačiai paplitusių vulkaninių uolienų telkinių. Tačiau ne visos vulkaninės uolienos yra tinkamos –

pastebėta, kad piroklastinės medžiagos, susidariusios dėl ugnikalnių išsiveržimų (pelenai, pemzos) pasižymi didesniu pucolaninio aktyvumu dėl didesnio silicio dioksido kiekio.



3 pav. Papildomųjų cementinių medžiagų klasifikacija [3]

Taip pat naudojamos ir biocheminės nuosėdos, susidariusios iš mikroorganizmų skeletų, kuriose gausu kalkinių biogeninių medžiagų ir detritinių nuosėdų, tokių kaip molio mineralai.

Dėl natūraliai esančių PCM kiekio trūkumo buvo pradėti naudoti termiškai aktyvuotos medžiagos: degti moliai, skalūnai, sudegintos žemės ūkio atliekos.

Plečiantis pramonei, pastebėta, jog didelė dalis pramonės atliekų, tokių kaip aukštakrosnių šlakai, lakieji pelenai, mikrosilika, taip pat gali būti panaudojama kaip PCM dėl didelio silicio, aliuminio, kalcio ir geležies oksidų kiekio [10].

### 1.2.2. Cemento su PCM hidratacija

Portlandcemenčio klinkerio fazių hidratacijos reakcijas papildė pridėtų papildomų cementinių medžiagų pucolaninės ir hidratacijos reakcijos. Nors klinkerio fazių hidratacijos procesai vyksta kitais mechanizmais ir greičiu nei PCM reakcijos, mišriuose cementuose papildomosios medžiagos

daro įtaką klinkerio hidratacijai. Reakcijos kinetika, produktai ir cemento tešlos savybės gali keistis, pakeičiant dalį portlandcemenčio klinkerio papildomosiomis cemento medžiagomis.

Pagrindinė portlandcemenčio sudedamoji dalis yra  $C_3S$ , kuris sudaro 60-70 % cemento. Esant PCM priedui, spartėja  $C_3S$  hidratacija, padidėja šilumos išsiskyrimo greitis per pagrindinį reakcijos periodą bei bendras šilumos kiekis. Tam įtakos daro priedo smulkumas – pastebėta, jog priešindukcinis laikotarpis pailgėja, o indukcijos – sutrumpėja, esant mažesnėms priedo dalelėms. Šis reiškinys vadinamas užpildo efektu. Visgi, pastebėta, jog esant labai smulkiems priedams, hidratacijos greitis sumažėja, nes esant dideliame vandens poreikiui dalelės riboja vandens kiekį, galintį dalyvauti hidratacijos ir pucolaninėje reakcijoje. Taip pat, mažo savitojo paviršiaus ploto PCM, pavyzdžiui, pelenai, pailgina indukcijos laikotarpį, tačiau padidina išsiskiriančią suminę šilumą. Ši priklausomybė siejama su  $Ca^{2+}$  jonų adsorbcija ir C-S-H gelio susidarymui ant PCM paviršiaus. Dėl šios priežasties reakcijos produktų sluoksnis ant PCM dalelių yra plonesnis, o  $C_3S$  tirpimas trunka ilgiau [10].

Taip pat, nagrinėjant cemento mišinius su kalcitu, pastebėtas hidratacijos pagreitėjimas, lyginant su mišiniais, kuriame yra silicio dioksido priedo. Tai siejama su kalcito paviršiaus tarpfazinėmis savybėmis, jo gebėjimu dalyvauti jonų mainų reakcijose ir mažesne energija, reikalinga C-S-H branduolių susidarymui. Kalcito paviršius turi geresnį giminingumą su  $Ca^{2+}$  jonais, tad susidaro tankesnis C-S-H gelio sluoksnis, kalcio jonai adsorbuojasi į kalcito paviršių donoriniais-akceptoriniais mechanizmais, o mažas jų judrumas palengvina didesnę tirpalo persotinimą ir gausesnį branduolių susidarymą, kurie auga į C-S-H makroskopines daleles.

Nustačius mikrosilikos ir metakaolinito įtaką cemento hidratacijai kalorimetriniu metodu, pastebėta, jog silicio dulkės pagreitina  $C_3S$  hidrataciją esant nedideliame pakeitimo lygiui dėl papildomų C-S-H nukleacijos vietų. Šis poveikis mažėja didinant silicio dulkių priedo kiekį dėl dalelių aglomeracijos. Metakaolinito dalelės yra didesnės ir mažiau jautrios aglomeracijai, tačiau, didėjant pakeitimo kiekiui, išsiskiria aliuminato jonai, slopinantys  $C_3S$  tirpimą ir stabdantys C-S-H branduolių augimą.

Vėlesniame hidratacijos laikotarpyje, didėjant PCM reakcijos laipsniui, pastebimas iš priedų ištirpusių aliuminatų ir silikatų kiekis, kuris keičia C-S-H fazės sudėtį, mažėja Ca/Si santykis, o Al/Si – didėja. Be to, kinta ir C-S-H morfologija, o tai gali daryti įtakos gaminio tankiui [11].

### 1.3. Keramzitas

Keramzitas – tai lengvos, porėtos granulės (žr. 3 pav.), gaminamos deginant molį 1100 – 1200 °C temperatūroje sukamojoje krosnyje.

Granulės yra apvalios formos ir iki 32 mm dydžio, vidutinis jų tankis – 350 kg/m<sup>3</sup>. Gautos granulės yra sijojamos ir rūšiuojamos, kad atitiktų paskirtį.

Keramzitas pasižymi šiomis savybėmis:

- nedidelis svoris;
- didelis pralaidumas dujoms ir skysčiams;
- patvarumas;
- gera garso ir šilumos izoliacija;

- atsparumas cheminiam poveikiui;
- atsparumas šalčiui;
- ilgas eksploatacijos laikas;
- natūralus, aplinkai nekenkiantis produktas.



**4 pav.** Keramzito granulės [12]

Dėl šių priežasčių keramzitas yra geras užpildas, tinkantis įvairioms reikmėms. Granulės yra lengvos, todėl tai puikus sprendimas statant ant silpno grunto arba mažinant senos ir jautrios konstrukcijos apkrovą. Granulių oro kišenės užtikrina puikią šiluminę varžą, tad dažnai naudojamos kaip grindų izoliacija. Keramzitas taip pat naudojamas lengvųjų blokelių gamyboje ir dėl savo didelio paviršiaus ploto dažnai naudojamas ir vandens filtravimo sistemose [13].

Keramzito granulės buityje dažnai dedamos į dirvožemį augalams augti, taip gerinant drenažą [14].

### **1.3.1. Keramzito sudėtis ir savybės**

Keramzitas daugiausiai sudarytas iš  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ir  $\text{CaO}$ , taip pat sudėtyje yra nedaug šarmų, tokių kaip  $\text{Na}_2\text{O}$  ir  $\text{K}_2\text{O}$ . 3 lentelėje matoma kelių skirtingų keramzito bandinių cheminė sudėtis [15].

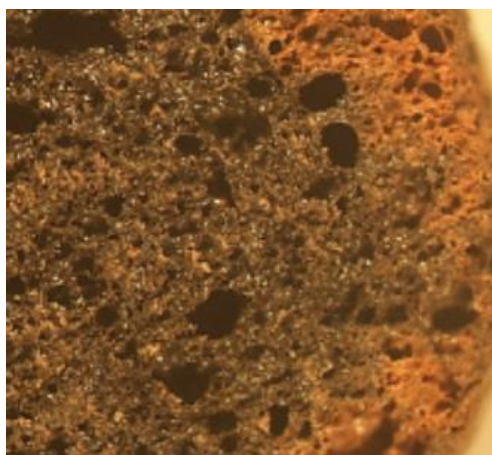
Atlikus rentgeno difrakcinę analizę, nustatyta, jog tiriamojo keramzito bandinio 20 % sudaro amorfinė fazė, o 80 % - kristalinė, daugiausiai sudaryta iš kvarco (9–13 %), anortito (84–81 %) ir hercinito (7–8 %) [16].

Keramzito granulės yra apvalios formos, rudos spalvos su vidine juoda šerdimi – tai siejama su anglies kiekiu ir geležies oksidacija. Mikroskopiniame lygyje matoma šiurkšti struktūra su atviromis poromis, kurių dydis yra 10 – 200  $\mu\text{m}$  (žr. 4 pav.).

Keramzito vandens sugertis svyruoja nuo 20 iki 78 %. Nustatyta, jog ši vertė didėja esant daugiau anglies mišinio sudėtyje, o mažėja pridendant rišiklio.

### 3 lentelė. Skirtingų keramzito bandinių cheminė sudėtis [17]

Oksidas	Sudėtis, %			
	1 bandinys	2 bandinys	3 bandinys	4 bandinys
SiO <sub>2</sub>	70,00	66,05	58,00	53,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,00	16,57	27,00	16,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,70	7,10	1,00	6,20
K <sub>2</sub> O	-	2,69	2,30	-
MgO	1,30	1,99	0,40	2,80
CaO	-	2,46	0,20	2,00
Na <sub>2</sub> O	-	0,69	0,30	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	0,21	-	-
SO <sub>3</sub>	-	0,03	-	-
TiO <sub>2</sub>	-	-	1,30	-
Kaitinimo nuostoliai	-	0,84	-	-



5 pav. Keramzito poros [16]

Piltinis keramzito tankis svyruoja tarp 1640 ir 2050 kg/m<sup>3</sup>. Didesnių granulių piltinis tankis bei stiprumas yra mažesnis. Europos standartas nurodo, jog piltinis sausų granulių tankis neturėtų viršyti 2000 kg/m<sup>3</sup>.

Tirtų bandinių gniuždymo stipris vyravo nuo 1,4 iki 8,34 MPa. Papildomai naudojant rišiklius gniuždymo stiprumo vertė didėja. Be to, terminis ir polimerinis apdorojimas taip pat prisideda prie stiprumo didinimo [17].

#### 1.3.2. Keramzito gamybos atliekos

Šiuo metu daugiausiai naudojamos atliekos kaip PCM yra aukštakrosnių šlakas ir lakieji pelenai, nes jų pasaulyje susidaro daugiausiai. Taip pat plačiai naudojamos ir kitos cemento savybes gerinančios PCM, tokios kaip mikrosilika, ryžių lukštų pelenai ir panaudotas katalizinio krekingo katalizatorius, tačiau jų kiekis yra žymiai mažesnis.

Keramzito gamybos atliekos galėtų būti vienas iš perspektyviausių variantų, atsižvelgus į pasaulinį mastą, nes šis produktas gaminamas labai dideliais kiekiais [18].

Kaip jau minėta, keramzitas yra lengva medžiaga, gaunama degant molio granules sukamojoje krosnyje [13]. Keramzito gamybai naudojamas lengvai besilydantis ir besipučiantis molis, sudarytas iš ilito, montmorilonito, muskovito, kaolinito, kvarco, karbonatų ir kitų mineralų priemaišų.

Pagrindinės keramzito gamybos atliekos yra dulkės, kurios susidaro degimo metu. Jos surenkamos valant išmetamąsias dujas, dujas sulaikant oro taršos kontrolės sistemose. Šios dulkės susideda iš žaliavų, sudegusių medžiagų ir visiškai išlydytų dalelių mišinio. Dėl atliekų sudėties jos negražinamos į gamybos ciklą, nes turi neigiamos įtakos granuliuojamos kokybei.

Įprastose keramzito gamyklose kasmet gali susidaryti nuo 20 iki 25 tūkstančių tonų dulkių, kurios laikomos sąvartynuose, nes nėra paklausios naudoti [19].

Dėl šių atliekų sudėtyje esančio degto molio, jos gali būti naudojamos kaip papildomos cementinės medžiagos. Degtas molis yra labai perspektyvi medžiaga kaip PCM, nes pasaulyje molio išteklių yra labai daug, jis pasižymi plačiu pritaikymo spektru ir yra pigus, nes degamas vidutinėje temperatūroje (600 – 900 °C). Molio deginimas suardo molio kristalinę struktūrą ir paverčia ją amorfine ir labai reaktyvia [18]. Molio mineralai skirstomi į keturias grupes: kaolinito, montmorilonito/smektito, ilito ir chlorito [20].

Kaolininiai moliai geriausiai tinka naudoti dirbtinių PCM gamybai, nes kaolinitas suyra esant žemiausiai temperatūrai ir suteikia degtam produktui didžiausią pucolaninį aktyvumą. Tai lemia kaolinito virsmas į metakaolinitą – molio kristalinę struktūrą virsta sudėtinga amorfine struktūra, kuri išlaiko tam tikrą sluoksnių tvarką. Struktūrinis vanduo pašalinamas, liekant amorfiniam aliuminio silikatui, kuris turi didelį vidinį poringumą, o tai lemia didelį pucolaninį aktyvumą. Metakaolinitas įprastai sudarytas iš 50-55 %  $\text{SiO}_2$  ir 40-45 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [21]. Dėl Al-OH grupių išsidėstymo oktaedriniuose tarpsluoksniuose, struktūriniai pokyčiai vyksta lengviau, kai kaolinitas yra kaitinamas.

Montmorilonitų/smektitų optimali degimo temperatūra yra nuo 800 iki 830 °C, o degimas trunka nuo 1 iki 5 valandų. Palyginus su kaolinitu, montmorilonito aktyvacijos temperatūra yra žymiai didesnė, o intervalas tarp dehidroksilinimo ir naujų fazių kristalizacijos yra siauresnis, nes labai greitai pasiekama 850 °C rekristalizavimo temperatūra. Dėl šių priežasčių šių mineralų terminis aktyvavimas yra sunkesnis, tačiau tinkamai atlikus šį procesą montmorilonitas yra gera pucolaninė medžiaga [11].

Kiti molio mineralai nepasižymi dideliu pucolaniniu aktyvumu, nes kaitinant nesuyra, taip pat nesudaro amorfinių junginių, prieš persikristalizuojant į špinelį ir korundą.

Taigi, pastebėta, jog dulkės, susidarancios keramzito degimo procese, gali turėti savybių, tinkamų PCM gamybai [18].



## 2. Tiriamoji dalis

### 2.1. Medžiagos ir metodai

#### 2.1.1. Medžiagos

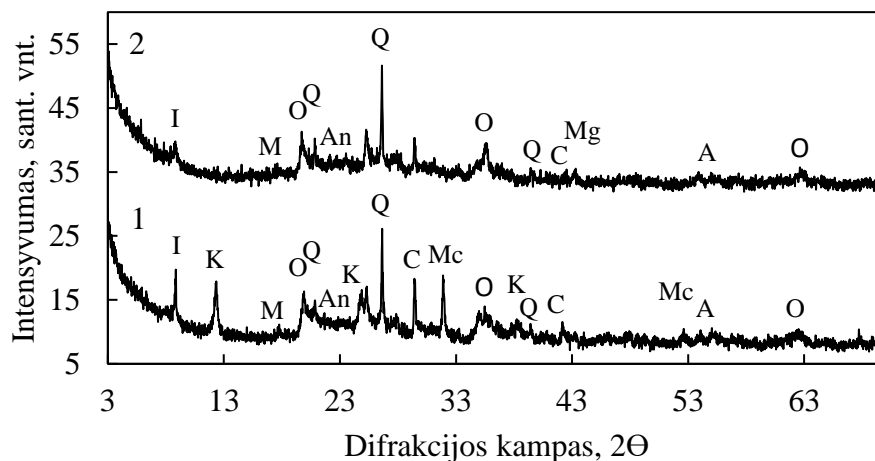
Šiame darbe buvo panaudotos elektrostatiame filtre surinktos dulkės, susidarančios valant išmetamąsias dujas keramzito gamybos metu (ECD ir portlandcementis CEMI 42,5 R). Dulkių ir portlandcemenčio cheminė sudėtis pateikta 4-oje lentelėje.

4 lentelė. Dulkių ir portlandcemenčio cheminė sudėtis

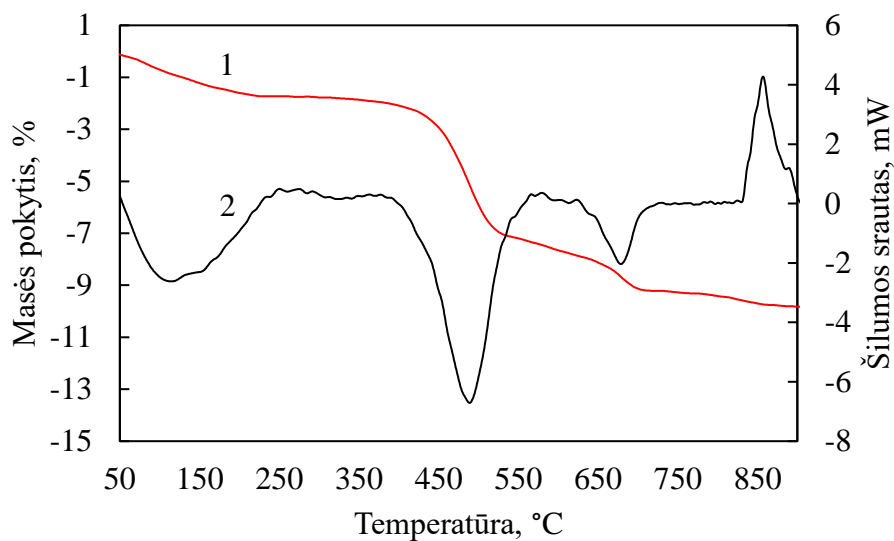
Medžiagos	ECD	Portlandcementis
Komponentai (%)		
SiO <sub>2</sub>	44,9	19,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,3	5,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,79	3,05
CaO	4,83	61,39
MgO	1,33	3,93
K <sub>2</sub> O	1,46	1,06
Na <sub>2</sub> O	0,27	0,12
SO <sub>3</sub>	0,67	2,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,35	-
TiO <sub>2</sub>	1,06	-
Kiti	0,10	3,4
Kaitinimo nuostoliai	9,84	-
Savitasis paviršiaus plotas (m <sup>2</sup> /kg)	360	350

Remiantis rentgeno difrakcinės analizės duomenimis (6 pav.) nustatyta, kad keramzito dulkėse yra muskovito (PDF 00-058-2037), kvarco (PDF 04-008-7651), kaolinito (PDF 00-058-2005), ilito (PDF 00-058-2015), kalcito (PDF 04-008-0198), anortito (PDF 04-015-1492), anatazo (PDF 00-004-0477), olivino (PDF 00-003-0195) ir magnezito (PDF 00-002-0871). Rentgeno difrakcinės analizės kreivėje taip pat pastebėtas platus bukis ties 20-30 2 $\theta$ , būdingas amorfiniams junginiams.

ECD vienalaikės terminės analizės (7 pav., 1 – TG, 2 – DSK) DSK kreivėje endoterminė smailė 113 °C temperatūroje yra susijusi su likutinės drėgmės pašalinimu, endoterminė smailė prie 490 °C temperatūroje atsirado dėl kaolinito dehidroksilinimo ir endoterminė smailė esant 680 °C temperatūroje rodo kalcito skilimą. Egzoterminė smailė 857 °C temperatūroje atsiranda dėl kalcio silikatų (daugiausia volastonito) susidarymo. Termogravimetrinė analizė (TGA) parodė, kad bendri masės nuostoliai yra 9,84 %.

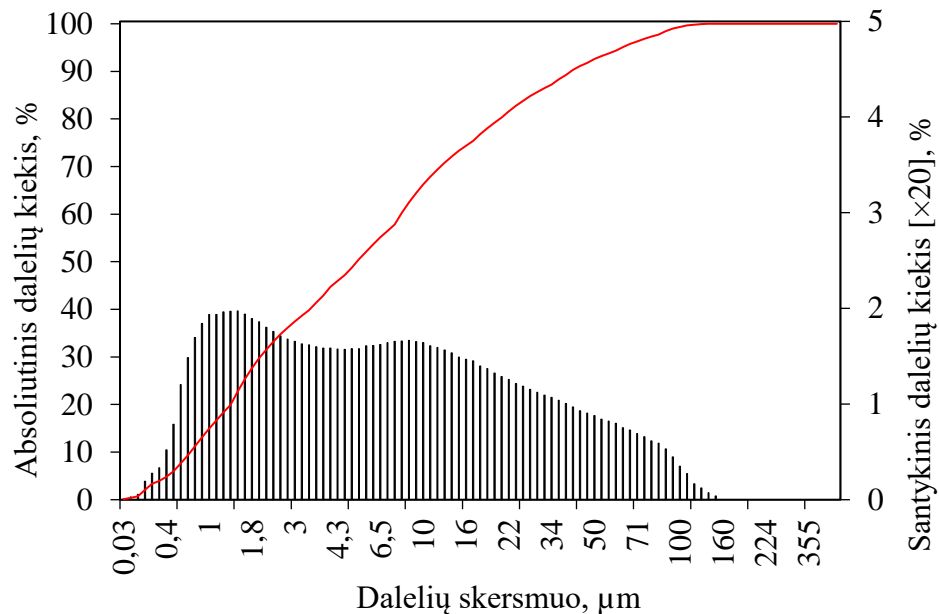


**6 pav.** Originalių (1) ir aktyvuotų (2) keramzito dulkių RSDA kreivės, indeksai: M, muskovitas  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(F,OH)_2$ ; Q, kvarcas ( $SiO_2$ ); An, anortitas ( $Ca(Al_2Si_2O_8)$ ); C, kalцитas ( $CaCO_3$ ); K, kaolinitas ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ); I, illitas ( $K_{0,65}Al_{2,0}[Al_{0,65}Si_{3,35}O_{10}](OH)_2$ ); Mc, magnezitas ( $MgCO_3$ ); O, olivinas ( $MgFeSiO_4$ ); A, anatazė ( $TiO_2$ ); Mg, magnio oksidas ( $MgO$ )



**7 pav.** Keramzito dulkių vienalaikės terminės analizės (1 – TG, 2 – DSK) kreivės

Kadangi dulkės renkamos elektrostatiuose filtruose, dalelės yra labai smulkios. Vidutinis ECD dalelių skersmuo buvo 19,99  $\mu m$ , o 90 % dalelių buvo mažesnio nei 48,71  $\mu m$  skersmens (8 pav.).



8 pav. ECD dalelių dydžio pasiskirstymas

### 2.1.2. Bandinio paruošimas

Termiškai aktyvuojant keramzito gamybos atliekas, ECD dulkės buvo sumaišytos su vandeniu santykiu 1:0,25, kad susidarytu maždaug 1 cm skersmens granulės. Gautos granulės buvo išdžiovinamos 90 °C temperatūroje 6 valandas ir kaitinamos 600 °C temperatūroje 1 valandą. Temperatūros kilimo greitis buvo 10 °C/min. Išdegtos granulės buvo susmulkintos ir malamos vibraciniame diskiniame malūne, kol buvo pasiektas specifinis paviršiaus plotas, panašus į originaliųjų atliekų (360 m<sup>2</sup>/kg.)

### 2.1.3. Tyrimo metodai

Cemento tešlos savybės buvo nustatytos pagal EN 196-3.

Instrumentinei analizei buvo suformuota cemento tešla (OPC) be smėlio. Po formavimo mėginiai buvo laikomi vandenyje 20 ± 1 °C temperatūroje 7, 28 ir 90 dienų. Pasibaigus laikotarpiui, mėginiai buvo susmulkinti ir nuplauti izopropanoliu. Gauta medžiaga buvo džiovinama 45 °C temperatūroje 12 valandų, laikoma hermetiškuose maišeliuose ir tada naudojama analizei.

Mėginiai (prizmės 40 × 40 × 160 mm) gniuždomojo stiprio analizei buvo suformuoti pagal EN 196-1. Cemento – smėlio santykis bandiniuose – 1:3, o vandens – cemento santykis lygus 0,4:1.

Kalorimetrinė analizė buvo atlikta naudojant TAM Air III kalorimetrą. Matavimo nuokrypis buvo <0,03 W/g. Gauti rezultatai buvo perskaičiuoti vienam gramui portlandcemenčio.

ECD pucolaninis aktyvumas nustatytas pagal NF P18-513 standartą. Remiantis šiuo standartu, buvo įvertintas su pucolaniniu priedu surišto Ca(OH)<sub>2</sub> kiekis. Surišto Ca(OH)<sub>2</sub> kiekis buvo nustatytas po 16 valandų reakcijos tarp pucolaninio priedo ir Ca(OH)<sub>2</sub> 85 °C temperatūroje. Titravimas atliktas naudojant 0,1 N HCl tirpalą ir 0,1 % fenoftaleiną, ištirpintą 50 % alkoholyje, kaip indikatorius. Su pucolaniniu priedu surišto Ca(OH)<sub>2</sub> kiekis, mg, apskaičiuotas naudojantis šia formule:

$$\text{Surišto Ca(OH)}_2 \text{ kiekis, mg/g pucolano} = 2 \frac{V_1 - V_2}{V_1} \frac{74}{56} \cdot 1000 ;$$

čia  $V_1$  – nutitruoto 0,1 N HCl kiekis mėginiui be priedo;  $V_2$  – nutitruoto 0,1 N HCl kiekis mėginiui su priedu.

Specifinis paviršiaus plotas buvo išmatuotas naudojant Blain įrangą, kurios gamintojas yra TESTING Bluhm & Feuerherdt GmbH.

RSDA buvo atlikta Bruker X-ray S8 Tiger WD spektrometru. Duomenys buvo analizuojami naudojant SPECTRAPlus V.2 QUANT EXPRESS programinę įrangą. Mėginiai buvo nuskaityti 2θ kampo diapazone nuo 3 ° iki 70 ° su detektoriaus žingsniu 0,02 °. RSDA analizė buvo papildyta Rietveldo analize. Šiai analizei buvo naudojamas 10 % ZnO kaip vidinis standartas amorfinių junginių kiekiui nustatyti. Analizė atlikta naudojant Topas 4.1 programinę įrangą.

Terminė analizė atlikta naudojant Netzsch STA 409 PC Luxx analizatorių su keraminiais mėginių laikikliais ir Pt-Rh tigliais. Kaitinimo greitis buvo 10 °C/min iki 1000 °C (± 3 °C) azoto atmosferoje esant aplinkos slėgiui. Mėginių masės nuostoliai buvo įvertintas tangentine metodu.

Kalcio hidroksido ( $M_{CH}$ ) masės dalis sukietėjusioje cemento tešloje buvo įvertinta pagal lygtį

$$M_{CH} = 74/18 M_P + 74/44 M_C;$$

čia  $M_P$  ir  $M_C$  yra masės pokytis, sukeltas atitinkamai portlandito ir kalcito skilimo metu.

## **2.2. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas**

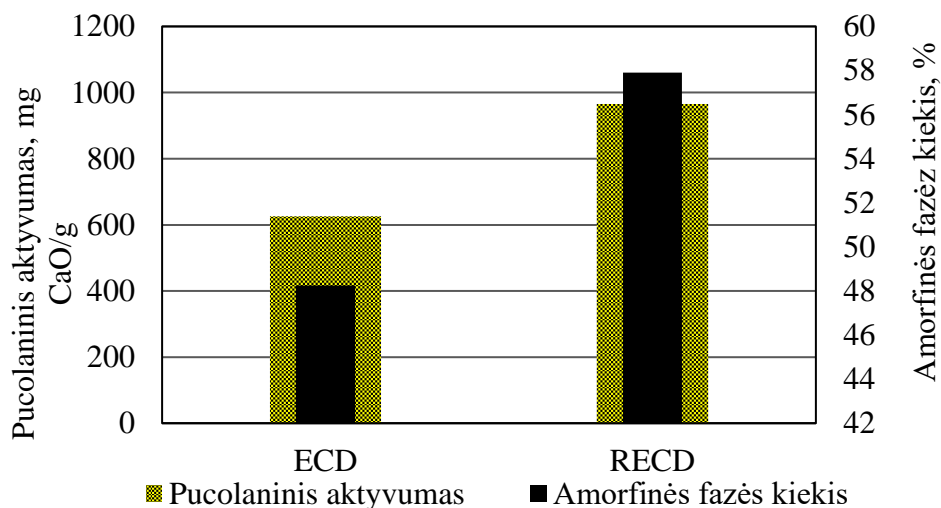
### **2.2.1. Keramzito dulkių aktyvavimas**

Remiantis RSDA ir terminės analizės rezultatais, galima teigti, kad ECD yra likes nemažas kiekis nesuskilusio kaolinito, todėl atliekos buvo degamos 600 °C temperatūroje, kuri atitinka kaolinito skilimo pabaigą (kaip pastebima 7 pav.). Ši temperatūra taip pat pasirenkama naudojantis kitų tyrimų rezultatais.

Terminiškai aktyvavus atliekas, RSDA/Rietveldo analize nustatytas amorfinės fazės kiekis ir abiejų medžiagų (gautų (ECD) ir aktyvuotų (RECD)) pucolaninis aktyvumas (9 pav.).

ECD pucolaninis aktyvumas (626 mg CaO/g) atitiko vidutinę pucolaninio aktyvumo vertę, tuo tarpu, papildomai termiškai aktyvintų atliekų aktyvumas padidėjo trečdaliu ir pasiekė 965 mg CaO/g. Pastebima, jog ši vertė yra tik šiek tiek mažesnė už gryno metakaolinito aktyvumą, nustatytą analogišku metodu (1068 mg CaO/g).

Amorfinių fazių kiekis yra didesnis RECD (57,9 %) nei ECD (48,25 %). Taip pat reikia pažymėti, kad papildomas deginimas 600 °C temperatūroje nekeičia atliekų sudėties, išskyrus tai, kad aktyvuotose atliekose lieka tik kaolinito ir magnezito likučiai.



9 pav. ECD ir aktyvuoto ECD amorfinės fazės kiekis ir pucolaninis aktyvumas

### 2.2.2. Keramzito dulkių įtaka cemento tešlos savybėms

Kadangi RECD pasižymi žymiai geresnėmis pucolaninėmis savybėmis, keramzito degimo dulkių įtakai cemento hidratacijai ir kietėjimui nustatyti buvo pasirinktos aktyvintos atliekos. Šiomis atliekomis buvo pakeista 10 – 30 % portlandcemenčio masės, tačiau, norint palyginti rezultatus, buvo atlikti ir bandymai su 20 % ECD priedu. Nustatyta priedų įtaka vandens ir cemento (V/C) santykiui bei stingimo rišimosi trukmei. Gauti rezultatai pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. OPC konsistencija ir stingimo laikas

Bandinys	V/C	Rišimosi trukmė (min)	
		pradžią	pabaiga
OPC	0,273	100	145
OPC + 10 wt.% RECD	0,313	130	190
OPC + 20 wt.% RECD	0,345	235	285
OPC + 25 wt.% RECD	0,362	290	340
OPC + 30 wt.% RECD	0,38	320	378
OPC + 20 wt.% ECD	0,329	170	230

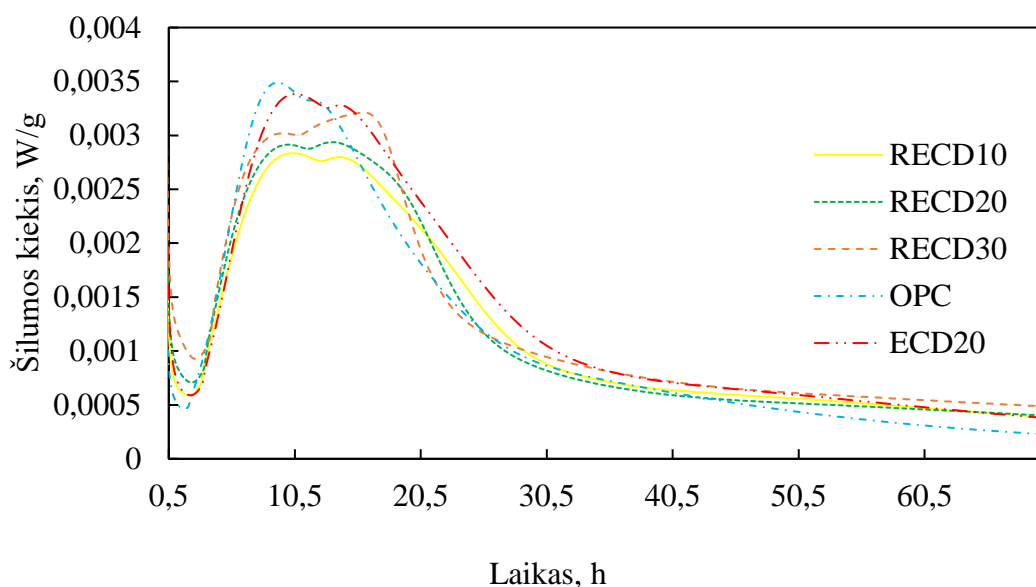
Kaip matyti iš pateiktų duomenų, tirti priedai padidina cemento vandens poreikį ir pailgina rišimosi trukmę. Tai galima paaiškinti tuo, kad dėl molio dalelių drėkinimo poveikio kalcinuotas molis dažniausiai padidina vandens sąnaudas, kad gauti normalią cemento tešlos konsistenciją.

Pastebėtas rišimosi sulėtėjimas daugiausia susijęs su nepilnai sudegusių molio dalelių buvimu ir mažesnio cemento kiekio poveikiu.

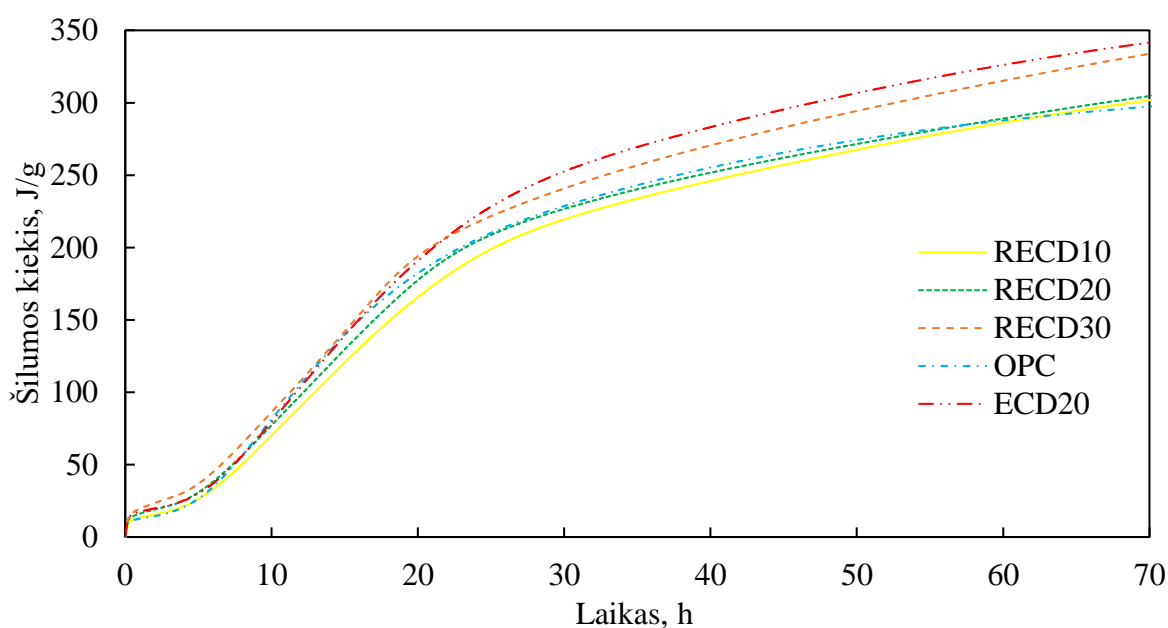
Kita vertus, ECD reikia mažiau vandens normaliai cemento tešlos konsistencijai, palyginti su RECD, o rišimosi trukmė su ECD priedu taip pat yra trumpesnė.

### 2.2.3. Keramzito dulkių įtaka portlandcemenčio hidratacijai ir kietėjimui

Kalorimetrinės analizės rezultatai pateikti 10 ir 11 paveiksluose. Mėginiuose su priedais indukcijos laikotarpis truko apie 1 valandą ilgiau nei portlandcemenčio mėginiuose (10 pav.). Antrosios šilumos emisijos smailės, susijusios su kalcio silikatų hidratacija, intensyvumas mėginiuose su ECD priedu yra tik šiek tiek mažesnis, nei gryno cemento bandinio, tačiau tiesiogiai priklauso nuo priedo kiekio – kuo didesnis priedo kiekis, tuo smailė intensyvesnė.



10 pav. Šilumos išsiskyrimo kreivė: OPC – kontrolinis; RECD10 – 10 % priedo; RECD20 – 20 % priedo; RECD30 – 30 % priedo; ECD20 – 20 % nedegto priedo

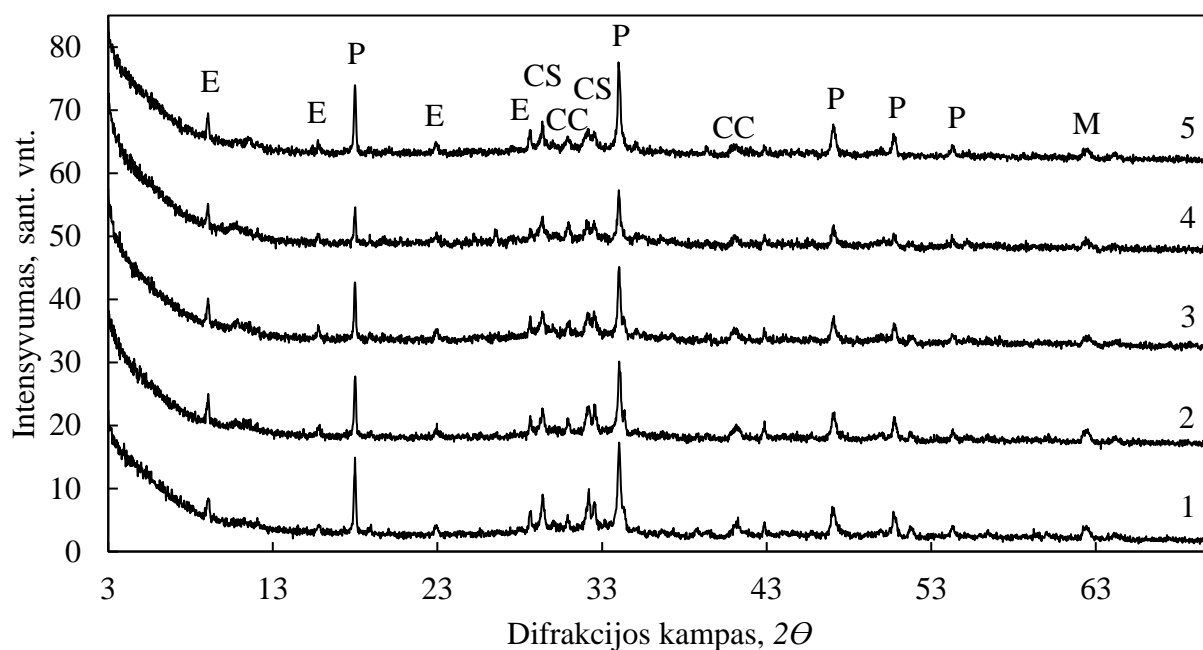


11 pav. Šilumos išsiskyrimo kreivė: OPC – kontrolinis; RECD10 – 10 % priedo; RECD20 – 20 % priedo; RECD30 – 30 % priedo; ECD20 – 20 % nedegto priedo

Esminis šilumos srauto kreivių skirtumas pastebimas aluminato fazės hidratacijos reakcijos zonoje, kurią apibrėžia antrosios smailės petys. Šis petys bandiniuose su abejais priedais yra aiškiai pastebimas, o bandiniuose su 20 % ir 30 % masės RECD priedu šis petys yra intesyvesnis, lyginant su antrąja šilumos emisijos smaile.

Mėginiuose su priedais nustatyta daugiau išsiskyrusios hidratacijos šilumos (304–343 J/g) (11 pav.) nei portlandcemenčio mėginyje be priedo (298 J/g) iki 70 val. hidratacijos.

Apibendrinant šilumos išsiskyrimo rezultatus, galima teigti, kad abu priedai – termiškai aktyvuotas ir neaktyvintas – pagreitina ankstyvą cemento hidrataciją, ypač aluminatinių junginių hidratacijos reakcijas.



**12 pav.** Mėginių RSDA analizės rezultatai po 28 dienų hidratacijos. 1 – OPC (0 masės %), 2 – OPC + 10 masės % RECD, 3 – OPC + 20 masės % RECD, 4 – OPC + 30 masės % RECD, 5 – OPC + 20 masės % ECD. Indeksai: E, etringitas ( $\text{Ca}_6(\text{Al}(\text{OH})_6)_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 26\text{H}_2\text{O}$ ); P, portlanditas ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ); CC, kalcitas ( $\text{CaCO}_3$ ); CS, kalcio silikatai ( $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ); M, periklazė ( $\text{MgO}$ )

Mėginių RSDA analizės rezultatai po 28 dienų hidratacijos vaizduojami 12 paveiksle.

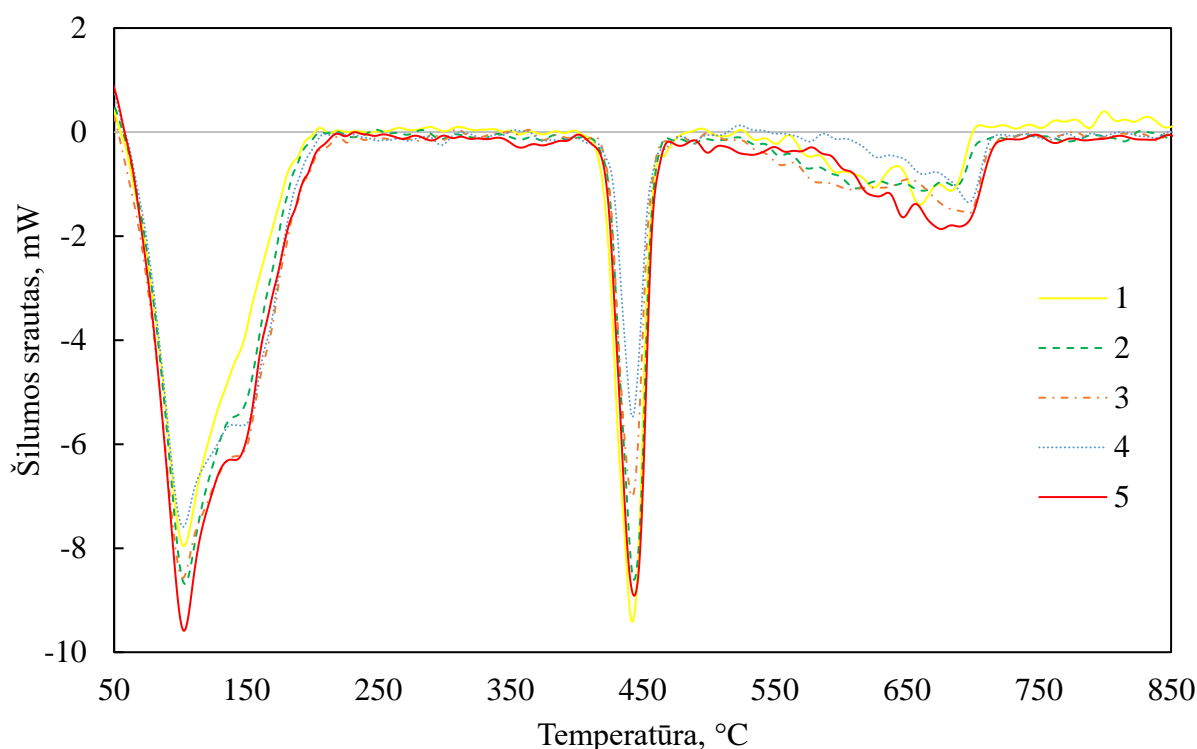
RSDA duomenys rodo, kad visuose mėginiuose susidaro įprasti cemento hidratai – etringitas (PDF-41-1451) ir portlanditas (PDF-84-1271).

Taip pat, mėginiuose buvo nustatyti nehidratuoti kalcio silikatai ( $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_2\text{S}$ ) (PDF 42-551). Be šių junginių, RSDA kreivės rodo kalcito ( $\text{CaCO}_3$ ) (PDF 5-586) ir periklazo ( $\text{MgO}$ ) (PDF 00-001-1235) smailes. Pažymėtina, kad mėginiuose su priedais RSDA analizės metu nerasta jokių naujų junginių, turinčių aliuminio. Tai gali būti susiję su amorfinių arba pusiau kristalinių aliuminio turinčių hidratų susidarymu kietėjančiame cemente.

Esminis skirtumas pastebimas tarp portlandito ir nehidratuotų kalcio silikatų smailių intensyvumo: bandinių su priedais kreivės pasižymi mažesniu portlandito intensyvumu (išskyrus mėginį su ECD

priedu) ir nehidratuoto  $C_3S$  smailėmis nei gryno cemento mėginio. Be to, šiose kreivėse aiškiai matoma tendencija: didesnis priedo kiekis mėginiuose lemia mažesnę smailių intensyvumą.

Vienalaikės terminės analizės rezultatai pateikti 13-15 paveiksluose.



**13 pav.** Vienalaikės terminės analizės rezultatai po 28 parų: čia 1 – cemento tešla be priedų; 2 – su 10 % aktyvuoto priedo; 3 – su 20 % aktyvuoto priedo; 4 – su 30 % aktyvuoto priedo; 5 – su 20 % neaktyvuoto priedo

Visų mėginių DSK analizės kreivėse po 28 dienų matomos trys endoterminės smailės (13 pav.). Pirmoji smailė 90–220 °C temperatūroje yra susijusi su daugelio cemento hidratų dehidratacija (CSH, etringito, kalcio hidroaluminatu), antroji smailė esant ~450 °C temperatūroje rodo portlandito skilimą. 650–750 °C temperatūroje kalcitas (kuris susidarė karbonizuojantis mėginiams) suyra.

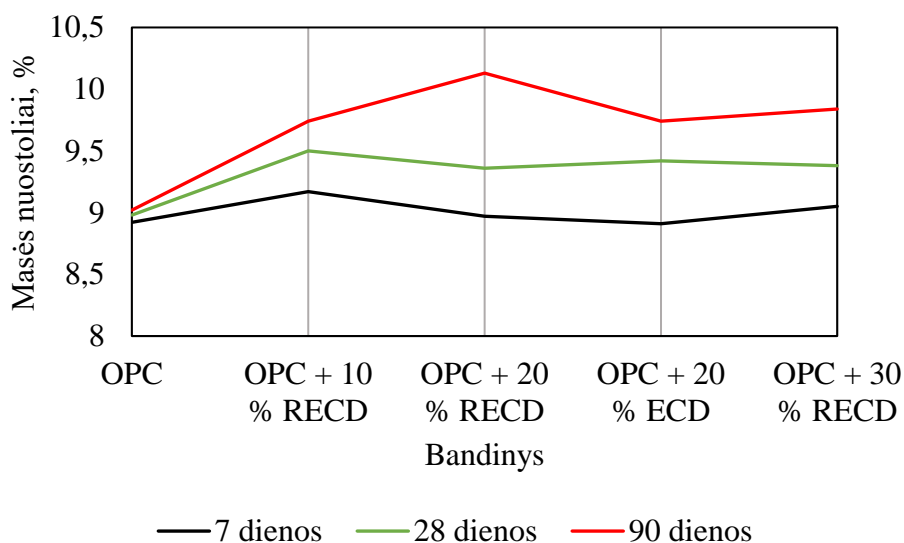
Visų mėginių kreivės yra gana panašios, tačiau skirtumas matomas smailės profilyje tarp 90 °C ir 220 °C. Petys 145°C temperatūroje priskiriamas kalcio hidroaluminatų, kalcio aliuminio silikato hidratų ar karboaluminatų dehidratacijai ir matomas tik mėginių su priedais DSK kreivėse. Gryno cemento mėginyje šios smailės pabaigos taškas pasiekiamas žemesnėje nei 200 °C temperatūroje, o visuose mėginiuose su priedais šis taškas fiksuojamas 220 °C temperatūroje. Smailės poslinkis aukštesnės aukštesnės temperatūros link taip pat susijęs su aliuminio komponento turinčių junginių dehidratacija, nes šių junginių dehidratacijos pabaiga pasiekama ~180-280 °C, t.y. aukštesnėje temperatūroje nei CSH dehidratacija (110-120 °C).

Taigi, DSK analizės rezultatai patvirtina aluminato turinčių fazių buvimą mėginiuose su ECD ir RECD priedais.

Po 7 dienų hidratacijos visų mėginių su priedais (išskyrus mėginį su 30 masės % RECD) masės nuostoliai 90–220 °C temperatūrų intervale yra didesni nei cemento mėginio be priedo (14 pav.)

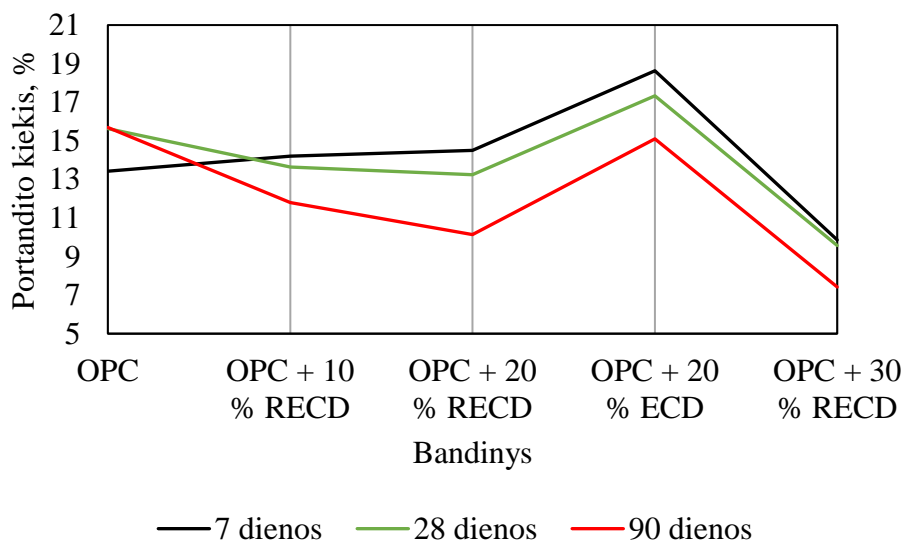


Hidratacijos trukmei pailgėjus iki 28 ir 90 dienų, šis skirtumas dar labiau išryškėja. Didžiausi masės nuostoliai stebimi mėginyje su 10 masės % RECD. Šie duomenys rodo, kad visuose mėginiuose su priedais susidaro daugiau pagrindinių cemento hidratų (CSH, etringito, kalcio hidroaluminatų, hidrogranatų), kurie lemia sukietėjusio cemento stiprumo savybes.



**14 pav.** Masės nuostoliai bandiniuose 90 – 220 °C temperatūros intervale skirtingu hidratacijos metu

Kita vertus, hidratacijos metu susidariusio portlandito kiekio kreivėse matyti itin neįprasta tendencija (15 pav.)



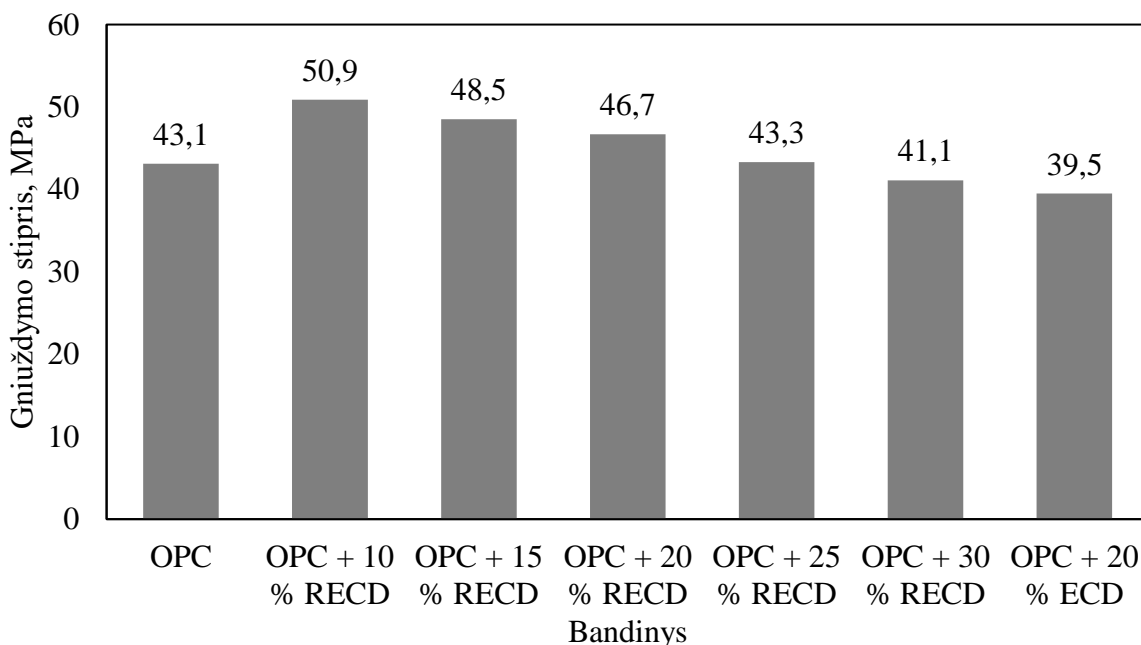
**15 pav.** Portlandito kiekis cemento tešloje skirtingu hidratacijos metu

Po 7 dienų kietėjimo mėginiuose su abiem (RECD ir ECD) priedais, išskyrus mėginį su 30 masės % RECD – kur reaguoja žymiai mažiau cemento – buvo nustatytas didesnis portlandito kiekis nei cemento mėginyje. Didžiausias portlandito kiekis rastas mėginyje su neaktyvintomis dulkėmis. Kadangi pucolaninio aktyvumo rezultatai parodė, kad RECD pasižymi dideliu aktyvumu, o ECD – vidutinio aktyvumo, didesnę susidariusio portlandito kiekį galima paaiškinti tuo, kad tirti priedai turi

dvigubą poveikį cemento hidratacijai. Amorfinė šių priedų dalis gali dalyvauti pucolaninėje reakcijoje, o kristaliniai junginiai veikia kaip kristalizacijos centrai ir pagreitina kalcio silikatų hidratacijos procesą, kurio metu susidaro žymiai daugiau portlandito. Mažiau aktyvus priedas (ECD) lėčiau reaguoja su portlanditu, todėl šiuose mėginiuose yra didesnis portlandito kiekis nei RECD mėginiuose.

Pucolaninės reakcijos eigą patvirtina portlandito kiekio pokyčiai, kai hidratacijos trukmė pailgėja nuo 7 iki 28 ir iki 90 dienų. Gryno portlandcemenčio mėginiuose portlandito kiekis didėja, o visuose mėginiuose su priedais matomas nuoseklus portlandito kiekio mažėjimas, ilgėjant hidratacijos laikui. Pažymėtina, kad net po 28 dienų rišimosi mėginyje su ECD priedu nustatomas didesnis portlandito kiekis nei gryno cemento mėginyje.

Apibendrinant šios tyrimo dalies rezultatus, galima teigti, kad tiek neaktyvintos, tiek aktyvintos keramzito gamybos atliekos turi dvigubą poveikį cemento hidratacijai – tai yra, pucolaninė reakcija ir pagreitinta kalcio silikatų hidratacija vyksta vienu metu.



**16 pav.** Bandinių stipris gniuždant po 28 dienų hidratacijos

Stiprumo gniuždymui bandymas (16 pav.) rodo, kad po 28 dienų rišimosi tik bandiniai su 30 % RECD ir 20 % ECD priedu pasižymi mažesniu gniuždymo stipriu, lyginant su cementu be priedo. Mėginiai su 10 ir 15 masės % RECD priedais (atitinkamai 50,9 ir 48,5 MPa) pasiekė didžiausias gniuždymo stiprio reikšmes, o bandinių su 20 – 25 % RECD priedo stiprumo vertes (atitinkamai 46,7 ir 43,3 MPa) taip pat yra didesnės nei gryno cemento mėginio. Mėginiai, kuriuose yra 30 % RECD (41,1 MPa) ir 20 % ECD (39,5 MPa), pagal standartą EN 197-1, nepriklauso tai pačiai cemento stiprumo klasei (42,5).

### **Išvados.**

Keramzito krosnies dulkės yra tinkamas priedas portlandcemenčiui. Šios atliekos gali būti naudojamos be papildomo apdorojimo (pakeičiant mažesnę portlandcemenčio kiekį) arba su papildomu terminiu aktyvavimu. Papildomas terminis aktyvavimas ypač efektyvus, jei keramzito

gamybai naudojamas molis, kuriame yra didesnis kaolinito kiekis arba kai kaolinitas papildomai naudojamas kaip pudrinimo medžiaga, kad keramzito granulės nesuliptų degimo metu. Naudojant šias gamybos atliekas cemento pramonėje, jomis galima pakeisti iki 25 % cemento masės, tuo pačiu sumažinant CO<sub>2</sub> emisiją lygiavėriu kiekiu. Be to, taikant šį metodą, sumažėtų šiuo metu sąvartynuose šalinamų atliekų kiekis ir padidėtų bendras cemento gamybos tvarumas.

### **3. Inžinerinė dalis**

#### **3.1. Technologinė dalis**

##### **3.1.1. Gamybos būdo parinkimas**

Papildomąją cementinę medžiagą planuojama gaminti iš keramzito gamybos metu susidariusių dulkių, surinktų elektrostatiiniame filtre. Šios atliekos papildomai aktyvuojamos, degant jas 600 °C. Gamyba bus stabdoma šaltuoju metų laiku, tris mėnesius, tuo metu skiriant laiko įrenginių profilaktinei apžiūrai bei remontui, tad projektuojamas gamybos cechas visu pajėgumu dirbs 9 mėnesius per metus.

Procesas yra nepertraukiamas, tad darbuotojai dirbs trimis pamainomis po 8 valandas 7 dienas per savaitę. Gamybos darbo režimas, atsižvelgiant į numatytas gamybos apimtis, pateiktas 6 lentelėje.

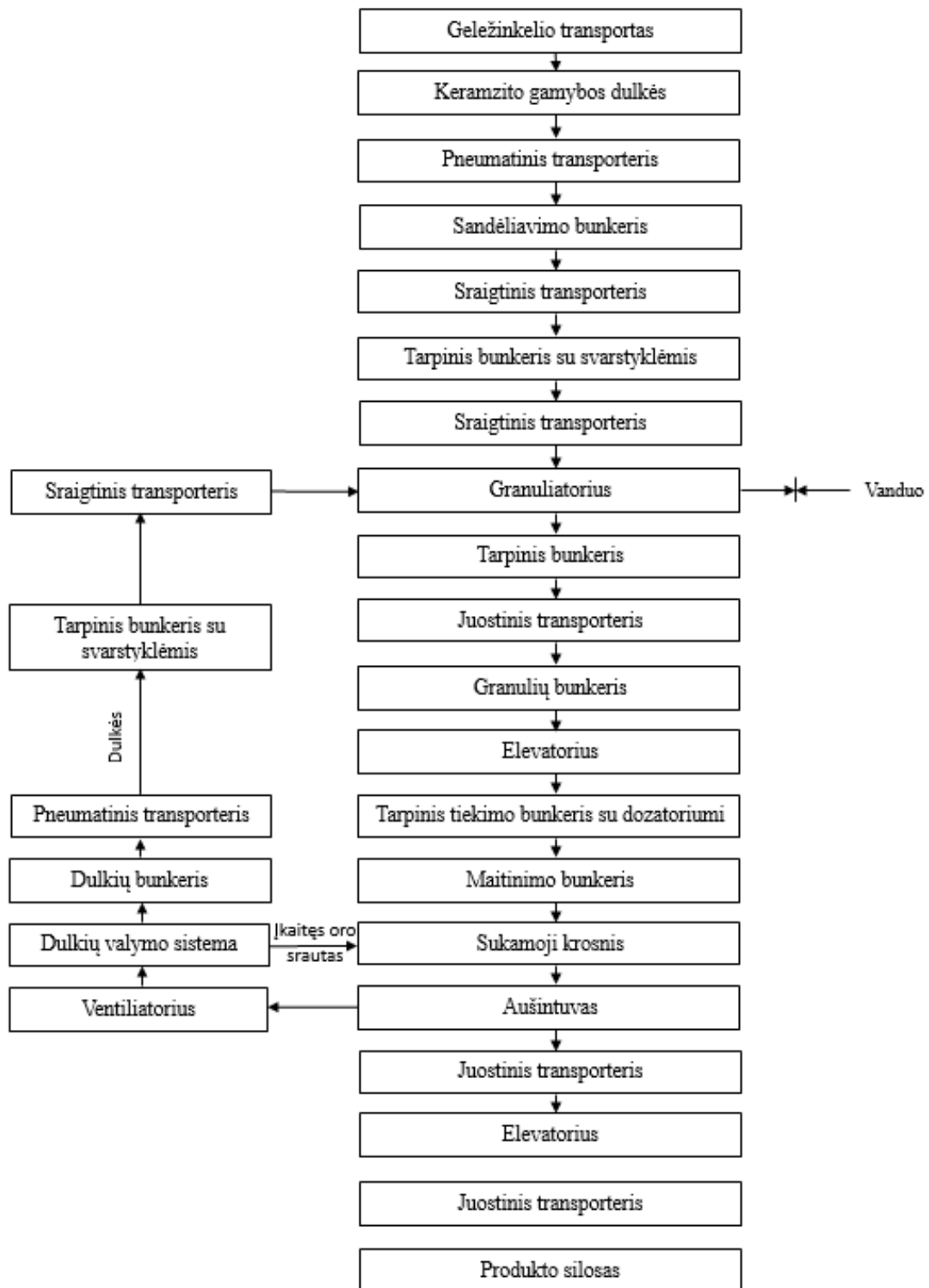
##### **3.1.2. Technologinės schemos parinkimas ir aprašymas**

Papildomosios cementinės medžiagos gamybai naudojamos keramzito gamybos metu susidariusios dulkės transportuojamos geležinkelio transportu ir pneumatiniu transporteriu tiekiamos į sandėliavimo bunkerį, kuriame gamybos žaliavos laikomos mėnesį.

Keramzito degimo dulkės sraigtiniu transporteriu patenka į tarpinį bunkerį su svarstyklėmis ir dozuojamos į granuliatorių. Purškiant vandeniu, formuojamos maždaug 1 cm granulės. Suformuotos granulės byra į tarpinį bunkerį, o iš jo transportuojamos į granulių bunkerį juostiniu transporteriu. Granulės elevatoriumi tiekiamos į tarpinį bunkerį su dozatoriumi ir patenka į maitinimo bunkerį, iš kurio tiekiamos degti 600 °C temperatūroje į sukamąją krosnį. Išdegtos granulės ataušinamos aušintuve ir juostiniu transporteriu bei elevatoriumi tiekiamos į produkto silosą, kur sandėliuojamos vieną mėnesį.

Išdegtus granules, iš aušintuvo įkaitęs oro srautas tiekiamas per ventiliatorių į dulkių valymo sistemą bei gražinamas į sukamąją krosnį. Dulkės, surinktos dulkių valymo sistemoje, patenka į dulkių bunkerį ir pneumatiniu transporteriu tiekiamos į tarpinį bunkerį su svarstyklėmis. Jos gražinamos į granuliatorių sraigtiniu transporteriu.

Principinė technologinė schema pateikta 17 pav.



17 pav. Principinė technologinė schema

### 3.1.3. Gamybos cecho darbo režimas

Papildomosios cementinės medžiagos gamykla dirbs 9 mėnesius per metus, planuojama gaminti 100000 tonų. Sukamosios krosnies našumas sieks 16,95 t/h. Esant tokiam sukamosios krosnies darbo našumui, gamyba vyks 6 lentelėje nurodytu režimu.

**6 lentelė.** Darbo režimo duomenys

Darbo dienų skaičius metuose	274
Mėnesių skaičius metuose	9
Savaičių skaičius metuose	39
Valandų skaičius metuose	6576
Pamainų skaičius per parą	3
Darbo trukmė valandomis pamainoje	8
Darbo dienų skaičius savaitėje	7

Kadangi dažniausiai keramzito gamyba žiemą nevykdoma, tai siekiant sumažinti sandėliavimo kaštus ir išvengti didelių šiluminių nuostolių, šaltuoju metų laiku gamyba bus stabdoma bei atliekamas įrengimų remontas bei aptarnavimas.

### 3.1.4. Gamybos nuostolių skaičiavimas

Siekiant pagaminti 100000 tonų produkto per metus, svarbu įvertinti gamybos metu susidarancius nuostolius.

Transportavimo metu susidaro 1 % nuostolių, tad reikalingas žaliavų kiekis per metus:

$$100000 \cdot 1,01 = 101000 \text{ t/metai .}$$

Degimo proceso metu išdega dalis medžiagų, esančių keramzito dulkių sudėtyje. Pagal vienalaikės terminės analizės tyrimus buvo nustatyta, kad 600 °C temperatūroje dulkės netenka 9,84 % masės dalies. Atsižvelgus į šiuos duomenis, prieš degimą žaliavos reikia:

$$101000 \cdot 1,0984 = 110938,4 \text{ t/metai .}$$

Taip pat, įvertinami susidarantys 0,5 % nuostoliai sandėliuojant gautą produktą. Reikalingas žaliavų kiekis yra:

$$110938,4 \cdot 1,005 = 111493,1 \text{ t/metai .}$$

**7 lentelė.** Reikalingas žaliavų kiekis

Žaliava	Sąnaudos (t) per				
	metus	mėnesį	parą	pamainą	valandą
Keramzito gamybos atliekų dulkės	111493,10	12388,12	406,91	135,64	16,95

### 3.1.5. Įrenginių parinkimas ir jų parametrų apskaičiavimas

Pagal pasirinktą technologinę schemą parenkami žaliavų paruošimo įrenginiai. Įrenginių tipas parenkamas atsižvelgiant į naudojamų žaliavų fizikines – mechanines savybes, matmenys parenkami pagal gamybos apimtis, apskaičiuojamas reikalingas įrenginių skaičius bei jų išnaudojimo laipsnis, lyginant su maksimaliu galimu įrenginių našumu.

### 3.1.5.1. Bunkerio keramzito dulkėms sandėliuoti skaičiavimai

Bunkeriai yra metalinės arba gelžbetoninės talpyklos birioms medžiagoms laikyti. Bunkerių viršutinė dalis vadinama korpusu, o smailėjanti apatinė – smaigaliu. Pagal geometrinę formą bunkeriai gali būti nupjautos piramidės, prizmės ir piramidės, nupjauto kūgio, cilindro ir kūgio, parabolės, pleišto ar kitokios geometrinės formos. Dažniausiai bunkeriai yra gaminami iš plieno lakštų, o silosai būna gelžbetoniniai.

Bunkerių iškrovimo angos yra išilginio pjūvio ašyje arba nukreipiamos nuo ašies į vieną ar kitą arba į abi puses. Priklausomai nuo žaliavos byrėjimo kampo, bunkerio išbyrėjimo angos gali būti kvadratinės, stačiakampės arba skritulio formos. Kraštinių ilgis, plotis arba skersmuo siekia nuo 300 mm iki 600 mm. Geriausiai žaliavos byra pro kvadrato arba skritulio formos angas, kai bunkerio smaigalio sienelių nuolydžio kampas  $\gamma$  daromas 5–10° didesnis už žaliavos laisvojo byrėjimo kampą  $\varphi_1$ . Medžiagos pripildytas naudingasis (faktiškasis) bunkerio tūris yra mažesnis už geometrinį bunkerio tūrį. Todėl, norint apskaičiuoti bunkerio talpą, jo geometrinę talpą reikia padauginti iš bunkerio pripildymo koeficiento  $k_{prip}$ . ( $k_{prip} = 0,75-0,85$ ), kuris priklauso nuo žaliavos byrėjimo natūralaus kampo ir jos tiekimo sąlygų [22].

Pagal numatytą gamybos technologiją, parenkamos šios bunkerio techninės charakteristikos.

**8 lentelė.** Bunkerio keramzito dulkėms sandėliuoti techninės charakteristikos

Parametras	Vertė
Sandėliavimo trukmė, $n$ , paros	28
Parai reikalingas medžiagos kiekis, $V_{sv}$ , m <sup>3</sup>	290,65
Keramzito dulkių piltinis tankis, $\rho_p$ , kg/m <sup>3</sup>	1250
Keramzito dulkių byrėjimo kampas, $\varphi$ , °	50
Maksimalus dalelių dydis, $d_{max}$ , mm	0,1
Išbyrėjimo koeficientas, $k_1$	0,55
Bunkerio pripildymo koeficientas, $k_{prip}$	0,85
Bunkerio viršutinės dalies kraštinės ilgis, $A = B$ , m	11
Bunkerio viršutinės dalies aukštis, $h$ , m	14

Reikalinga bunkerio talpa  $V_r$  apskaičiuojama atsižvelgiant į žaliavų sąnaudas (našumą) bei žaliavų laikymo jame trukmę (atsargas):

$$V_r = \frac{V_{sv} \cdot n}{k_{prip} \cdot \rho_p}.$$

Čia  $V_{sv}$  – parai reikalingas keramzito dulkių kiekis, m<sup>3</sup>;  $n$  – parų skaičius,  $k_{prip}$  – bunkerio pripildymo koeficientas ( $k_{prip} = 0,75 - 0,85$ , pasirenkamas 0,85),  $\rho_p$  – keramzito dulkių piltinis tankis, t/m<sup>3</sup>.

$$V_s = \frac{406,91}{1,4} = 290,65 \text{ m}^3 ;$$

$$V_r = \frac{290,65 \cdot 28}{0,85 \cdot 1,25} = 7659,48 \text{ m}^3.$$

Bus naudojami 4 keramzito dulkių bunkeriai, tad vieno bunkerio talpa yra:

$$\frac{7659,48}{4} = 1914,87 \text{ m}^3 .$$

Mažiausi kvadrato arba skritulio formos iškrovimo angos matmenys, įvertinant angos geometrinę formą ir didžiausių išbyrančių gabaliukų arba dalelių dydį  $d_{max}$ , apskaičiuojami pagal šią lygtį:

$$a = \frac{k \cdot (d_{max} + 80) \cdot \tan \varphi_1}{1000} .$$

Čia  $a$  – kvadrato formos išbyrėjimo angos kraštinė, o jei anga skritulio formos – jos skersmuo, m;  $d_{max}$  – didžiausių medžiagos gabaliukų skersmuo, mm;  $\varphi_1$  – medžiagos laisvo byrėjimo kampas;  $k$  – koeficientas (rūšiuotoms žaliavoms – nuo 2 iki 6, o nerūšiuotoms – nuo 2 iki 4).

$$a = \frac{4 \cdot (0,1 + 80) \cdot \tan 50}{1000} = 0,38 \text{ m} .$$

Miltelių ir grūdelių pavidalo statybinių medžiagų iškrovimo angos plotas turi būti ne mažesnis kaip  $0,09 \text{ m}^2$ . Jeigu pagal apskaičiuotus matmenis angos plotas gaunamas mažesnis, kvadrato formos išbyrėjimo angos kraštinė parenkama lygi  $0,3 \text{ m}$ , o skritulio skersmuo –  $0,34 \text{ m}$ .

Patikrinama, ar mūsų gautos kraštinės matmenys tenkina sąlygą:

$$a^2 = 0,38^2 = 0,146 \text{ m}^2 .$$

$0,146 > 0,09$ , todėl mūsų apskaičiuotos kraštinės matmenys yra tinkamos.

Atsižvelgiant į pasirinktus bunkerio matmenis bei apskaičiuotą talpą  $V_r$ , apskaičiuojamas bunkerio smaigalio aukštis  $h_1$ :

$$h_1 = \frac{A-a}{2} \cdot \tan \gamma .$$

Čia  $\gamma$  – bunkerio smaigalio sienelių nuolydžio kampas, kuris yra daromas  $5 - 10^\circ$  didesnis už žaliavos laisvo byrėjimo kampą  $\varphi_1$ .

$$\gamma = \varphi_1 + 10^\circ = 50^\circ + 10^\circ = 60^\circ ;$$

$$h_1 = \frac{11 - 0,38}{2} \cdot \tan 60 = 9,2 \text{ m} .$$

Visas bunkerio aukštis  $H$ :

$$H = h_1 + h = 9,2 + 14 = 23,2 \text{ m} .$$

Projektuojamo bunkerio talpą  $V$  sudaro dviejų bunkerio dalių talpų suma:

$$V = V_1 + V_2 ;$$

$$V_1 = A \cdot B \cdot h = 11 \cdot 11 \cdot 14 = 1694 \text{ m}^3 ;$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot h_1 \cdot (a^2 + a \cdot A + A^2) = \frac{1}{3} \cdot 9,2 \cdot (0,38^2 + 0,38 \cdot 11 + 11^2) = 384,2 \text{ m}^3 ;$$

$$V = V_1 + V_2 = 1694 + 384,2 = 2078,2 \text{ m}^3 .$$



Gautas  $V$  yra didesnis už paskaičiuotą  $V_r$ , todėl galime teigti, jog bunkerio parametrai parinkti tinkamai.

Apskaičiavus parinktų matmenų bunkerio talpą, patikrinama, ar iš suprojektuoto bunkerio išbyrančios medžiagos kiekis atitinka gamybos našumą, t.y., ar nėra per mažas.

Iš bunkerio išbyrančios medžiagos kiekis (našumas)  $Q_v$ ,  $m^3/s$ , priklauso nuo iškrovimo angos ploto  $F_a$ ,  $m^2$ , ir medžiagos byrėjimo greičio  $v$ ,  $m/s$ :

$$Q_v = F_a \cdot v .$$

Medžiagos normalaus byrėjimo greitis  $v$  apskaičiuojamas pagal šią empirinę lygtį:

$$v = k_I \cdot \sqrt{3,2 \cdot g \cdot R} = 5,65 \cdot k_I \cdot \sqrt{R} .$$

Čia  $k_I$  - bandymų būdu nustatytas išbyrėjimo koeficientas, kurio vertės priklauso nuo birių medžiagų takumo ir granulimetrinės sudėties ( $k_I = 0,55-0,56$  – sausoms smulkiagrūdėms, labai birioms medžiagoms);  $R$  - hidraulinis išbyrėjimo angos spindulys;  $P$  – angos perimetras.

Išbyrėjimo angos plotas:

$$F_a = a^2 = 0,38^2 = 0,146 \text{ m}^2 .$$

Išbyrėjimo angos perimetras:

$$P = 4 \cdot a = 4 \cdot 0,38 = 1,52 \text{ m} .$$

Hidraulinis išbyrėjimo angos spindulys:

$$R = \frac{F_a}{P} = \frac{0,146}{1,52} = 0,095 \text{ m} .$$

Medžiagos išbyrėjimo iš bunkerio greitis:

$$v = 5,65 \cdot k_I \cdot \sqrt{R} = 5,65 \cdot 0,55 \cdot \sqrt{0,095} = 0,96 \text{ m/s} .$$

Iš bunkerio išbyrančios medžiagos kiekis (našumas):

$$Q_v = F_a \cdot v = 0,146 \cdot 0,96 = 0,14 \text{ m}^3/s .$$

Reikalingas medžiagos išbyrėjimo našumas:

$$Q = \frac{N}{3600 \cdot \rho_p} = \frac{16954,5}{3600 \cdot 1250} = 3,77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/s .$$

Čia  $N$  – gamybinis našumas,  $kg/h$ ;  $\rho_p$  – piltinis keramzito dulkių tankis,  $kg/m^3$ .

Apskaičiuotas iš bunkerio išbyrančios medžiagos kiekis yra didesnis už reikalingą medžiagos išbyrėjimo našumą, todėl bunkerio parametrai parinkti tinkamai [23].

### 3.1.5.2. Sraigtinio transporterio keramzito dulkėms transportuoti skaičiavimai

Sraigtiniai transporteriai naudojami ne tik birioms smulkioms medžiagoms (cementui, smėliui, žvyruui ir pan.), bet ir klampioms bei tešlos pavidalo medžiagoms transportuoti nedideliu atstumu.

Pagrindinis sraigtinio transporterio elementas – sraigtas gali būti įvairios paskirties ir konstrukcijos. Jo geometrinės charakteristikos – skersmuo  $D_s$  ir sraigto žingsnis  $s$ .

Pagal sraigto konstrukciją skiriami sraigtiniai transporteriai su ištisiniu, juostiniu, fasoniniu ir mentiniu sraigtu.

Smulkios, labai birios medžiagos (cementas, kreida) transportuojamos ištisiniu sraigtu, gabalinės medžiagos (stambus žvyras) transportuojamos juostiniu arba mentiniu sraigtu, o tešlos pavidalo, susigulėjusios ir šlapios medžiagos (plastiškas molis) transportuojami mentiniu arba fasoniniu sraigtu [22].

**9 lentelė.** Sraigtinio transporterio keramzito dulkėms tiekti techninės charakteristikos

Parametras	Vertė
Sraigto skersmuo, $D_s$ , m	0,25
Sraigto žingsnis, $s$ , m	0,2
Lovio pripildymo koeficientas, $\varepsilon$	0,45
Sraigto veleno sukimosi dažnis, $n$ , $s^{-1}$	1
Medžiagos pakėlimo aukštis, $H$ , m	0,5
Transportavimo horizontalia kryptimi projekcijos ilgis, $L_h$ , m	10
Medžiagos pasipriešinimo judėjimui loviu koeficientas, $\omega_s$	1,2
Koeficientas, įvertinantis sraigto judėjimo pobūdį, $K_l$	0,15
Sraigto veleno pasipriešinimo judėjimui guoliuose koeficientas, $\omega_c$	0,08
Keramzito dulkių piltinis tankis, $\rho_p$ , $kg/m^3$	1250

Parentamas sraigtinis transporteris su ištisiniu sraigtu.

Medžiaga sraigtiniame transporteryje juda greičiu  $w$ , m/s:

$$w = s \cdot n = 0,2 \cdot 1 = 0,2 \text{ m/s} .$$

Sraigtiniu transporteriu judančio medžiagos srauto skerspjūvio plotas:

$$F = \frac{\varepsilon \cdot \pi \cdot D_s^2}{4} = \frac{0,45 \cdot 3,14 \cdot 0,25^2}{4} = 0,022 \text{ m}^2 .$$

Tuomet sraigtinio transporterio valandinis našumas  $V_h$ ,  $m^3/h$ :

$$V_h = 3600 \cdot w \cdot F = 3600 \cdot 0,2 \cdot 0,022 = 15,90 \text{ m}^3/h .$$

Našumas pagal transportuojamos medžiagos masę  $G_h$ , t/h:

$$G_h = 3600 \cdot w \cdot F \cdot \rho_p = 3600 \cdot 0,2 \cdot 0,022 \cdot 1,25 = 19,87 \text{ t/h} .$$

Čia  $\rho_p$  - keramzito dulkių piltinis tankis,  $t/m^3$ .

Sraigtinio transporterio velenui sukti reikalinga galia  $N_{sr}$ , kW:

$$N_{sr} = 9,62 \cdot 10^{-2} \cdot Q_M \cdot H + 9,62 \cdot 10^{-2} \cdot Q_M \cdot L_h \cdot \omega_s + 9,62 \cdot 10^{-2} \cdot K_l \cdot q_T \cdot L_h \cdot w \cdot \omega_c .$$

Čia  $Q_M$  - sraigtinio transporterio našumas, kg/s;  $Q_M = \frac{19,87 \cdot 1000}{3600} = 5,52$  kg/s;  $H$  - medžiagos pakėlimo aukštis, m;  $L_h$  - transportavimo horizontalia kryptimi projekcijos ilgis, m;  $\omega_s$  - medžiagos pasipriešinimo judėjimui loviu koeficientas (sausoms neabrazyvioms medžiagoms  $\omega_s = 1,2$ );  $K_1$  - koeficientas, įvertinantis sraigto judėjimo pobūdį;  $q_T$  - sraigto judančių dalių masė;  $q_T = 80 \cdot D_s = 80 \cdot 0,25 = 20$  kg/m;  $w$  - ašinis medžiagos judėjimo greitis, m/s;  $\omega_c$  - sraigto veleno pasipriešinimo judėjimui guoliuose koeficientas (riedėjimo guoliuose  $\omega_c = 0,08$ ).

$$N_{sr} = 9,62 \cdot 10^{-2} \cdot 5,52 \cdot 0,5 + 9,62 \cdot 10^{-2} \cdot 5,52 \cdot 10 \cdot 1,2 + 9,62 \cdot 10^{-2} \cdot 0,15 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 0,08 = 6,95 \text{ kW}$$

Reikalingo elektros variklio galia apskaičiuojama:

$$N_v = \frac{N_{sv}}{\eta} = \frac{9,95}{0,75} = 13,27 \text{ kW}$$

čia  $\eta$  – naudingumo koeficientas [23].

Parentamas 10 kW elektros variklis.

### 3.1.5.3. Juostinio transporterio keramzito dulkių granulėms transportuoti skaičiavimai

**10 lentelė.** Juostinio transporterio keramzito dulkių granulėms transportuoti techninės charakteristikos

Parametras	Vertė
Gamybinis našumas, t/h	16,95
Medžiagos pakėlimo aukštis, $H$ , m	5
Juostos judėjimo greitis, $w$ , m/s	2
Transporterio projekcijos į horizontaliąją ašį ilgis, $L_h$ , m	10
Juostinio transporterio polinkio kampas, $\alpha$ , °	20
Juostos plotis, $B$ , m	0,4
Bendras pasipriešinimo transporterio judėjimui koeficientas, $\omega_c$	0,03
Medžiagos sumažėjimo ant judamojo nuožulniojo transporterio koeficientas, $k$	0,9
Laisvo byrėjimo kampas, $\varphi_2$ , °	40
Gumuotos juostos audinio sintetinių sluoksnių skaičius, $i$	5

Parentamas nuožulnus transporteris su plokščia juosta bei šoniniais bortais.

Apskaičiuojamas juostinio transporterio masės našumas  $G_m$ , kg/s:

$$G_m = \frac{16,95 \cdot 1000}{3600} = 4,71 \text{ kg/s} .$$

Ant plokščios juostos su šoniniais bortais esančios birios medžiagos skerspjūvio bendras plotas  $F_{p,b}$  susideda iš trikampio ploto  $F_p'$  ir stačiakampio ploto  $F_p''$ .

Apskaičiuojamos reikiamos charakteristikos:

$$B_0 = k \cdot B = 0,9 \cdot 0,4 = 0,36 ;$$

$$K = \frac{B_0}{B} = \frac{0,36}{0,4} = 0,9 .$$

Nesant duomenų transporterio techninėje charakteristikoje, pasirenkamas kraštinių santykis  $\varepsilon = 0,2-0,5$  parenkamas 0,3.

$$\varphi_3 = 0,5 \cdot \varphi_2 = 0,5 \cdot 40 = 20^\circ ;$$

$$\tan \varphi_3 = \tan 20 = 0,36 .$$

$F_{p,b}$  apskaičiuojamas taip:

$$F_{p,b} = F'_p + F''_p = 0,25 \cdot k \cdot K^2 \cdot B^2 \cdot \tan \varphi_3 + K \cdot \varepsilon \cdot B^2 = (0,25 \cdot k \cdot K^2 \cdot \tan \varphi_3 + K \cdot \varepsilon) \cdot B^2 ;$$

$$F_{p,b} = (0,25 \cdot 0,9 \cdot 0,9^2 \cdot 0,36 + 0,9 \cdot 0,3) \cdot 0,4^2 = 0,054 \text{ m}^2 .$$

Transportuojant rūšiuotas medžiagas, juostos plotis B turi būti patikrintas pagal jų maksimalius matmenis  $a_{\max}$ , m:

$$B \geq 3,3 \cdot a_{\max} + 0,2 ;$$

$$B \geq 3,3 \cdot 0,01 + 0,2 ;$$

$$0,65 \geq 0,23 .$$

Varančiojo būgno skersmuo  $D_v$ , m ir ilgis  $B_v$ , m, apskaičiuojami pagal guminės juostos audinio sluoksnių skaičių  $i$  ir jos plotį  $B$ :

$$D_v = k \cdot i ;$$

$k = 0,12 - 0,15$ , parenkamas 0,15 ;

$$D_v = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ m} ;$$

$$B_v = B + 0,10 = 0,40 + 0,10 = 0,5 \text{ m} .$$

Įtempimo būgno skersmuo  $D_{it}$  ir kreipiamojo būgno skersmuo  $D_n$  būna mažesni už varančiojo būgno skersmenį  $D_v$ :

$$D_{it} \geq 2 \cdot D_v / 3 ;$$

$$D_{it} \geq 2 \cdot 0,75 / 3 ;$$

$$D_{it} \geq 0,5 ;$$

$$D_n \geq D_v / 2 ;$$

$$D_n \geq 0,25 .$$

Juostinio transporterio traukos įtaisui reikalinga galia, kW, apskaičiuojama taip:

$$N_j = 9,62 \cdot 10^{-2} \cdot G_M \cdot H + 9,62 \cdot 10^{-2} \cdot G_M \cdot L_h \cdot \omega_c + 0,193 \cdot Q_T \cdot L_h \cdot \omega_c .$$

$G_M$  - transporterio našumas, kg/s;  $H$  - medžiagos pakėlimo aukštis, m;  $L_h$  - transporterio projekcijos į horizontaliąją ašį ilgis, m;  $\omega_c$  - bendras pasipriešinimo transporterio judėjimui koeficientas (parenkamas pagal transporterio juostos tipą, šiuo atveju juosta juda atramomis su riedėjimo guoliais);  $Q_T$  - transporterio juostos masė, praslenkanti transporteriu per vieną sekundę, kg/s.

$$Q_T = w \cdot F_T \cdot \rho_T; \rho_T = 1000 \text{ kg/m}^3;$$

$$F_T = B \cdot \delta; \delta - \text{transporterio juostos storis, m; } \delta = 0,01 \text{ m};$$

$$F_T = 0,4 \cdot 0,01 = 0,004 \text{ m}^2;$$

$$Q_T = 2 \cdot 0,004 \cdot 1000 = 8 \text{ kg/s};$$

$$N_j = 9,62 \cdot 10^{-2} \cdot 4,71 \cdot 5 + 9,62 \cdot 10^{-2} \cdot 4,71 \cdot 10 \cdot 0,03 + 0,193 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 0,03 = 2,86 \text{ kW}.$$

Įvertinus naudingumo koeficientą, juostiniam transporteriui reikalingo elektros variklio galia  $N_v$ , kW, lygi:

$$N_v = \frac{N_j}{\eta} = \frac{2,86}{0,8} = 3,58 \text{ kW}.$$

$\eta$  - bendras elektros variklio ir jėgos perdavimo mechanizmų naudingumo koeficientas ( $\eta = 0,6 - 0,8$ ) [23].

Parenkamas 4 kW elektros variklis.

### 3.1.5.4. Siloso PCM sandėliavimui skaičiavimai

**11 lentelė.** Siloso PCM sandėliavimui techninės charakteristikos

Parametras	Vertė
Sandėliavimo trukmė, $n$ , paros	28
PCM piltinis tankis, $\rho_p$ , t/m <sup>3</sup>	1,05
I produkto byrėjimo kampas, $\varphi$ , °	45
Maksimalus dalelių dydis, $d_{max}$ , mm	10
Bunkerio pripildymo koeficientas, $k_{prip}$	0,85
Koeficientas, $k$	4
Siloso korpuso spindulys, $R$ , m	8
Siloso korpuso aukštis, $h$ , m	10

Apskaičiuojamas PCM produkto silosinio sandėlio tūris  $V_{sv}$ , m<sup>3</sup>:

$$V_r = \frac{V_{sv} \cdot n}{365 \cdot k_{prip} \cdot \rho_p} = \frac{95238,1 \cdot 28}{365 \cdot 0,85 \cdot 1,05} = 8185,92 \text{ m}^3.$$

$V_{sv}$  – gamybos našumas, m<sup>3</sup>/metai;  $n$  – normatyvinės PCM atsargos, paromis;  $k_{prip}$  – silosų pripildymo koeficientas;  $\rho_p$  – piltinis PCM tankis, t/m<sup>3</sup>.

Bus naudojami 4 produkto silosai, tad vieno siloso tūris lygus:

$$\frac{8185,92}{4} = 2046,48 \text{ m}^3 .$$

Apskaičiuojami mažiausi skritulio formos iškrovimo angos matmenys, įvertinant angos geometrinę formą ir didžiausių išbyrančių gabaliukų arba dalelių dydį  $d_{max}$ :

$$a = \frac{k \cdot (d_{max} + 80) \cdot \tan \varphi}{1000} .$$

čia  $a$  – skritulio formos išbyrėjimo angos skersmuo, m;  $d_{max}$  – didžiausių medžiagos gabaliukų skersmuo, mm;  $\varphi$  – medžiagos laisvo byrėjimo kampas;  $k$  – koeficientas (rūšiuotoms žaliavoms – nuo 2 iki 6, o nerūšiuotoms – nuo 2 iki 4).

$$a = \frac{4 \cdot (10+80) \cdot \tan 45}{1000} = 0,36 \text{ m} .$$

Miltelių ir grūdelių pavidalo statybinių medžiagų iškrovimo angos plotas turi būti ne mažesnis kaip  $0,09 \text{ m}^2$ . Jeigu pagal apskaičiuotus matmenis angos plotas gaunamas mažesnis, skritulio formos išbyrėjimo angos skersmuo parenkamas  $0,34 \text{ m}$ .

Patikrinama, ar gautos kraštinės matmenys tenkina sąlygą:

$$S = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,18^2 = 0,10 \text{ m}^2 .$$

Čia  $S$  – skritulio formos angos plotas,  $\text{m}^2$ ;  $r$  – skritulio formos angos spindulys, m  
 $r = \frac{a}{2} = \frac{0,36}{2} = 0,18 \text{ m} .$

$0,10 > 0,09$ , todėl apskaičiuotas skritulio skersmuo yra tinkamas.

Parenkami siloso korpuso matmenys:

$$R = 8 \text{ m}; h = 10 \text{ m} .$$

$$\gamma = \varphi + 10^\circ = 45^\circ + 10^\circ = 55^\circ .$$

Apskaičiuojamas siloso smaigalio aukštis:

$$h_1 = \frac{R-a}{2} \cdot \tan \gamma = \frac{8-0,36}{2} \cdot \tan 55 = 5,46 \text{ m} .$$

Bendras bunkerio aukštis:

$$H = h_1 + h = 5,46 + 10 = 15,46 \text{ m} .$$

Projektuojamo siloso talpa:

$$V = V_1 + V_2 ;$$

$$V_1 = \pi \cdot R^2 \cdot h = 3,14 \cdot 8^2 \cdot 10 = 2009,60 \text{ m}^3 ;$$

$$V_2 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot (R^2 \cdot a^2 + R \cdot a) \cdot h_1 = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot (8^2 \cdot 0,36^2 + 8 \cdot 0,36) \cdot 5,46 = 63,81 \text{ m}^3 ;$$

$$V = V_1 + V_2 = 2009,60 + 63,81 = 2073,41 \text{ m}^3 .$$

Gautas  $V$  yra didesnis už paskaičiuotą  $V_r$ , todėl galime teigti, jog siloso parametrai parinkti tinkamai [23].

### 3.1.5.5. Granuliatorius

Parinktas būgninis granuliatorius – SXZGZ-3210. Jo parametrai pateikti 12 lentelėje.

**12 lentelė.** Granulioriaus techninės charakteristikos [23]

<b>SXZGZ-3210</b>	<b>Žymėjimas</b>	<b>Matavimo vnt.</b>	<b>Reikšmė</b>
Našumas	$Q$	t/h	15 – 30
Apsisukimo greitis	$n$	aps/min	9,5
Variklio galingumas	$N$	kW	37
Išmatavimai			
Ilgis	$L$	m	10
Diametras	$W$		3,2

### 3.1.5.6. Sukamoji krosnis

Parinkta Daiwo  $3 \times 48$  m sukamoji krosnis, jos parametrai pateikti 13 lentelėje.

**13 lentelė.** Sukamosios krosnies charakteristikos [24]

<b>Daiwo <math>2,2 \times 48</math> m</b>	<b>Žymėjimas</b>	<b>Matavimo vnt.</b>	<b>Reikšmė</b>
Našumas	$Q$	t/h	9 – 20
Apsisukimo greitis	$n$	aps/min	10
Variklio galingumas	$N$	kW	90
Svoris	-	t	237
Išmatavimai			
Ilgis	$L$	m	48
Diametras	$W$		3

### 3.1.5.7. Aušintuvas

Parentamas AGICO aušintuvas, jo parametrai pateikti 14 lentelėje.

**14 lentelė.** Aušintuvo techninės charakteristikos [25]

<b>AGICO <math>2,5 \times 25</math> m</b>	<b>Žymėjimas</b>	<b>Matavimo vnt.</b>	<b>Reikšmė</b>
Našumas	$Q$	t/h	15-20
Pasvyrimas	-	%	3-5
Variklio galingumas	$N$	kW	55
Svoris	-	t	110
Išmatavimai			
Ilgis	$L$	m	25
Diametras	$W$		2,5

## 3.2. Statybiniai sprendimai

### 3.2.1. Bendrieji duomenys

Baigiamojo darbo metu projektuojama įmonė, gaminanti papildomasias cementines medžiagas iš keramzito degimo dulkių. Įmonė planuojama statyti Ventos mieste, Akmenės rajone, teritorijoje, kur anksčiau veikė mineralinės klinties gaminius gaminanti įmonė. Gamyklos sklypo plotas yra 18 ha, kuriame jau įrengtos visos reikiamos komunikacijos – vandentiekis, elektros tinklai, gamtinės dujos.

Kadangi projektuojamoje įmonėje yra atvežama daug žaliavos, bei išvežama daug produktų, šalia yra įrengtas geležinkelis. Be to, įmonės teritorijoje turi būti numatyti keliai automobilių transportui ir krovinių automobilių apsisukimui. Šie keliai yra reikalingi žaliavų atvežimui, darbininkų atvežimui/atvažiavimui į darbo vietas bei patogiam avarinių tarnybų mašinų privažiavimui avarijų metu. Automobilių kelio plotis 6 m, nes teritorijoje daugiausiai naudojama sunkiasvorės transporto priemonės. Sklype įrengiamos 70 stovėjimo vietos darbuotojų, klientų ir aptarnaujančio personalo transporto priemonėms. Darbuotojams saugiai vaikščioti įmonės teritorijoje yra projektuojami 1 m pločio asfaltuoti takeliai.

Naujajame ceche planuojama gaminti 100000 tonų cemento priedo per metus.

15 lentelė. Bendrieji statinio techniniai rodikliai

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mato vienetas	Kiekis
1.	I. Sklypas		
	1.1. sklypo plotas	ha	18
	1.2. statinio užimtas žemės plotas	m <sup>2</sup>	14976
	1.3. apželdintas žemės plotas (žalasis plotas)	m <sup>2</sup>	72000
	1.4. automobilių stovėjimo vietų skaičius	vnt	25
	1.5. sanitarinės (apsaugos) zonos plotis	m	1000
2.	II. Pastatai		
	2.1. paskirties rodikliai (gamybos (kitos veiklos), paslaugų apimtys, aptarnaujamų žmonių skaičius, kiti rodikliai		
	2.2. bendrasis plotas:	m <sup>2</sup>	14976
	2.2.1. pagrindinis plotas	m <sup>2</sup>	14700
	2.2.2. pagalbinis	m <sup>2</sup>	276
	2.3. pastato tūris	m <sup>3</sup>	479232
	2.4. aukštų skaičius	vnt	1
	2.5. pastato aukštis	m	32
	2.6. pastato atsparumas ugniai	MJ/m <sup>2</sup>	I

### 3.2.2. Statinio architektūrinė ir konstrukcinė sandara

Projektuojamas vieno aukšto pramoninis gamyklinis pastatas Ventos mieste. Pastato ilgis L = 156 m, plotis B = 96 m, aukštis H= 32 m. Pastato fasadas orientuotas į šiaurę. Projektuojamo pastato aukštis nuo nulinės alt. iki laikančių konstrukcijų yra 30 m. Pastato statybai naudojamos plieninės konstrukcijos, kraštinės ir vidurinės kolonos, perdangos ir 44 dengimo plokštės. Pastato kolonų tinklelio išmatavimai 6x6 m., su esamais padidintais tarpais pastato viduje, gamybiniam naudingajam plotui padidinti. Numatomi sanitariniai mazgai, darbuotojų rūbinė ir poilsio kambarys. Sienos –



daugiasluoksnių sandwich plokščių, vidinės sienos iš akytojo betono blokelių. Grindys – betoninės, su išlyginamąja danga ir kietikliu. Lauko vartai su apšildinimo sluoksniu, reguliuojami ir su sandarinimo sistema. Langai – plastikinių profilių, trijų stiklų, dviejų tipų – varstomi ir nevarstomi. Pamatai – monolitiniai gelžbetoniniai su gręžtiniais poliais, kolonos plieninės, surenkamos konstrukcijos. Denginio laikančios konstrukcijos – plieninės santvaros, sijos, ryšiai.

Stogo konstrukcija susideda iš garo izoliacinės plėvelės, akmens vatos, ant kurios prilydoma bituminė stogo danga. Stogas formuojamas iš metalų sijų su ilginiais, profiliuotu skardos lakštu ( $t_1$ ) degumo klasės. Išoriniai vartai yra sekcijiniai su įmontuotomis durimis, pakeliami elektrine pavara ir turintys avarinio atidarymo galimybę rankomis. Vidaus apdaila – dažytos tinkuotos mūro sienos.

### **3.2.3. Bendrųjų statinio inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai**

Gaminamo produkto žaliavos atvežamos dengtais savivarčiais sunkvežimiais ir išverčiamos į bunkerius.

Pastato vidaus temperatūra lygi 16 °C, šildymui naudojamas geoterminis šildymas. Darbuotojų skaičius – 60.

Sanitarinio buitinio darbuotojų aptarnavimo ir maitinimo sprendiniai: Personalui esamos sanitarinės ir higienos patalpos suprojektuotos remiantis 2003–04–24 LR Vyriausybės nutarimu Nr. 501 „Dėl buities, sanitarinių ir higienos patalpų įrengimo reikalavimus“. Vienas unitazas skiriamas 18 vyrų arba 12 moterų; vienas pisuaras skiriamas 18 vyrų; viena rankų praustuvė skiriama 48 vyrams arba moterims; moterų ir vyrų tualete įrengiamas higieninis dušas. WC patalpoje įrengiami 2 tualetai, tad tenkinami darbuotojų poreikiai. Atstumas nuo darbo vietų gamybos patalpose iki tualetų, poilsio patalpų yra ne didesnis kaip 75 metrai. Persirengimo patalpos, dušai, prausyklos ir tualetai įrengiami atskirai moterims ir vyrams. Viruvėje/poilsio kambaryje vienam darbuotojui skiriama ne mažiau kaip 1 m<sup>2</sup> – viso kambario plotas lygus 144 m<sup>2</sup>.

Pagrindinės statinio inžinerinės sistemos apima vandentiekį, nuotekas ir elektrą. Vanduo centralizuotai tiekiamas iš miesto vandentiekio, o šulinyje yra įrengtas gatvėje prie įmonės. Nuotekos ir dujos taip pat tiekiamos iš miesto centrinės sistemos. Elektra pastatui tiekiamas iš teritorijoje esančios transformatorinės.

Technologinę įrangą sudaro sraigtiniai transporteriai (3 vnt.), juostiniai transporteriai (3 vnt.) granulatorius (1 vnt.), elevatoriai (2 vnt.), sukamoji krosnis (1 vnt.), aušintuvas (1 vnt.), ventiliatorius (1 vnt.), dujų valymo sistema, pneumatinis transporteris (1 vnt.).

### **3.2.4. Orientacinės statinio naujos statybos kainos apskaičiavimas**

Orientacinė statinio naujos statybos kaina gali būti apskaičiuojama pagal žinomą statinio tūrį, naudojant UAB „Sistela“ statinių statybos skaičiuojamųjų kainų palyginamuosius ekonominius rodiklius ir parengtą Nekilnojamojo turto atkūrimo kaštų (statybinės vertės) kainyną. Palyginamieji ekonominiai rodikliai apskaičiuoti pagal statinių analogus, atsižvelgiant į darbo, medžiagų, mechanizmų eksploatacijos skaičiuojamąsias rinkos kainas. Nekilnojamojo turto atkūrimo kaštų (statybinės vertės) kainynas naudojamas nustatant statinių vertę, apskaičiuojamą pagal atkuriamosios vertės metodą.

Apskaičiuotos statinio projektui parengti ir įgyvendinti reikalingos išlaidos grupuojamos pagal išlaidų grupes ir pateiktos 16 lentelėje.

**16 lentelė.** Suvestinės statybos kainos skaičiavimas

Išlaidų aprašymas	Kaina, Eur			Iš viso, Eur ( su PVM)
	Statybos ir montavimo darbai	Įrenginiai	Kitos išlaidos	
<b>I. Statybos sklypas</b>	-	-	180 000	217 800
<b>II. Statybos sklypo paruošimas</b>	-	-	18 000	21 780
<b>III. Statinio statyba ir įrengimas</b>	3 796 740	2 470 000	-	7 582 755,4
<b>IV. Projektavimo ir inžinerinės paslaugos</b>	-	-	314 237	380 226,8
<b>V. Kitos išlaidos</b>	-	-	197 969,3	239 424,9
<b>VI. Rezervas</b>	-	-	135 938,9	164 486,1
<b>Iš viso</b>	3 796 740	2 470 000	846 145,2	8 606 473,2

Pramoninis pastatas statomas 18 ha buvusios įmonės sklype, kuris yra papildomai paruošiamas – šios išlaidos vaizduojamos I ir II skyriuose.

III skyriuje apskaičiuotos išlaidos, skirtos statinio statybai bei įrengimui, taip pat reikalingiems įrenginiams įsigyti arba esantiems įrenginiams renovuoti.

IV skyriuje nurodytos išlaidos, skirtos projektavimo ir inžinerinėms paslaugoms – jos priimamos 5 % nuo II ir III skyriuose nurodytu išlaidų.

V skyriuje nurodomos kitos reikalingos išlaidos (draudimas, bandomosios produkcijos gamybos išlaidos), kurios apskaičiuojamos iki 3 % ( priimama 1 %) nuo II, III ir IV skyriuose nurodytų išlaidų sumos.

VI skyriuje nurodomas statytojo rezervas, kurį sudaro įvairios nenumatytos išlaidos, kurios nėra įtrauktos į skaičiavimus, tačiau būtinos statiniui pastatyti. Šios išlaidos sudaro 2 % nuo II–V skyriuose nurodytų išlaidų sumos, įvertinant, kad statybos trukmė bus mažesnė nei vieni metai.

### **3.3. Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai**

#### **3.3.1. Inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizė**

Gamybos cechas, tiekiantis papildomasias cementines medžiagas, bus pirmoji tokius produktus tiekianti gamykla Lietuvoje.

Siekiant apdoroti tiek kiekybinę, tiek kokybinę informaciją, naudojamosi įvairiais inovacijos projektavimo ir diegimo aplinkos analizės modeliais. Vienas jų – SSGG (SWOT) analizės metodas, kuriuo naudojantis nustatomos, kokios galėtų būti projektuojamos gamyklos įmonės stiprybės, silpnybės, galimybės bei grėsmės.

Stiprybės:

- produkcijos ekologiškumas;
- užsienio rinkas atitinkanti gaminių kokybė;
- mažesni produkto transportavimo kaštai Baltijos bei šiaurės ir vidurio Europos šalims;
- nedidelė kaina;
- modernūs įrengimai;
- pastovi ilgalaikė rinka;
- kvalifikuoti darbuotojai.

Silpnybės:

- naujas produktas, nedidelė patirtis;
- gamyba priklausoma nuo keramzito gamybos įmonių;
- gamyba vyksta ne visus metus;
- ne Europos rinkoje mažai žinomas prekės ženklas.

Galimybės:

- galimybė didinti gamybos mastą;
- galimybė turėti daugiau ir įvairesnių žaliavų tiekėjų;
- galimybė didinti produkcijos asortimentą;
- galimybė didinti užsienio rinką.

Grėsmės:

- žaliavų brangimas dėl nedidelės konkurencijos;
- didėjanti dujų, kuro ir elektros energijos kaina;
- darbuotojų atlyginimo didėjimas;
- kvalifikuotų darbuotojų trūkumas;
- perkamosios galios sumažėjimas;
- dideli kokybės reikalavimai ir užsienio klientų.

Taip pat, svarbu įvertinti konkurencinę aplinką. Analizuojant papildomųjų cementinių medžiagų pasaulinę prekybą, nustatyta, jog didžiausią rinkos dalį sudaro Azijos bei Ramiojo vandenyno regiono šalys, kurios pasižymi gamybos žaliavų gausa bei pigia darbo jėga, tad šios įmonės gali pasiūlyti didesnius produkto kiekius bei mažesnę jų kainą. Norint konkuruoti su tokio tipo įmonėmis, svarbu gerinti gaminio kokybę, taip pat prekybą daugiau plėtoti Europos regione, nes taip klientui mažiau kainuos ir trumpiau truks produkto transportavimas nei naudojantis tolimų šalių įmonių paslaugomis.

Be to, būsima įmonė kaip žaliavas naudos pramonines atliekas, produktas taip pat bus ekologiškas, paliekantis mažesnę CO<sub>2</sub> pėdsaką, tad įmonė mažins aplinkos taršą. Taip atsiranda galimybė gauti valstybinį ir ES finansavimą gamybos plėtrai bei modernizavimui.

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

Projektuojamam cechui bus statomos naujos gamybinės patalpos, įsigijami nauji modernūs įrengimai. Kadangi gamybos žaliavos yra atliekos, reikalingos investicijos tik jų transportavimui. Siekiant įgyvendinti projektą, investicijos bus skiriamos iš akcininkų lėšų bei banko paskolos, taip pat bus siekiama gauti Europos Sąjungos finansavimą. Projekto finansavimo poreikis ir šaltiniai pateikti 17 lentelėje.

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

Projekto kaštai		Finansavimo šaltiniai	
Struktūra	Eur	Struktūra	Eur
1. Ilgalaikiam turtui įsigyti, iš jų gamybos priemonėms	2 988 700	1. Akcininkų nuosavybė, akcinis kapitalas, rezervai	2 909 118,3
2. Trumpalaikiam turtui įsigyti, tarp jo žaliavoms ir pagrindinėms medžiagoms	41 300	2. Paskolos	2 909 118,3
3. Statybos ir montavimo kaštai	8 606 473,2	3. Europos Sąjungos finansavimas	5 818 236,6
4. Kiti kaštai			
<b>Viso:</b>	11 636 473,2	<b>Viso:</b>	11 636 473,2

**3.3.3. Ilgalaikio turto vertės skaičiavimas**

Technologiniai įrengimai bus perkami iš gamintojų katalogų, įvertinant gamybos našumą. Montavimo darbų kaina ir garantijos yra įskaičiuota į įrangos kainą. Technologinių įrengimų vertė pateikta 18 lentelėje.

**18 lentelė.** Technologinių įrengimų vertė

Eil. Nr.	Įrengimo pavadinimas	Vertė, Eur
1.	Sukamoji krosnis	1 200 000
2.	Aušintuvas	650 000
3.	Granuliatorius	20 000
4.	Dujų valymo sistema	100 000
5.	Pagalbiniai įrenginiai	500 000
PVM dydis (21 %)		518 700
<b>Viso:</b>		2 988 700

**3.3.4. Trumpalaikio turto vertės skaičiavimas**

19 lentelėje pateiktas trumpalaikio turto poreikis 5–eriems projekto metams.

Apyvartinio kapitalo poreikis pirmaisiais projekto gyvavimo metais apskaičiuojamas įvertinant produkcijos pardavimo apimtį, Eur. Apyvartinės lėšos baziniais metais apskaičiuojamas priimant 30 % nuo apyvartinių lėšos sumos, reikalingos pirmaisiais projekto gyvavimo metais.

**19 lentelė.** Trumpalaikio turto poreikis

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai					
	0	1	2	3	4	5
Gamybos apimtis, natūriniais vienetais (tūkst. t)	-	80	100	100	90	80
Gamybos prieaugio koeficientas	-	0,80	1,00	1,00	0,90	0,80
Apyvartinių lėšų metinis poreikis, tūkst. Eur	-	232,74	251,68	251,68	234,21	235,41
Apyvartinių lėšų poreikio prieaugis, tūkst. Eur	-	162,92	18,94	0	-17,47	1,2
Apyvartinės lėšos, tūkst. Eur	69,82	232,74	251,68	251,68	234,21	235,41

### 3.3.5. Produkcijos gamybos apimtis ir gautinosios pajamos

Baziniais projekto gyvavimo metais numatoma 80 % gamybos apimtis. Brandos metais gamybos cechais dirbs visu pajėgimu, o likusiais metais numatomas sumažėjęs gamybos našumas dėl įrangos susidėvėjimo ar kitų nenumatytų priežasčių. Produkcijos gamybos apimtys pateiktos 20 lentelėje.

20 lentelė. Produkcijos gamybos apimtis

Projekto metai	Įsisavinimo koeficientas	Gamybos apimtis, tonos
		Papildomoji cementinė medžiaga
1	0,8	80 000
2	1,0	100 000
3	1,0	100 000
4	0,9	90 000
5	0,8	80 000

### 3.3.6. Gamybos kaštai

#### 3.3.6.1. Tiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Papildomųjų cementinių medžiagų gamybai naudojama viena žaliava – keramzito dulkės. Jos yra keramzito gamybos atliekos, tad gaunamos nemokamai, tačiau kainuoja jų transportavimas. Priimama, jog brandos stadijoje 25 tonų sunkvežimiu kainuos 100 Eur (4 Eur/t). Pirmaisiais projekto metais transportavimo kaina priimta didesnė dėl mažesnio žaliavos kiekio, o 4-ais ir 5-ais metais transportavimo kaina didėja dėl kainų kylimo. 21 lentelėje pateiktos išlaidos, skirtos produkto žaliavai 1-5 įmonės gyvavimo metais.

21 lentelė. Išlaidos žaliavoms ir medžiagoms

Medžiagos (žaliavos) pavadinimas	Gamybos planas, t	Medžiagos kaina, Eur/t	Medžiagos poreikis, t	Medžiagų kaštai, Eur
<b>1 metai</b>				
Papildomoji cementinė medžiaga	80 000			
Keramzito dulkės	-	4,5	89 194,48	401 375,16
<b>Brandos metai (2, 3 metai)</b>				
Papildomoji cementinė medžiaga	100 000			
Keramzito dulkės	-	4,0	111 493,10	445 972,40
<b>4 metai</b>				
Papildomoji cementinė medžiaga	90 000			
Keramzito dulkės	-	4,3	100 343,79	431 478,30

**21 lentelė.** Išlaidos žaliavoms ir medžiagoms (tęsinys)

Medžiagos (žaliavos) pavadinimas	Gamybos planas, t	Medžiagos kaina, Eur/t	Medžiagos poreikis, t	Medžiagų kaštai, Eur
<b>5 metai</b>				
<b>Papildomoji cementinė medžiaga</b>	80 000			
Keramzito dulkės	-	4,5	89 194,48	401 375,16

Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui skaičiuojamos pagal pagrindinių darbuotojų skaičių. Gaminio imlumas apskaičiuojamas įvertinant, kiek vienam darbuotojui reikės dirbti valandų vienai tonai produkcijos pagaminti. Priimama, jog gamybos ceche dirba 48 darbuotojai. 22 lentelėje pateiktos išlaidos, skirtos darbo užmokesčiui.

**22 lentelė.** Tiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Gaminiai	Gamybos apimtis, t	Gaminio darbo imlumas, nh	Valandinis atlyginimas	Gamybinės programos darbo imlumas, nh	Darbo užmokestis			VSD, GF, IDIF
					Pagrindinis	Papildomas	Bendras	
<b>1 metai</b>								
PCM	80 000	0,8	6,53	64 000	417 920	45 971,2	463 891,2	8 210,87
<b>Brandos metai (2,3 metai)</b>								
PCM	100 000	0,8	7,40	80 000	592 000	65 120	657 120	11 631,02
<b>4 metai</b>								
PCM	90 000	0,8	7,75	72 000	558 000	61 380	619 380	10 963,03
<b>5 metai</b>								
PCM	80 000	0,8	8,05	64 000	417 920	45 971,2	463 891,2	8 210,87

23 lentelėje pateikiamos išlaidos elektros energijai. Priimama, jog variklių galingumo panaudojimo koeficientas visais projekto gyvavimo metais išliks 0,8.

**23 lentelė.** Tiesioginės išlaidos elektros energijai

Įrengimų variklių suminis aktyvinis galingumas, kW	Variklių galingumo panaudojimo koeficientas	Įrengimų metinis efektyvus darbo laikas, h	Elektros energijos poreikis, kWh	Elektros 1 kWh kaina, Eur	Išlaidos elektros energijai, Eur
<b>1 metai</b>					
250	0,8	6576	1 315 200	0,195	256 464
<b>Brandos metai (2,3 metai)</b>					
250	0,8	6576	1 315 200	0,205	269 616
<b>4 metai</b>					
250	0,8	6576	1 315 200	0,215	282 768

**23 lentelė.** Tiesioginės išlaidos elektros energijai (tęsinys)

Įrengimų variklių suminis aktyvinis galingumas, kW	Variklių galingumo panaudojimo koeficientas	Įrengimų metinis efektyvus darbo laikas, h	Elektros energijos poreikis, kWh	Elektros 1 kWh kaina, Eur	Išlaidos elektros energijai, Eur
<b>5 metai</b>					
250	0,8	6576	1 315 200	0,225	295 920

24 lentelėje pateikiamos tiesioginės išlaidos vandeniui. Vanduo naudojamas granuliatoriuje ir priimama, jog vandens sunaudojama 2 % nuo sausos medžiagos.

**24 lentelė.** Tiesioginės išlaidos vandeniui

Gaminio pavadinimas	Gamybos apimtis, t	Vandens sąnaudos vienam gaminiui, m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup> vandens kaina, Eur	Išlaidos vandeniui, Eur
Papildomoji cementinė medžiaga	100 000	0,02	2,48	4 960

Keramzito dulkės prieš granuliavimą yra deginamos sukamojoje krosnyje, kuriai naudojamos gamtinės dujos. Priimama, jog 1 tonai keramzito dulkių išdegti reikės 2,77 m<sup>3</sup> dujų. Išlaidos dujoms pateikiamos 25 lentelėje.

**25 lentelė.** Tiesioginės išlaidos dujoms

Gaminio pavadinimas	Žaliavos apimtis, tiekama degti, t	Dujų sunaudojimo norma, m <sup>3</sup> /t	1 m <sup>3</sup> dujų kaina, Eur	Dujų poreikis, m <sup>3</sup>	Išlaidos dujoms, Eur
Papildomoji cementinė medžiaga	111 493,1	2,77	0,55	308 835,89	169 859,74

### 3.3.6.2. Netiesioginių gamybos kaštų skaičiavimas

Šiame skyriuje įvertinamos gamybos išlaidos, kurios nėra tiesiogiai susijusios su gamyba, bet sudarančios sąlygas gamybai (darbuotojų, tiesiogiai negaminančių produkto darbo užmokestis, tokių kaip viršininkai, sandėlininkai, valytojai, darbo medžiagų, energijos ir amortizacijos išlaidos).

26 lentelėje pateikiamos išlaidos darbuotojų, netiesiogiai susijusių su gamyba, užmokesčiui. Priimta, jog gamybiniame ceche dirbs 6 pagalbiniai darbuotojai ir 6 su gamyba nesusiję darbuotojai (cecho vadovai, technikai, specialistai).

**26 lentelė.** Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui

Profesija	Darbuotojų skaičius	Mėnesinis darbo užmokestis, Eur	Pagrindinis DU fondas, Eur	VSD, GF ir IDIF	Su darbo užmokesčiu susijusios išlaidos, Eur
Cecho vadovai, specialistai, technikai	6	3 800	273 600	4 842,72	278 442,72

**26 lentelė.** Netiesioginės išlaidos darbo užmokesčiui (tęsinys)

Profesija	Darbuotojų skaičius	Mėnesinis darbo užmokestis, Eur	Pagrindinis DU fondas, Eur	VSD, GF ir IDIF	Su darbo užmokesčiu susijusios išlaidos, Eur
Pagalbininkai, valytojai	6	1 050	75 600	1 338,12	76 938,12
<b>Viso</b>			349 200	6 180,84	355 380,84

Netiesioginės išlaidos vandeniui skaičiuojamos priimant, jog 1 darbuotojas sunaudos vidutiniškai 30 l vandens per dieną. Eksploatacinės išlaidos priimtos 10 % nuo išlaidų sumos. Skaičiavimai pateikti 27 lentelėje.

**27 lentelė.** Netiesioginės išlaidos vandeniui

Išlaidų pavadinimas	Sunaudojimas per parą, l/1 darbuotojui	Poreikis metams, m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup> vandens kaina, Eur	Išlaidos vandeniui, Eur
Šaltas vanduo	30	8,1	2,48	20,09
<b>Viso</b>	1 800	486		1 205,28
Eksploatacinės išlaidos	-	-	-	120,53
<b>Iš viso</b>	--	-	-	1 325,81

28 lentelėje pateiktos išlaidos, skirtos gamybinių patalpų šildymui.

**28 lentelė.** Netiesioginės išlaidos gamybinių patalpų šildymui

Projekto metai	Šiluminės energijos poreikis, Gkal	Šiluminės energijos kaina, Eur/Gkal	Išlaidos šildymui per metus, Eur	Eksploatacinės išlaidos, Eur	Viso išlaidų, Eur
<b>1</b>	250	60	15 000	750	15 750
<b>2</b>	250	61	15 250	762,5	16 012,5
<b>3</b>	250	62	15 500	775	16 275
<b>4</b>	250	62	15 500	775	16 275
<b>5</b>	250	63	15 750	787,5	16 537,5

Netiesioginės išlaidos patalpų apšvietimui pateiktos 29 lentelėje.

**29 lentelė.** Netiesioginės išlaidos patalpų apšvietimui

Projekto metai	Patalpų plotas	Apšvietimo norma, W/m <sup>2</sup>	Energijos kiekis patalpoms apšviesti, kWh	1 kWh kaina, Eur	Išlaidos apšvietimui per metus, Eur	Eksploatacinės išlaidos, Eur	Viso išlaidų, Eur
<b>1</b>	14976	0,05	2 426 112	0,195	473 091,84	47 309,18	520 401,02
<b>2</b>				0,205	497 352,96	49 735,30	547 088,26
<b>3</b>				0,205	497 352,96	49 735,30	547 088,26



**29 lentelė.** Netiesioginės išlaidos patalpų apšvietimui (tęsinys)

Projekto metai	Patalpų plotas	Apšvietimo norma, W/m <sup>2</sup>	Energijos kiekis patalpoms apšviesti, kWh	1 kWh kaina, Eur	Išlaidos apšvietimui per metus, Eur	Ekspluatacinės išlaidos, Eur	Viso išlaidų, Eur
4	14976	0,05	2 426 112	0,215	521 614,08	52 164,41	573 778,49
5				0,225	546 875,20	54 687,52	601 562,72

30 lentelėje pateikta ilgalaikio turto nusidėvėjimo suma metams ir likutinė vertė. Priimama, jog pastatų normatyvinė eksploataavimo trukmė yra 20 metų, o įrengimų – 10 metų, likvidacinė vertė – 10 %.

**30 lentelė.** Pagrindinių priemonių amortizacija

Ilgalaikio turto rūšis	Įsigijimo vertė, tūkst. Eur	Normatyvinė eksploataavimo trukmė, metai	Nusidėvėjimo suma, tūkst. Eur metams					Likutinė vertė, tūkst. Eur
			1	2	3	4	5	
Pastatai	8 606,47	20	430,32	430,32	430,32	430,32	430,32	6454,85
Sukamoji krosnis	1 200	10	108	108	108	108	108	660
Aušintuvas	650	10	58,5	58,5	58,5	58,5	58,5	357,5
Granuliatorius	20	10	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	11
Dujų ir dulkių valymo sistema	100	10	4	3,8	3,75	3,7	3,65	55
Pagalbiniai įrenginiai	500	20	19	17,5	16,5	16	16	387,5
<b>Viso</b>			630,12	630,12	630,12	630,12	630,12	7925,8525

Netiesioginių gamybos išlaidų sąrašas pateiktas 31 lentelėje. Kitoms išlaidoms priskiriama 5 % nuo netiesioginių gamybos išlaidų sumos.

**31 lentelė.** Netiesioginių gamybos išlaidų sąrašas

Išlaidų rūšys	Išlaidos, Eur				
	Projekto metai				
	1	2	3	4	5
Darbo užmokestis	349 200	349 200	184 176	184 176	184 176
VSD, GF ir IDIF	6 180,84	6 180,84	6 180,84	6 180,84	6 180,84
Elektros energija	520 401,02	547 088,26	547 088,26	573 778,49	601 562,72
Vanduo	1 205,28	1 205,28	1 205,28	1 205,28	1 205,28
Šiluminė energija	15 750	16 012,5	16 275	16 275	16 537,5

**31 lentelė.** Netiesioginių gamybos išlaidų sąrašas (tęsinys)

Išlaidų rūšys	Išlaidos, Eur				
	Projekto metai				
	1	2	3	4	5
Įrenginių amortizacija	630 120	630 120	630 120	630 120	630 120
Kitos išlaidos	63 255,61	61 589,10	61 530,72	62 003,23	62 905,57
Iš viso	1 586 112,8	1 611 396	1 611 600,1	1 638 762,8	1 667 711,9

Bendri gamybos kaštai ir gaminio gamybinė savikaina pateikti 32 lentelėje.

**32 lentelė.** Gamybos kaštai

Kaštų rūšys	Gamybos kaštai, Eur
<b>Brandos stadija</b>	
Pagrindinės medžiagos	445 972,40
Energija	444 165,74
Darbo užmokestis	657 120
VSD, GF ir IDIF	11 631,02
Netiesioginės gamybinės išlaidos	1 611 396
Viso gamybos kaštų, Eur	3 170 285,14
Produkcijos gamybos apimtis, t	100 000
Gaminio gamybinė savikaina, Eur/t	31,7
<b>1 metai</b>	
Gamybos kaštai, Eur	2 792 863
Produkcijos gamybos apimtis, t	80 000
Gaminio gamybinė savikaina, Eur	36,03
<b>4 metai</b>	
Gamybos kaštai, Eur	2 810 514
Produkcijos gamybos apimtis, t	90 000
Gaminio gamybinė savikaina, Eur	33,10
<b>5 metai</b>	
Gamybos kaštai, Eur	2 824 968
Produkcijos gamybos apimtis, t	80 000
Gaminio gamybinė savikaina, Eur	37,55

### 3.3.7. Veiklos kaštai

Šiame skyriuje atsižvelgiama į veiklos išlaidas, skirtas:

- medžiagos ir išlaidos, skirtos administracinių patalpų išlaikymui;
- administracijos darbuotojų darbo užmokestis ir jų VSD, GF ir IDIF;
- energetinės administracinių patalpų išlaidos;
- ryšių paslaugos;
- produkto realizavimo išlaidos, mokesčiai, rinkliavos, kitos išlaidos.

Kaštai parenkami remiantis įmonės analogo duomenimis, o jų neturint – priimama, jog šios išlaidos sudaro 5-30 % gamybos kaštų. Veiklos kaštų skaičiavimai pateikti 33 lentelėje.

**33 lentelė.** Veiklos kaštai

Išlaidų rūšys	Suma, Eur
<b>Pardavimų sąnaudos</b>	
Reklama ir skelbimai	63 000
Prekių pakavimas ir išvežimas	150 000
<b>Bendrosios ir administracinės sąnaudos</b>	
Pagalbinės medžiagos	10 500
Administracijos darbuotojų darbo užmokestis	76 800
VSD, GF ir IDIF	1 359,36
Energija	9 815,2
Amortizacija	5 403,2
Paslaugos	7 000
Komandiruotės	5 000
Mokesčiai	42 783,90
Viso	371 661,66

34 lentelėje pateiktos veiklos išlaidos, skirtos 1 tonai gaminio.

**34 lentelė.** Veiklos išlaidos gaminiui

Rodikliai	Viso
Veiklos sąnaudos, Eur	371 661,66
Pardavimo planas, t	100 000
Gaminiui tenkančios veiklos išlaidos, Eur	3,72

### 3.3.8. Finansinės ir investicinės sąnaudos

Projekto finansavimui 25 % yra skolinamasi iš banko su 3,7 % metine palūkanų norma. Palūkanų mokėjimo ir paskolos gražinimo planas yra pateiktas 35 lentelėje.

**35 lentelė.** Palūkanų mokėjimo ir paskolos gražinimo planas

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
Paskolos suma, Eur	2 909 118,30	2 327 294,64	1 745 470,98	1 163 647,32	581 823,66
Metinė palūkanų norma, %	3,7	3,7	3,7	3,7	3,7
Palūkanos, Eur	107 637,38	86 109,90	64 582,43	43 054,95	21 527,48
Paskolos padengimas, Eur	581 823,66	581 823,66	581 823,66	581 823,66	581 823,66

### 3.3.9. Gaminio kainos skaičiavimas

Gaminio kaina apskaičiuojama įvertinus gamybinę savikainą, gaminiui tenkančias veiklos ir investicines sąnaudas kartu su planuojama gauti pelno norma. Gaminio kaina projekto gyvavimo metais pateikta 36 lentelėje.

36 lentelė. Gaminio kainos skaičiavimai

Gaminys	Gamybinė savikaina, Eur	Gaminiui tenkančios veiklos išlaidos, Eur	Gaminiui tenkančios investicinių išlaidos, Eur	Gaminio bendra savikaina, Eur	Pelnas		Kaina
					%	Eur/vnt	Eur
<b>1 metai</b>							
PCM	36,03	3,72	1,35	41,1	70	28,77	69,87
<b>2 metai</b>							
PCM	31,70	3,72	0,86	36,28	70	25,40	61,68
<b>3 metai</b>							
PCM	31,70	3,72	0,65	36,07	70	25,25	61,32
<b>4 metai</b>							
PCM	33,10	3,72	0,48	37,3	70	26,11	63,41
<b>5 metai</b>							
PCM	37,55	3,72	0,24	41,51	70	29,06	70,57

### 3.3.10. Projekto pelnas ir grynujų pinigų srautai

Prognozė pelno (nuostolio) ataskaita ir projekto grynieji pinigų srautai pateikiami 37 lentelėje.

Pelno mokestis priimamas 15 % nuo apmokestinamo pelno sumos.

37 lentelė. Įmonės pelno (nuostolio) ataskaita

Rodiklis	Projekto gyvavimo metai				
	1	2	3	4	5
Pardavimų pajamos	5 589 600	6 167 600	6 131 900	5 706 900	5 645 360
Parduodamos produkcijos gamybos kaštai	3 288 000	3 628 000	3 607 000	3 357 000	3 320 800
Bendras pelnas	2 301 600	2 539 600	2 524 900	2 349 900	2 324 560
Veiklos sąnaudos	297 600	372 000	371 661,66	334 800	297 600
Veiklos pelnas	2 004 000	2 167 600	2 153 238,34	2 015 100	2 026 960
Finansinės sąnaudos	108 000	86 000	65 000	43 200	19 200
Pelnas prieš apmokestinimą	1 896 000	2 081 600	2 088 238,34	1 971 900	2 007 760
Pelno mokestis	28400	31240	31235,751	295 785	301 164
Grynasis pelnas	1 611 600	1 769 360	1 775 002,589	1 676 115	1 706 596

Pinigų srautai skaičiuojami prie grynojo įmonės pelno pridėdant nusidėvėjimo ir amortizacijos sąnaudas, atimant papildomas investicijas į apyvartinį kapitalą ir eliminavus finansinės veiklos sąnaudas. Pinigų srautų ataskaita pateikta 38 lentelėje.

**38 lentelė.** Finansinės būklės pakitimų (pinigų srautų) ataskaita

Eil. Nr.	Rodikliai	Projekto metai					
		0	1	2	3	4	5
<b>1.</b>	<b>Pinigų srautai iš įmonės veiklos</b>						
1.1.	Grynasis pelnas	-	1 611 600	1 769 360	1 775 002,6	1 676 115	1 706 596
1.2.	Nusidėvėjimo sąnaudos	-	630 120	630 120	630 120	630 120	630 120
1.3.	Papildomos investicijos į apyvartinį kapitalą	69 820	162 920	18 940	0	-17 470	1 200
1.4.	Finansinės veiklos sąnaudų eliminavimas	-	107 637,38	86 109,90	64 582,43	43 054,95	21 527,48
	<b>Grynieji pinigų srautai iš įmonės veiklos</b>	<b>-69 820</b>	<b>1 971 163</b>	<b>2 294 430</b>	<b>2 340 540</b>	<b>2 280 650</b>	<b>2 313 989</b>
<b>2.</b>	<b>Pinigų srautai iš investicinės veiklos</b>						
2.1.	Ilgalaikio turto perleidimas (išsigijimas)	11595173,2	-	-	-	-	7 925 852
	<b>Grynieji pinigų srautai iš investicinės veiklos</b>	<b>-11595173,2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7 925 852</b>
<b>3.</b>	<b>Bendri metiniai pinigų srautai</b>	<b>-11664992,8</b>	<b>1 971 163</b>	<b>2 294 430</b>	<b>2 340 540</b>	<b>2 280 650</b>	<b>10 239 841</b>

### 3.3.11. Investicijų efektyvumo įvertinimas

Skaičiuojant projekto efektyvumo vertinimo rodiklius svarbu įvertinti laiko veiksnį, tad projekto grynuosius pinigų srautus būtina diskontuoti. Grynieji pinigų srautai diskontuojami pagal vidutinius svertinio kapitalo kaštus. Apskaičiuota, jog diskonto norma yra 5,93 %. Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai (GPS) pateikti 39 lentelėje.

**39 lentelė.** Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai (GPS)

Projekto metai	Paprasti GPS		Diskontuoti GPS	
	metiniai GPS	bendri GPS	metiniai GPS	bendri GPS
<b>0</b>	-11 664 992,8	-11 664 992,8	-11 664 992,80 €	-11 664 992,80 €
<b>1</b>	1 971 163	-9 693 830	1 860 816,58 €	-9 804 176,22 €
<b>2</b>	2 294 430	-7 399 400	2 044 734,23 €	-7 759 441,99 €

**39 lentelė.** Projekto paprasti ir diskontuoti grynieji pinigų srautai (GPS) (tūsinys)

Projekto metai	Paprasti GPS		Diskontuoti GPS	
	metiniai GPS	bendri GPS		metiniai GPS
3	2 340 540	-5 058 860	1 969 060,91 €	-5 790 381,08 €
4	2 280 650	-2 778 210	1 811 268,16 €	-3 979 112,92 €
5	10 239 841	7 461 631	7 677 120,40 €	3 698 007,48 €

Vertinant projekto ekonominę tikslingumą yra apskaičiuojamas diskontuotas atpirkimo laikas, grynoji esamoji vertė (GEV), vidinė pelno (gražos) norma (IRR) ir pelningumo indeksas (PI). Apskaičiuoti rodikliai pateikiami 40 lentelėje.

**40 lentelė.** Projekto ekonominio vertinimo rodikliai

Rodikliai	Matavimo vienetai	Reikšmės
Diskontuotas atpirkimo laikas	Metai	4,52
GEV	Eur	3 698 007,48
IRR	%	14
PI	-	1,32

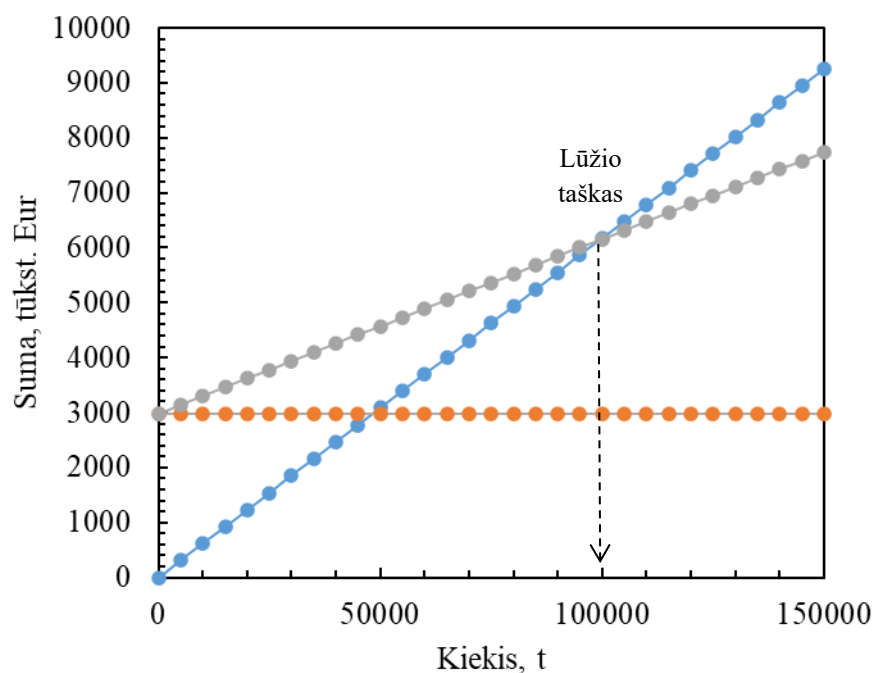
Diskontuotas atpirkimo laikas lygus 4,52 metai, tad teigiama, jog investicijos efektyvios. GEV gauta teigiama reikšmė, taip pat pelningumo indeksas yra didesnis už vienetą, tad projektas yra priimtinas.

Lūžio taškas, parodantis, kokį kiekį produkcijos reikia pagaminti ir parduoti, kad įmonės veikla būtų pelninga, pateikiamas 41 lentelėje.

**41 lentelė.** Lūžio taškas

Rodikliai	Vertės
Pastoviųjų kaštų suma, Eur	2 988 700
Gaminio kaina, Eur	61,68
Gaminio kintamieji kaštai, Eur	31,70
Lūžio taškas, tonos	<b>99 689,8</b>
Pardavimų planas, vnt.	100 000

Pateikiamas lūžio taško grafikas (žr. 18 pav.).



18 pav. Lūžio taškas

Sudaromas projekto balansas, parodantis kiekvienų metų grynuosius pinigų srautus ir būsimuosius GPS (sukauptus po atitinkamų metų). Projekto balansas pateiktas 42 lentelėje.

42 lentelė. Projekto balansas

Projekto gyvavimo metai	0	1	2	3	4	5
0	-11 664 992,8	-11 664 992,8	-11 664 992,8	-11 664 992,8	-11 664 992,8	-11 664 992,8
1		1 971 163	1 971 163	1 971 163	1 971 163	1 971 163
2			2 294 430	2 294 430	2 294 430	2 294 430
3				2 340 540	2 340 540	2 340 540
4					2 280 650	2 280 650
5						10 239 841
<b>Būsimieji GPS</b>	-11 664 992,8	-9 693 829,80	-7 399 399,8	-5 058 859,8	-2 778 209,8	7 461 631,2

Atlikus būsimo projekto analizę, nustatyta, jog investicijų atsipirkimo laikas – 4,52 metai, vidinė gražos norma (IRR) – 14 % yra didesnė už kapitalo kaštus, kurie lygus 5,93 %, pelningumo indeksas – 1,32, lūžio taškas - 99 689,8. Įvertinus gautus projekto ekonominio vertinimo rodiklius, galima teigti, jog projektas yra priimtinas ir efektyvus.

### 3.4. Aplinkosauginis vertinimas

Aplinkosauginio vertinimo tikslas yra nustatyti gaminamo produkto ir jo žaliavų poveikį aplinkai visą jo gamybos ciklą. Poveikio aplinkai vertinimas atliekamas tik projektuojamame ceche, nevertinant žaliavų apdorojimo ir gaminių realizacijos.

Kaip jau minėta, papildomojo cementinė medžiaga bus gaminama iš keramzito dulkių 100000 tonų per metus našumu. Gamybės metu naudojamas vanduo, elektros, šiluminė energija bei gamtinės dujos.

### 3.4.1. Bendrieji duomenys

Aplinkosauginis vertinimas pradedamas nuo žaliavų ir išteklių balanso bei jų duomenų. 43 lentelėje įvertinamas žaliavos – keramzito dulkių – poveikis aplinkai.

**43 lentelė.** Duomenys apie naudojamą žaliavą [26]

Žaliavos pavadinimas	Medžiagos kodas	Kiekis, t/metai	Cheminės medžiagos klasifikavimas ir ženklavimas		
			kategorijos pavadinimas	pavojaus nuoroda	rizikos frazės, saugumo frazės
Keramzito dulkės	10 12 03	111 493,1	Gamybinė atlieka	Xi, Xn,	R: 23/24/25, 36/37/38, 43. S: 22, 24/25, 29/35, 36/37/39.

Gamybos žaliavos yra priskiriamos prie nepavojingų medžiagų, tačiau turi būti laikomasi saugos priemonių dėl rizikos kvėpavimo takų, akių ir odos sudirgimo, taip pat žaliava turi būti saugiai sandėliuojama, vengiant patekimo į nuotekas ar vandens telkinius.

Gamybos metu naudojama elektros energija įrengimams ir patalpoms apšviesti. Gamtinės dujos naudojamos žaliavų degimui sukamojoje krosnyje. Reikalingas elektros ir dujų kiekis priklauso nuo metų laiko bei gamybės apimčių. 44 lentelėje pateikiamas kuro ir energijos suvartojimas brandos metais.

**44 lentelė.** Kuro ir elektros energijos suvartojimas

Ištekliai	Matavimo vnt.	Sunaudojimas per metus	Išteklių šaltinis
Elektros energija	kWh	3 741 312	UAB „Ignitis“
Gamtinės dujos	m <sup>3</sup>	308 835,89	UAB „Ignitis“

Gamybinės ir pagalbinės patalpos yra šildomos vėsesniu metų laiku. Reikalingi šiluminės energijos kiekiai pateikti 45 lentelėje.

**45 lentelė.** Šiluminė energija patalpoms šildyti

Šiluminės energijos poreikis, kWh	Šildomas plotas, m <sup>2</sup>	Energinio naudingumo klasė	Šaltinis
290,68	14976	A++	AB „Šiaulių energija“

Žaliavos transportavimo ir sandėliavimo duomenys pateikti 46 lentelėje.

**46 lentelė.** Žaliavų transportavimas ir sandėliavimas

Žaliava	Transportavimo būdas	Saugomas kiekis vietoje, t	Sandėliavimas
Keramzito dulkės	Geležinkelio transportas	12 388,12	Sandėliavimo bunkeris

Įvertinama ir objekto veiklos fizikinė bei biologinė tarša. Analizuojamoje įmonėje, gaminant produktą, nesusidaro biologinė tarša, elektromagnetinė ir jonizuojanti spinduliuotė. Susiduriama su



triukšmu transportuojant žaliavas ir produktus, bet kasdienio triukšmo lygio norminės vertės nėra viršijamos.

### 3.4.2. Atliekų tvarkymas

Gamybos metu susidarančios atliekos yra dujų valymo filtruose susikaupiančios dulkės, kurios gražinamos į granuliatorių – jos perdirbamos įmonės viduje. Šių susidarančių atliekų tvarkymo būdas priskiriamas neorganinių statybinių medžiagų perdirbimo kategorijai.

Taip pat, atliekos gali susidaryti atliekant įrenginių eksploatacinę priežiūrą, pvz.: esant panaudotam tepalui, taip pat tepaluotiems drabužiams ar šluostėms, audiniui. Panaudotas tepalas bei tepaluoti audiniai laikomi specialiose tam skirtose talpyklose ir vežamos tvarkyti į UAB „Toksika“. Ši įmonė eksploatuoja pavojingųjų atliekų deginimo įrenginį, kuriame atliekos sunaikinamos esant didesnei nei 1100 °C temperatūrai. Skystos atliekos supilamos į skystų atliekų talpyklas, o iš jų specialiais purkštukais įpurškiamos į atliekų deginimo krosnį.

Vykdamt įmonės veiklą, įvertinamos ir komunalinės atliekos, susidarančios administracinėse patalpose bei darbuotojų reikmėms. Jos rūšiuojamos ir laikomos konteineriuose, o po to išvežamos į atliekų tvarkymo įmonę, kur apdirbamos ir perskirstomos. 47 lentelėje pateikiami atliekų tvarkymo sprendimai.

47 lentelė. Atliekų tvarkymo būdai

Procesas	Atlieka	Atliekų kiekis, t/metai	Atliekų agregatinė būsena	Atliekų kodas	Pavojingumas	Laikymo sąlygos	Didžiausias laikomas kiekis, t	Atliekų tvarkymo būdas
Eksploatacinė įrenginių priežiūra	Panaudotas tepalas	0,5	Skystas	13 02 08	Pavojinga	Specialiose talpyklose	0,04	D10
	Tepaluotos šluostės	0,3	Kietas	15 02 02	Pavojinga	Specialiose talpyklose	0,004	D10
Bendri gamybos procesai, administracinė veikla	Komunalinės atliekos	5	Kietas	20 03 01	Nepavojinga	Konteineriuose	0,2	D13
Panaudotų dujų valymas	E – filtre surinktos dulkės	123,9	Kietas	10 13 13	Nepavojinga	-	-	R5

### 3.4.3. Naudojamas vanduo ir nuotekos

Vanduo gamybos procese yra naudojamas granuliuojant produktą, priimant 2 % nuo sausos medžiagos. Taip pat vanduo ceche naudojamas administracinėms ir pagalbinėms patalpoms, pvz.: tualetams, dušams, poilsio kambariui. Be to, įvertinami ir vandens nuostoliai dėl įrenginių gedimų, jų taisymo. Duomenys apie planuojamą vandens tiekimą ir vartojimą pateikiami 48 lentelėje.

**48 lentelė.** Numatomas vandens tiekimas ir vartojimas

Vandens šaltinis	Veikla, kurioje bus vartojamas vanduo	Kiekvienoje veikloje planuojamo suvartoti vandens kiekis			Planuojami vandens nuostoliai
		m <sup>3</sup> /m	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /m
Miesto vandentiekis	Granuliavimas	2 600	9,49	0,39	2,6
	Buitiniai poreikiai	486	1,80	0,08	0,49

Gamybinių nuotekų ceche nesusidaro, tad priimama, jog pavojingų aplinkai nuotekų nėra ir nevertinamas nuotekų užterštumas. Vienintelis susidarantių nuotekų šaltinis yra administracinės ir pagalbinės patalpos: tualetai, dušai, poilsio kambariai. Šios nuotekos nėra pavojingos, joms šalinti naudojama miesto kanalizacija.

**49 lentelė.** Duomenys apie nuotekų šaltinius ir išleistuvus

Nuotekų priimtuvas	Planuojamų išleisti nuotekų ir jų šaltinio aprašymas		Išleistuvo tipas	Didžiausias numatomas išleisti nuotekų kiekis			
				m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /d	m <sup>3</sup> /m
Miesto kanalizacija	Buitinis vanduo	Vanduo iš tualetų, dušų, pagalbinių patalpų	Vamzdynas	0,00002	0,08	1,80	486

#### 3.4.4. Aplinkos oro tarša

Gaminant papildomąją cementinę medžiagą, kaip ir visoje cemento pramonėje, daugiausiai susiduriama su aplinkos oro tarša. Gamybos metu, deginant gamtines dujas sukamojoje krosnyje, išskiriamos šiltnamio efektą sukeliančios CO<sub>2</sub> dujos, taip pat anglies monoksidas, sieros dioksidas ir azoto oksidai. Panaudotose sukamosios krosnies dujose yra ir žaliavų dulkių, bet jos surenkamos dulkių valymo sistemoje ir gražinamos į gamybą. Be to, įkaitęs oro srautas taip pat gražinamas į sukamąją krosnį.

**50 lentelė.** Tarša į aplinkos orą

Procesas	Taršos šaltinis		Teršalai		Numatoma tarša			
	Pavadinimas	Kodas	Pavadinimas	Kodas	Momentinis dydis			Metinė, t/m
					vnt.	vidut.	maks.	
Degimas	Sukamoji krosnis	03 03 11	Kietosios dalelės	6493	µm/m <sup>3</sup>	5	10	0,0005
			SO <sub>2</sub>	1753	µm/m <sup>3</sup>	10	20	1,04
			CO	177	µm/m <sup>3</sup>	5	10	0,52
			NO <sub>x</sub>	250	µm/m <sup>3</sup>	15	30	1,56

Išmetamosios dujos yra valomos elektrostatiu filtru, taip surenkant kietas daleles. Nustatoma, jog numatomas valymo efektyvumas lygus 99,95 %.

**51 lentelė.** Išmetamųjų dujų įrenginiai ir kitos taršos prevencijos priemonės

Taršos šaltinio kodas	Valymo įrenginiai		Teršalai		Prieš valymą	Po valymo	Valymo efektyvumas, %
	Pavadinimas	kodas	Pavadinimas	kodas	t/m		
03 03 11	Stacionarus elektrostatinis filtras SFE-25	-	Kietosios dalelės	6493	1,02	0,0005	99,95

### 3.4.5. Aplinkosauginio įvertinimo išvados

Planuojamos veiklos aplinkosauginio vertinimo metu nustatyta, jog:

- gamybos žaliavos priskiriamos prie nepavojingų medžiagų;
- gamybos metu naudojama elektros energija ir gamtinės dujos;
- biologinė tarša, elektromagnetinė ir jonizuojanti spinduliuotė gamybos metu nesusidaro;
- kasdienio triukšmo lygio norminės vertės neviršijamos;
- gamybos metu susidaranti atliekos yra grąžinamos į gamybą;
- susidariusios atliekos atliekant eksploatacinę įrenginių priežiūrą yra sudeginamos tam skirtoje įmonėje;
- buitinės atliekos išvežamos į atliekų tvarkymo įmonę, kur apdirbamos ir perskirstomos;
- gamyboje vanduo naudojamas granuliuojant produktą bei buitinėms reikmėms, nuotekos susidaro tik iš administracinių ir pagalbinių patalpų, jos tvarkomos miesto kanalizacijos;
- didžiausią neigiamą poveikį aplinkai daro emisijos, išsiskiriančios deginant gamtines dujas sukamojoje krosnyje;
- dujos, tiekiamos iš sukamosios krosnies, yra valomos dulkių valymo sistema, taip išvalant jas nuo kietų dalelių, kurios surenkamos filtruose ir tiekiamos atgal į gamybą. Elektrostatinio filtro efektyvumas siekia 99,95 %;
- gamybos žaliavos yra pramoninės atliekos, tad galima teigti, jog vykdoma veikla yra labiau naudinga nei kenksminga aplinkai ir toks gamybos tipas gali būti priskiriamas žiedinei ekonomikai.

## **4. Darbuotojų sauga ir sveikata**

Projektuojant įmonę, svarbu įvertinti cecho darbuotojų saugą, sveikatą ir gaisrinę saugą.

### **4.1. Projektuojamo objekto charakteristika**

Projektuojamos įmonės gamybinis cechas statomas Akmenės rajone, Ventos mieste, Statybininkų g. 9. Produktas – papildomoji cementinė medžiaga – bus gaminama iš keramzito degimo dulkių 100 000 tonų per metus našumu. Gamybos žaliavos bus vežamos iš gamyklų Čekijoje, prireikus daugiau – ir iš Slovakijos.

Nors produktas ir jam gaminti reikalingos žaliavos nėra kenksmingos žmogaus sveikatai, gamybos ir transportavimo metu susidaro dulkės, triukšmas dėl įrenginių veikimo – į aplinką išmetamos taršos rūšis yra cheminė ir fizikinė.

Kaip man minėta, siekiant sumažinti kietųjų dalelių išsiskyrimą į aplinką, iš sukamosios krosnies tiekiamos dujos yra valomos įrengtais oro valymo filtrais.

Įvertinus projektuojamo cecho taršos į aplinką kiekį bei rūšį, nustatyta sanitarinė apsaugos zona yra 1000 metrų, kuri yra apželdinama [27].

Įmonėje bus diegiama darbuotojų saugos ir sveikatos programa, siekiant darnaus vystymosi bei saugios darbo aplinkos. Darbuotojai bus periodiškai instruktuojami darbų saugos klausimais, vyks darbuotojų kvalifikacijos kėlimo kursai ir mokymai. Taip pat bus atliekama nuolatinė įrengimų priežiūra, atnaujinimas, darbuotojams suteikiamos visos saugiam darbui reikalingos priemonės. Be darbo saugos, didelis dėmesys bus skiriamas ir darbuotojų sveikatingumui bei visuomeniškumui – rengiami seminarai, komandos kūrimo veiklos, švenčiami gimtadieniai bei profesinės šventės. Bus taikoma ir motyvacinė sistema už pasiektus rezultatus, darbuotojus vaišinant įvairiomis vaišėmis.

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

Profesinės rizikos vertinimo tikslas – nustatyti ir įvertinti esamą ir galimą riziką darbe, ją pašalinti arba įdiegti prevencines priemones, apsaugojančias darbuotojus nuo rizikos arba ją kiek įmanoma sumažinti. Rizika vertinama organizuojant ir pradedant veiklą, projektuojant ir įrengiant darbo vietas, keičiant technologinius procesus, įrengimus, darbo priemones ar pavojingas medžiagas, parenkant įmonės personalą, taip pat keičiant įmonės struktūrą ar vykdant restruktūrizaciją.

Taip pat, rizikos ar atskirų rizikos veiksnių įvertinimas įmonėje konkrečiuose rizikos vertinimo objektuose atnaujinamas arba atliekamas iš naujo įmonėje įvykus sunkiam ar mirtinam nelaimingam atsitikimui darbe, arba lengvam nelaimingam atsitikimui darbe, kurio tyrimo metu nustatoma, kad šį nelaimingą atsitikimą sukėlęs pavojingas įvykis gali būti sunkaus ar mirtino nelaimingo atsitikimo darbe priežastis. Rizikos veiksnių įvertinimas atliekamas nustačius ar įtariant profesinę ligą darbuotojui, priėmus naujus arba pakeitus darbuotojų saugos ir sveikatos teisės aktuose nustatytus saugos reikalavimus ar juos sugriežtinus, Lietuvos Respublikos valstybinės darbo inspekcijos prie Socialinės apsaugos ir darbo ministerijos inspektoriams ar kitų valstybinės ūkio subjektų veiklos priežiūrą atliekančių institucijų inspektoriams nustačius įmonėje darbuotojų saugos ir sveikatos teisės aktų reikalavimų pažeidimus.

Profesinės rizikos vertinimas yra nuodugnus tyrimas, nustatant, kas gali pakenkti darbuotojams darbo vietoje ir ar pakanka esančių atsargumo priemonių.

Rizikos vertinimas atliekamas keliais etapais. Visų pirma, vyksta parengiamieji darbai, kurių metu identifikuojami įmonėje vykdomi darbai, gamybos procesai bei vietos, galinčios sukelti pavojų darbuotojų saugai ir sveikatai. Taip pat, nustatomi galimi rizikos veiksniai bei pavojingos situacijos, darbuotojai, kuriems kyla pavojus, ypatingą dėmesį skiriant žmonėms, kuriems kyla didesnė rizika (nėščioms, krūtimi maitinančioms moterims, jauniems, naujai priimtiems darbuotojams ar sergantiems profesinėmis ligomis), surenkama informacija apie profilaktinius sveikatos patikrinimus, profesines ligas. Turint šią informaciją, sudaromas rizikos vertinimo darbų planas.

Antrame etape kiekybiškai ir kokybiškai įvertinami rizikos veiksniai, jų keliamas pavojus ir esamos apsaugos priemonės, nustatomas rizikos dydis, priimamas sprendimas dėl rizikos priimtumo.

Tuomet imamasi priemonių esamai rizikai pašalinti arba sumažinti, įgyvendinamos prevencinės priemonės, darbuotojai ir įmonės saugos ir sveikatos komitetas supažindinamas su vertinimo rezultatais. Galiausiai, vykdomas rizikos stebėjimas, kaip kinta saugos sąlygos ir prireikus, rizikos vertinimas atnaujinamas [28].

Papildomosios cementinės medžiagos ceche bus susiduriama su fizikiniais, fiziniais, cheminiais, ergonominiais ir psichosocialiniais rizikos veiksniais. 52 lentelėje pateikti įmonėje galintys pasireikšti rizikos veiksniai, jų vertinimas ir prevencija.

**52 lentelė.** Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas [29, 30, 31, 32, 33, 34 ]

<b>Rizikos veiksnys, keliantis pavojų profesinei saugai ir sveikatai</b>	<b>Rizikos veiksnio atsiradimo ar veikimo vieta</b>	<b>Rizikos veiksnio dydis (lygis), matavimo vienetai</b>	<b>Rizikos veiksnio ledžiamas dydis (lygis), ribinė vertė, matavimo vienetas</b>	<b>Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis</b>	<b>Prevencijos priemonių būtinumas</b>
<b>Dulkės</b>	Degimo krosnis, transportavimo įrenginiai	5 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	8 valandos	Oro valymo sistema, ventiliacija, respiratoriai
<b>SO<sub>2</sub></b>	Degimo krosnis	-	5 mg/m <sup>3</sup>	Profilaktinės apžiūros ir remonto atveju	Veido ir akių apsaugos priemonės, pirštinės, tinkama apranga.
<b>Šiluminė aplinka</b>	Gamybos cechas	Šaltuoju metų laikotarpiu – 19 °C, šiltuoju – 25 °C	Šaltuoju metų laikotarpiu – 15-21 °C, šiltuoju – 16-27 °C	8 valandos	Kondicionierius, patalpų šildymas
<b>Triukšmas</b>	Žaliavų transportavimas, ventiliatoriai	70 dBA	85 dBA	8 valandas	Garsą izoliuojančios ausinės
<b>Apšvietimas</b>	Gamybos cechas	300 lx	200 lx	8 valandos	Naudojamas dirbtinis apšvietimas
<b>Besisukančios/judamos įrenginių dalys</b>	Technologiniai įrenginiai	-	-	8 valandas	Įspėjamieji ženklai, platūs praėjimai

**52 lentelė.** Rizikos veiksnių identifikavimas ir kiekybinis įvertinimas (tęsinys)

Rizikos veiksnys, keliantis pavojų profesinei saugai ir sveikatai	Rizikos veiksnio atsiradimo ar veikimo vieta	Rizikos veiksnio dydis (lygis), matavimo vienetai	Rizikos veiksnio ledžiamas dydis (lygis), ribinė vertė, matavimo vienetas	Rizikos veiksnio poveikio trukmė, dažnis	Prevencijos priemonių būtinumas
Transportavimo įranga, kranai, liftai ir kt.	Technologiniai įrengimai	-	-	8 valandos	Įspėjamieji ženklai, sienelės
Transporto ir priėjimo keliai	Įmonės sklypas	-	-	8 valandos	Įspėjamieji ženklai, keliai prižiūrimi, valomi nuo šiukšlių, neužkraunami medžiagomis, konstrukcijomis
Karšti paviršiai	Degimo krosnis	-	Ne didesnis nei 70 W/m <sup>2</sup> , kai apspinduliuojamas žmogaus kūno paviršiaus plotas 25–50 %	8 valandos	Įrengimų šiluminė izoliacija, karščiui atsparios pirštinės
Elektros įtampa	Elektriniai įrengimai	-	2 V, 0,3 mA	8 valandos	Įnulinimas, įžeminimas
Darbo vietos priešgaisrinis parengimas	Gamybos cechas	-	-	8 valandos	Evakuaciniai išėjimai, gaisro gesinimo priemonės
Fizinis darbas	Gamybos cechas	-	Vienkartinio rankomis keliamo krovinio masė vyrams iki 25 kg, moterims iki 10 kg.	8 valandos	Pagalbiniai kėlimo įrenginiai, poilsio pertraukėlės
Darbo monotonija	Gamybos cechas	-	-	8 valandos	Darbo zonų pakeitimas, pertraukėlės

Taip pat nustatomos patalpų, pastatų, išorinių įrenginių kategorijos pagal sprogimo ir gaisro pavojų. Gaisrinio pavojingumo rodikliai pateikti 53 lentelėje.

**53 lentelė.** Medžiagų gaisrinio pavojingumo rodikliai [35]

Medžiagos pavadinimas	Sunaudojimas per pamainą, m <sup>3</sup>	Pliūpsnio temperatūra, °C	Sprogimo ribos, %		Savaiminio užsidegimo temperatūra, °C	Užsidegimo temperatūra, °C
			apatinė	viršutinė		
Gamtinės dujos	381,28	-182	5	15	660	>450

Nustatytas patalpų, pastatų ir išorinių įrenginių gaisrinis pavojingumas pateiktas 54 lentelėje.

**54 lentelė.** Pastatų, patalpų ir išorinių įrenginių kategorija pagal sprogo ir gaisro pavojų, pavojingų vietų zonos [36]

Objekto, kuriam suteikiama kategorija, klasifikuojama pavojinga vieta, pavadinimas	Požymis, nulemiantis kategoriją, pavojingos vietos zoną	Kategorija, pavojingos vietos zona
Gamybos cechas	Karštos, įkaitusios, išlydytos, nedegios medžiagos; medžiagos, kurias apdorojant išspinduliuojama šiluma, išskiriamos kibirkštys ar liepsna; degios dujos, skysčiai ir kietos medžiagos, kurios naudojamos kaip kuras arba sunaikinamos deginant	D <sub>g</sub> 2 zona
Degimo krosnis		D <sub>gi</sub> 2 zona

### 4.3. Saugi gamyba

Siekiant užtikrinti saugias darbo sąlygas, svarbu, jog darbuotojai žinotų saugaus darbo taisykles ir jų laikytųsi.

Įmonėje vykdomi privalomi darbo saugos instruktavimai: įvadinis, pravedamas visiems naujai atvykusiems darbuotojams, jis vykdomas darbuotojų saugos ir sveikatos specialisto; pirminis instruktavimas atliekamas darbo vietoje naujai priimtiems darbuotojams arba perkeliant darbuotojus iš vienos vietos į kitą; šis instruktavimas atliekamas gamybos cecho viršininko; periodinis instruktavimas darbo vietoje atliekamas kartą į metus visiems įmonės darbuotojams; papildomas instruktavimas darbo vietoje vykdomas pakeitus technologinį procesą, modernizavus darbo priemones, įrenginius, pasikeitus darbo sąlygoms, aplinkos rizikos veiksniams, patvirtinus naujus įmonės norminius dokumentus, taip pat darbuotojui pažeidus darbuotojų saugos ir sveikatos reikalavimus, dėl kurių įvyko ar galėjo įvykti nelaimingas atsitikimas, pareikalavus darbo inspektoriui, nustačius, jog darbuotojų žinių nepakanka atliekamam saugiam darbui ir darbuotojui nebuvus darbe ilgiau kaip 60 kalendorinių dienų [37].

Dėl darbo vietoje esančių rizikos veiksnių, darbuotojams yra išduodamos asmens saugos priemonės, sumažinančios traumų, nelaimingų atsitikimų ir profesinių ligų riziką: specialūs drabužiai ir batai, respiratoriai, garsą izoliuojančios ausinės, karščiui ir įpjovimams atsparios pirštinės, apsauginiai šalmai, įspėjamosios apsauginės liemenės. Darbuotojai darbo vietoje privalo tinkamai dėvėti darbdavio skirtas asmenines saugos priemones, jomis rūpintis, o susidėvėjus – informuoti ir paprašyti naujų.

Darbuotojai turi laikytis saugių darbo metodų, draudžiama palikti įrengimus ir darbo vietą be priežiūros, į juos remtis ar lipti ant jų. Draudžiama įrenginius valyti, remontuoti ir keisti jų dalis, nesustabdžius veikimo. Pastebėjus įrangos gedimą, svarbu informuoti cecho viršininką. Esant šalia judančių įrengimų ar transporto priemonių, laikytis saugaus atstumo, nestovėti po keltuonais. Draudžiama transportavimo priemonei nesustojus vykdyti krovos darbus.

Pagal elektros patalpų eksploatavimą, gamybos patalpos priskiriamos prie normalių (nepavojingų) patalpų, nes nepastebėta pavojingoms patalpoms būdingų požymių.

Visi eksploatuojami elektros įrenginiai turi atitikti Elektros įrenginių įrengimo bendrąsias taisykles, taip pat gamintojo parengtų Techninio eksploatavimo instrukcijų reikalavimus. Elektros remonto darbus gali atlikti tik specialiai apmokytas ir parengtas darbuotojas, eksploatuojantis veikiančius elektros įrenginius ir gali juose vykdyti operatyvinius perjungimus [33]. Elektros įrenginiai, kurių įtampa siekia 1000 V (juostiniai, sraigtiniai transporteriai, granulatorius), turi būti įnulinami, o

įtampai viršinant 1000 V – įžeminami. Pastebėjus, jog elektros laidai netinkamai izoliuoti ar elektros įrangos gedimus, darbuotojai privalo skubiai pranešti darbų vadovui, nesiartinti prie pavojų sukeliančios vietos ir stabdyti darbus.

#### 4.4. Darbo higiena

Siekiant palaikyti komfortišką darbo aplinką įmonėje laikomasi nustatytų higienos reikalavimų. Be to, siekiama kiek įmanoma sumažinti cheminę, fizikinę ir psichosocialinę riziką. Rizikos normos yra nustatytos vadovaujantis Lietuvos respublikos higienos normomis. Jei kolektyvinių darbo saugos priemonių nepakanka rizikai sumažinti, išduodamos asmeninės apsaugos priemonės. Prieš naudojant asmenines apsaugos priemones, svarbu įsitikinti, ar jos tinkamos naudojimui – apsaugos priemonės nuolatos tikrinamos ir bandomos [38].

Vienas iš kenksmingų veiksnių papildomosios cementinės medžiagos gamybos ceche yra triukšmas, sukiamas gamybiniame ceche veikiančių įrengimų bei transportavimo priemonių. Kasdieninės triukšmo normos viršijimas gali daryti ilgalaikį poveikį darbuotojo sveikatai. Kasdienio triukšmo norminės vertės yra šios:

- ribinė ekspozicijos vertė:  $L_{EX, 8h} = 87$  dBA;
- viršutinė ekspozicijos vertė:  $L_{EX, 8h} = 85$  dBA;
- žemutinė ekspozicijos vertė:  $L_{EX, 8h} = 80$  dBA [31].

Siekiant, kad projektuojamame gamybos ceche triukšmo lygis nekenktų darbuotojų sveikatai, darbuotojams bus išduodamos asmeninės apsaugos priemonės. Didžiausią triukšmą sukelia sukamoji degimo krosnis (70 dBA), tad darbuotojams, dirbantiems netoliese, siekiant sumažinti neigiamą triukšmo poveikį, bus išduodamos garsą izoliuojančios ausinės.

Šiluminė darbo aplinka nustatoma, įvertinus, jog gamybiniame ceche atliekamų darbų sunkumas priskiriamas prie vidutinio sunkumo fizinio IIb kategorijos darbo. Esant šiai darbų kategorijai, šaltuoju metų laiku gamybinėse patalpose oro temperatūra siekia 15-21 °C, kai oro santykinis drėgnumas, %, yra ne daugiau kaip 75 ir oro judėjimo greitis, m/s, ne didesnis kaip 0,4, o šiltuoju – 16-27 °C, kai oro santykinis drėgnumas ne didesnis nei 70 % ir oro judėjimo greitis 0,2-0,5 m/s [30]. Tam užtikrinti naudojami kolektyvinės apsaugos priemonės – vasarą naudojamas oro kondicionierius, o šaltuoju metų laiku patalpos yra šildomos.

Nustatant apšvietimo normas, svarbu įvertinti darbo regos tikslumą. Įmonėje vykdoma veikla priskiriama prie nelabai tikslų regos darbų (V kategorija). Apšvietos ribinės vertės pateikiamos 55 lentelėje [39].

55 lentelė. Apšvietos ribinės vertės

Regos darbų kategorija	Mažiausio matuojamo objekto dydis, mm	Apšvietos ribinės vertės	Natūralus apšvietimas, %	Vykdomų darbų rūšys
V (nelabai tikslūs regos darbai)	Daugiau kaip 1,0	200	3,0	Bendros gamybos, išdeginimo patalpos, automatiniai procesai

Apšvietimo sistemoje bus taikomas natūralus kombinuotas ir dirbtinis apšvietimas.



Taip pat, darbuotojai darbo vietoje turi palaikyti tvarką – draudžiama laikyti pašalinius ir asmeninius daiktus, valgyti ir rūkyti galima tik tam skirtose zonose. Draudžiama turėti ir vartoti psichotropines bei narkotines medžiagas, dirbti neblaiviam.

#### 4.5. Gaisrinė sauga

PCM gamybos cechas pagal gaisro ir sproginimo pavojų priskiriamas prie D<sub>g</sub> kategorijos, nes gamyboje naudojamos medžiagos, kurias apdorojant išspinduliuojama šiluma.

Gaisro atveju gamybos ceche yra įrengtas priešgaisrinis vandentiekis. Pastato viduje yra įrengti gaisriniai čiaupai, o išorėje – hidrantai, šalia jų tinkamai įrengti keliai gaisrų gesinimo ir gelbėjimo automobiliams privažiuoti.

Įmonėje geležinkelio pervažos turi būti laisvos, o jų dangą – išklota geležinkelio bėgių aukštyje. Vietos gaisro gesinimo automobiliams yra pažymėtos transporto priemonės statyti draudžiančiais ženklais. Numatomi išoriniai išėjimai ant stogo ugniagesiams gelbėtojams, įrengiamos stacionarios lauko kopėčios. Pastato durys atsidarys į lauką.

Teritorijoje yra pažymėtos žmonių susirinkimo vietos jiems evakuojantis iš pastatų gaisro kilimo pavojaus atveju. Pastato koridoriuose ir ant durų numatomi evakuacijos kryptį nurodantys ženklai. Evakuacijos išėjimai ir keliai privalo būti neužverti, neužrakinti, lengvai prieinami. Atsižvelgiant į neįgaliųjų, kurie savarankiškai negali evakuotis, skaičių, pastato aukšte įrengiamos saugos zonos. Kiekvienoje patalpoje gerai matomoje vietoje bus pakabintas evakuacijos planas.

Darbo vietoje darbuotojai supažindinami su bendrosiomis priešgaisrinėmis instrukcijomis, atliekamas įvadinis instruktažas [36].

Priklausomai nuo gaisro charakteristikos, parenkamos skirtingos ugnį gesinančios medžiagos.

56 lentelė. Gaisro klasė ir ugnį gesinanti medžiaga

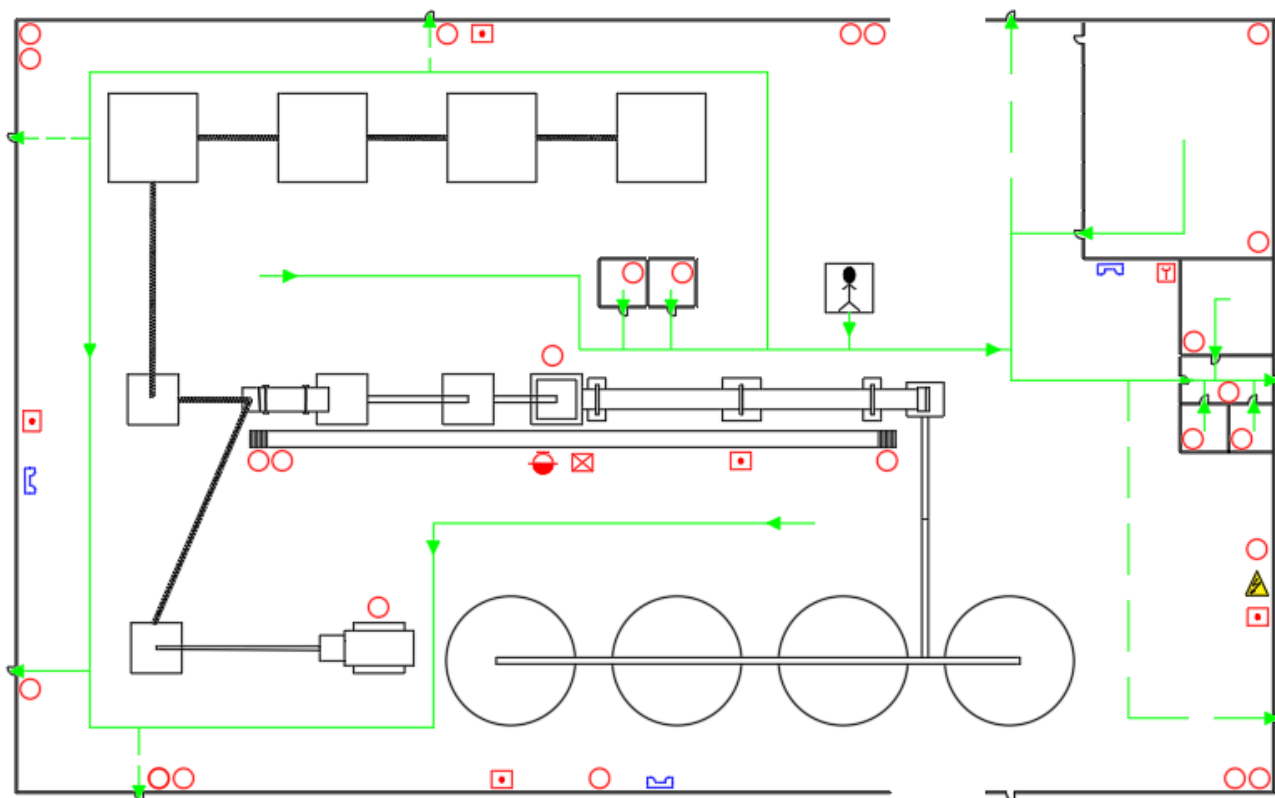
Klasė	Gaisro Charakteristika	Ugnį gesinanti medžiaga					
		Vanduo	Putos	Dujos	Milteliai		
					ABC tipo	BC tipo	D tipo
<b>A</b>	Kietųjų medžiagų gaisrai, kai degimo metu susidaro anglis	+	+	-	++	-	-
<b>B</b>	Skystųjų arba galinčių suskystėti kietųjų medžiagų gaisrai	-	++	+	++	++	-
<b>C</b>	Dujų gaisrai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

Sudurtiniai ženklai: „++“ – veiksmingiausia, „+“ – veiksminga, „-“ – ne tokia veiksminga.

Priimama, jog gamybos ceche gali kilti A ir C klasės gaisrai. Naudojantis 56 lentele, parenkami ABC tipo milteliniai gesintuvai, nes jie veiksmingiausi gesinant tiek kietų medžiagų, tiek dujų gaisrus.







Gamybos patalpoje įrengiami stendai, skirti pirminėms gaisro gesinimo priemonėms laikyti. Stendo turinį sudaro du gesintuvai, du kibirai, dėžė su smėliu, kastuvai, 2 kirviai kirvis, laužtuvas, nedegus audeklas. Nedegaus audeklo matmenys turi būti 0,9–1,8 m. Jis skirtas nedideliam plotui gesinti, kol gaisras dar neįsiplieskęs.

Pagal D<sub>g</sub> pavojaus kategoriją, 600 m<sup>2</sup> plotui reikalingas vienas 6 kg miltelinis gesintuvas [40]. Bendras gamybos cecho plotas lygus 14976 m<sup>2</sup>, tad reikalingi 25 gesintuvai. Evakuacijos planas pateiktas 19 pav.







19 pav. Evakuacijos planas

57 lentelė. Žmonių evakavimo plano sutartiniai ženklai

Ženklas	Reikšmė
	Gesintuvas
	Gaisrinis čiaupas
	Dūmų šalinimo įrenginio rankinio paleidimo jungiklis
	Elektros skydelis
	Telefonas
	Gaisro signalizacijos jungiklis

**57 lentelė.** Žmonių evakavimo plano sutartiniai ženklai (tęsinys)

Ženklas	Reikšmė
	Gaisrinio siurblio (elektrifikuotos sklendės) jungiklis
	Pagrindinis evakuacijos kelias
	Atsarginis evakuacijos kelias
	Jūs esate čia (plano vieta)

#### 4.6. Darbo saugos ir sveikatos išvados

Įvertinus projektuojamos įmonės darbuotojų saugą, sveikatą ir gaisrinę saugą, nustatyta, jog:

- sanitarinė apsaugos zona yra 1000 metrų;
- gamybos ceche bus susiduriama su fizikiniais, fiziniiais, cheminiais, ergonominiais ir psichosocialiniais rizikos veiksniais;
- įmonėje didžiausią pavojų keliantys rizikos veiksniai yra dulkės, SO<sub>2</sub> dujos, triukšmas, besisukančios įrenginių dalys, transportavimo įranga, karšti paviršiai ir fizinis darbas;
- pagal elektros patalpų eksploatavimą, gamybos patalpos priskiriamos prie normalių (nepavojingų) patalpų, nes nepastebėta pavojingoms patalpoms būdingų požymių;
- gamybos cechas pagal sprogimo ir gaisro pavojų priskiriamas D<sub>g</sub> kategorijai, 2 zonai;
- elektros įrenginiai, kurių įtampa siekia 1000 V yra įnulinami, o įtampai viršinant 1000 V – išžeminami;
- didžiausią triukšmą sukelia sukamoji degimo krosnis (70 dBA);
- įmonėje vykdoma veikla priskiriama prie nelabai tikslių regos darbų (V kategorija);
- darbuotojams yra išduodamos asmens saugos priemonės: specialūs drabužiai ir batai, respiratoriai, garsą izoliuojančios ausinės, karščiui ir įpjovimams atsparios pirštinės, apsauginiai šalmi, įspėjamosios apsauginės liemenės;
- gamybos ceche gali kilti A ir C klasės gaisrai, parenkami ABC tipo milteliniai gesintuvai;
- pagal cecho plotą ir sprogimo ir gaisro pavojaus kategoriją, nustatoma, jog yra reikalingi 25 gesintuvai.

## Išvados

1. Atlikus tiriamąjį darbą, nustatyta, jog keramzito dulkes aktyvavus 600 °C temperatūroje, pucolaninis aktyvumas bei amorfinės fazės kiekis padidėja trečdaliu, lyginant su originaliomis atliekomis. Nustatyta, jog šia papildomąja cementine medžiaga galima pakeisti iki 25 % portlandcemenčio.
2. Atlikti medžiagų balanso skaičiavimai, žinant, jog papildomosios cementinės medžiagos gamybos cecho našumas per metus lygus 100000 tonų. Įvertinus transportavimo, sandėliavimo bei degimo nuostolius, apskaičiuota, jog keramzito dulkių reikės 111493,10 tonų per metus.
3. Atlikti technologiniai skaičiavimai ir parinkti įrengimai bei technologinė linija. Gamybos metu naudojami transportavimo įrenginiai, medžiagų bunkeriai ir silosai, granulatorius, sukamoji krosnis, aušintuvas ir dujų valymo sistema.
4. Pagrindinis gamybos įrenginys – sukamoji krosnis – parinkta iš katalogų pagal 17 t/h našumą, jos parametrai: ilgis – 48 m, diametras – 3 m, variklio galingumas – 90 kW, svoris – 237 t.
5. Pateikti pagrindiniai papildomosios cementinės medžiagos gamybos cecho statinio techniniai rodikliai, detalizuota jo architektūrinė ir konstrukcinė sandara bei bendrieji statinio inžinerinių sistemų ir technologinės įrangos sprendimai. Apskaičiuota orientacinė statomo pastato kaina lygi 8 606 473 eurų.
6. Atlikti projekto ekonominiai ir finansiniai skaičiavimai. Atlikus būsimą projekto analizę, nustatyta, jog investicijų atsipirkimo laikas – 4,52 metai, vidinė gražos norma (IRR) – 14 % yra didesnė už kapitalo kaštus, kurie lygus 5,93 %, pelningumo indeksas – 1,32, lūžio taškas - 99689,8. Projekto brandos metais gaminio 1 tonos kaina lygi 61,68 eurų.
7. Aplinkosauginio vertinimo metu surinkti duomenys apie naudojamą žaliavą, energijos išteklius, įvertinama oro tarša, atliekų susidarymas, jų perdirbimas ir šalinimas. Nustatoma, jog didžiausią neigiamą poveikį aplinkai gamybos metu daro emisijos, išsiskiriančios deginant gamtines dujas sukamojoje krosnyje. Dujos valomos naudojant dulkių valymo sistemą, kietosios dalelės nusodinamos elektrostatiname filtre, kurio efektyvumas lygus 99,95 %, ir gražinamos į gamybą. Kadangi produkto žaliavos yra pramoninės atliekos, ši gamyba priskiriama žiedinei ekonomikai.
8. Atliktas darbuotojų saugos ir sveikatos vertinimas. Nustatyta, jog didžiausią pavojų sukiantys rizikos veiksniai yra dulkės, SO<sub>2</sub> dujos, triukšmas, besisukančios įrenginių dalys, transportavimo įranga, karšti paviršiai ir fizinis darbas. Didžiausią triukšmą gamybos vietoje sukelia sukamoji krosnis. Siekiant riziką sumažinti, darbuotojams yra išduodamos asmens saugos priemonės: specialūs drabužiai ir batai, respiratoriai, garsą izoliuojančios ausinės, karščiui ir įpjovimams atsparios pirštinės, apsauginiai šalmai, įspėjamosios apsauginės liemenės. Gamybos cechą pagal sprogimo ir gaisro pavojų priskiriamas Dg kategorijai ir įvertinus cecho plotą, gamybinėse patalpose yra reikalingi 25 gesintuvai.

## Literatūros sąrašas

1. Vektaris, B. Portlandcementinio skiedinio ilgaamžiškumo tyrimo paspartinimas. *Cheminė technologija* [interaktyvus]. Kaunas: Kauno technologijos universiteto Architektūros ir statybos institutas. 2012. Nr. 1 (59). ISSN 1392 – 1231. Prieiga per: <https://chemtech.ktu.lt/index.php/Chem/article/view/1525/1347>.
2. *Portlandcementis* [interaktyvus]. 2017 [žiūrėta 2024-03-10]. Prieiga per : <https://www.vle.lt/straipsnis/portlandcementis/>.
3. KAMINSKAS, Rimvydas ir kt. *Cemento chemija ir technologija* [interaktyvus]. Kaunas: Technologija, 2021 [žiūrėta 2024-03-12]. ISBN 978-609-02-1736-8. Prieiga per: <https://ebooks.ktu.edu/pdfreader/cemento-chemija-ir-technologija>.
4. JOO, S. H. Utilization of flyash in concrete with addition of banana fiber. *M – Tech* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2024-03-15]. Prieiga per: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24812.59528>.
5. AÏTCIN, P. C. Theoretical background on Portland cement and concrete. Portland cement. In: *Science and Technology of Concrete Admixtures*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2016, pp. 27-51. ISBN 978-0-08-100693-1.
6. ZHANG, H. Cement. In: *Building Materials in Civil Engineering*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2011, pp. 46-80. ISBN 978-1-84569-955-0.
7. MICHAUX, M., NELSON, E. B. ir VIDICK, B. Chemistry and Characterization of Portland Cement. *Developments in Petroleum Science*. Elsevier, 1990, vol. 28, p. 2-17. ISSN: 0376-7361.
8. SIDDIQUE, Rafat ir CACHIM, Paulo. *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete* [interaktyvus]. Cambridge: Woodhead Publishing, 2018 [žiūrėta 2024-03-17]. ISBN 978-0-08-102156-9. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/book/9780081021569/waste-and-supplementary-cementitious-materials-in-concrete>.
9. JUENGER, M. C. G., SNELLINGS, R. ir BERNAL, S. A. Supplementary cementitious materials: New sources, characterization, and performance insights. *Cement and Concrete Research*. Aarhus: Elsevier Ltd, 2019, vol. 122, p. 257-273. ISSN 0008-8846.
10. SNELLINGS, R., MERTENS, G. ir ELSEN, J. Supplementary cementitious materials. *Reviews in mineralogy and geochemistry* [interaktyvus]. 2012, 74(1), 211-278 [žiūrėta 2024-03-19]. Prieiga per: <https://doi.org/10.2138/rmg.2012.74.6>.
11. SKIBSTED, J ir SNELLINGS, R. Reactivity of supplementary cementitious materials (SCMs) in cement blends. *Cement and Concrete Research*. Aarhus: Elsevier Ltd, 2019, vol. 124. ISSN: 0008-8846.
12. *Solid Expanded Clay Aggregate, For Agriculture, Size: 4mm* [interaktyvus]. 2018 [žiūrėta 2024-03-19]. Prieiga per: <https://www.indiamart.com/proddetail/expanded-clay-aggregate-25550892288.html>.
13. *Expanded clay aggregate* [interaktyvus]. 2013 [žiūrėta 2024-03-22]. Prieiga per: [https://geology.fandom.com/wiki/Expanded\\_clay\\_aggregate](https://geology.fandom.com/wiki/Expanded_clay_aggregate).
14. *What is expanded clay (growing medium)* [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2024-03-22]. Prieiga per: <https://gathera.com/blogs/learn/what-is-expanded-clay-growing-medium>.
15. RASHAD, A. M. Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An overview. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Aarhus: Elsevier Ltd, 2018, vol. 170, 757-775 [žiūrėta 2024-03-22]. ISSN: 0950-0618. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.009>.

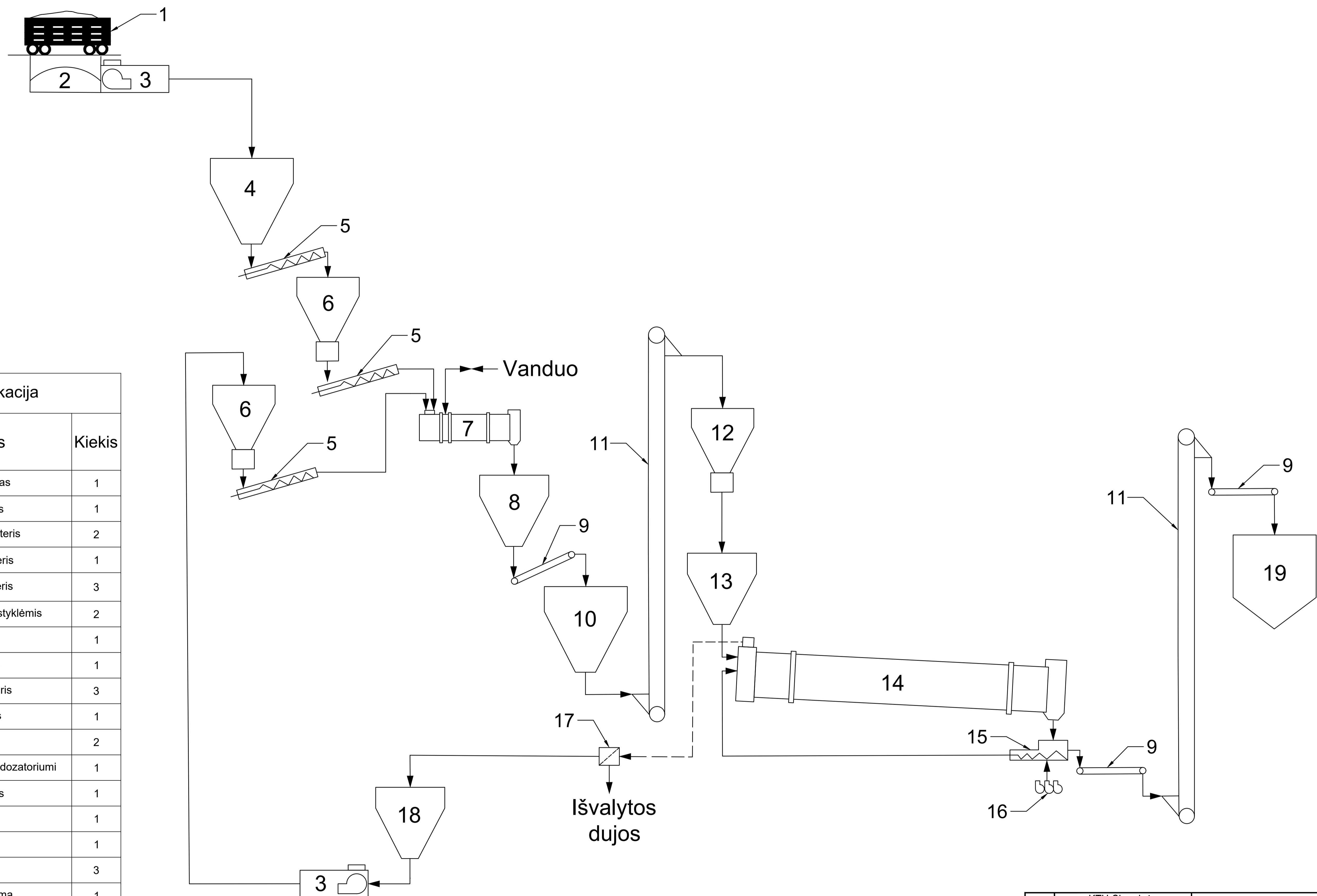
16. ROCES, E. ir kt. Lightweight expanded clay aggregate properties based on laboratory testing. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Madrid: Elsevier Ltd, 2021, vol. 313 [žiūrėta 2024-03-25]. ISSN: 0950-0618. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125486>.
17. RAMALINGAM, V. Structural concrete using expanded clay aggregate: a review. *Indian Journal of Science and Technology* [interaktyvus]. Karnataka: Informatics, 2018, 11(16), 1-12 [žiūrėta 2024-03-25]. ISSN: 0974-5645. Prieiga per: <https://doi.org/10.17485/ijst/2018/v11i16/121888>.
18. KAMINSKAS, R. ir SAVICKAITĖ, B. Expanded Clay Production Waste as Supplementary Cementitious Material. *Sustainability* [interaktyvus]. Basel: MDPI, 2023, 15(5), 11850 [žiūrėta 2024-03-25]. Prieiga per: <https://doi.org/10.3390/su151511850>.
19. SVERGUZOVA, S. V. ir kt. The use of expanded clay dust in paint manufacturing. *Earth and Environmental Science* [interaktyvus]. Bristol: IOP Publishing Ltd, 2018, 107 [žiūrėta 2024-03-25]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/107/1/012078>.
20. FERNANDEZ, R., MARTINERA, F. ir SCRIVENER, K. L. The origin of the pozzolanic activity of calcined clay minerals: A comparison between kaolinite, illite and montmorillonite. *Cement and Concrete Research*. Aarhus: Elsevier Ltd, 2011, 41(1), 113-122 [žiūrėta 2024-03-27]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.013>.
21. TIRONI, A. ir kt. Kaolinitic calcined clays: Factors affecting its performance as pozzolans. *Construction and Building Materials* [interaktyvus]. Madrid: Elsevier Ltd, 2012, 28(1), 276-281 [žiūrėta 2024-03-27]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.08.064>.
22. Balandis, Alfredas. Bakalauro baigiamasis darbas. Metodiniai nurodymai Cheminės technologijos fakulteto Silikatų technologijos specializacijos studentams. Kaunas: Technologija, 2010. ISBN 9789955255871.
23. *Rotary Drum Granulator* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2024-03-30]. Prieiga per: [https://www.fertilizerproduction-solution.com/rotary-drum-granulator-2/?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwoPOwBhAeEiwAJuXRh5DGRZNYlQdLdVeSfQ4V4oA54JUNNj3BVmkfqtakj1rGN0vN7OsKdBoCnZUQAvD\\_BwE](https://www.fertilizerproduction-solution.com/rotary-drum-granulator-2/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwoPOwBhAeEiwAJuXRh5DGRZNYlQdLdVeSfQ4V4oA54JUNNj3BVmkfqtakj1rGN0vN7OsKdBoCnZUQAvD_BwE).
24. *Rotary Kiln* [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-03-30]. Prieiga per: <https://www.daiwomac.com/Rotary-Kiln.html>.
25. *Clinker Cooler* [interaktyvus]. [žiūrėta 2024-03-30]. Prieiga per: <https://www.cement-plants.com/clinker-production/clinker-cooler/>.
26. *Rizikos ir saugos frazės* [interaktyvus]. 2016 [žiūrėta 2024-04-20]. Prieiga per: [https://ec.europa.eu/taxation\\_customs/dds2/SAMANCTA/LT/Safety/RS\\_LT.htm](https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/LT/Safety/RS_LT.htm).
27. Lietuvos Respublikos specialiujų žemės naudojimo sąlygų įstatymas. 2019 m. birželio 6 d. Nr. XIII2166, Vilnius TAR, 2019-06-19, Nr. 9862.
28. Profesinės rizikos bendrieji vertinimo nuostatai. Valstybės žinios, 2012, Nr. 126-6350.
29. HN 23:2011. Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Matavimo ir poveikio vertinimo bendrieji reikalavimai. Valstybės žinios, 2011, Nr. 112-5274.
30. HN 69:2003. Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametru norminės vertės ir matavimo reikalavimai. Valstybės žinios, 2004, Nr. 45-1485.
31. Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai. Valstybės žinios, 2005, Nr. 53-1804.
32. Saugos ir sveikatos apsaugos ženklų naudojimo darbovietėse nuostatai. Valstybės žinios, 1999, Nr. 104-3014.

33. Saugos eksploatuojant elektros įrenginius taisyklės. Valstybės žinios, 2010, Nr. 39-1878 (Aktuali redakcija: Valstybės žinios, 2012, Nr.: 124 -6254).
34. Ergonominių profesinės rizikos veiksnių tyrimo metodiniai nurodymai Valstybės žinios, 2005-08-06, Nr. 953536 (Aktuali redakcija: Nr. A1-626/V-1933 , 2021-08-25, paskelbta TAR 2021-08-25, i. k. 2021-17898).
35. E. Zalieckienė. Degimo procesai. Vilnius: Technika, 2009, 315 p.
36. Gaisrinės saugos pagrindiniai reikalavimai. Valstybės žinios, 2010, Nr. 146 -7510 (Aktuali redakcija: Valstybės žinios, 2011-06-21, Žin., 2011, Nr.: 75-3661; 2011-02-24, Žin., 2011, Nr. 23-1137).
37. Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas. Darbuotojų saugos ir sveikatos instrukcijų rengimo ir darbuotojų, darbdavių susitarimu pasiūstų laikinam darbui į įmonę iš kitos įmonės, instruktavimo tvarkos aprašas. 2012 m. rugpjūčio 10 d. Nr. V-240, Vilnius.
38. Darbuotojų aprūpinimo asmeninėmis apsauginėmis priemonėmis nuostatai. Valstybės žinios, 2007, Nr. 123 5055.
39. HN 98:2014. Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. Apšvietos ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai. TAR, 2014, Nr. 5119.
40. Bendrosios gaisrinės saugos taisyklės. Valstybės žinios, 2010, Nr. 99 -5167 (Aktuali redakcija: Valstybės žinios Nr. 118-5970).

# Priedai



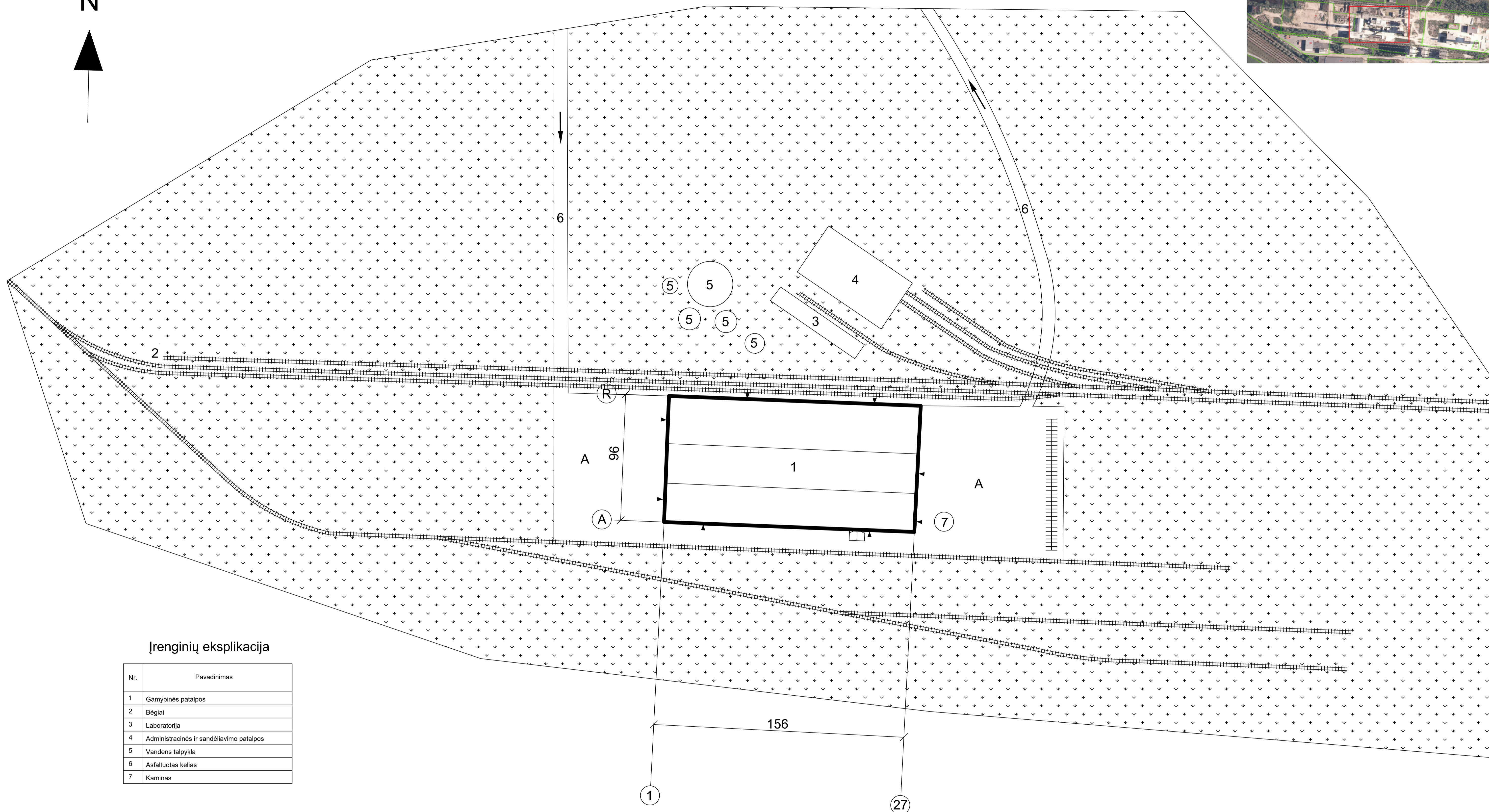
**1 priedas. Papildomosios  
cementinės medžiagos iš  
keramzito degimo dulkių  
gamybos cecho principinė  
technologinė schema**



Įrenginių specifikacija		
Nr.	Pavadinimas	Kiekis
1	Geležinkelio vagonas	1
2	Priėmimo bunkeris	1
3	Pneumatinis transporteris	2
4	Sandėliavimo bunkeris	1
5	Sraigtinis transporteris	3
6	Tarpinis bunkeris su svarstyklėmis	2
7	Granuliatorius	1
8	Tarpinis bunkeris	1
9	Juostinis transporteris	3
10	Granulių bunkeris	1
11	Elevatorius	2
12	Tarpinis tiekimo bunkeris su dozatoriumi	1
13	Maitinimo bunkeris	1
14	Sukamoji krosnis	1
15	Aušintuvas	1
16	Ventiliatorius	3
17	Dulkių valymo sistema	1
18	Dulkių bunkeris	1
19	Produkto silosas	1

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis darbas	
TMC-2	Studentas	B. Seivickaitė		
	Vadovas	Prof. dr. R. Kaminskis		
	Recenzentas	Doc. dr. A. Eišinas		
	Konsultantas	Leikt. O. Vilioniene		
	Silikatų technologijos katedra		Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas	
	Radvilėnų pl. 19, Kaunas		Principinė technologinė gamybos schema	
			2024-MBD-CTF	
			Lapas	Lapų
			1	1

**2 priedas. Papildomosios  
cementinės medžiagos iš  
keramzito degimo dulkių  
gamybos cecho sklypo planas**



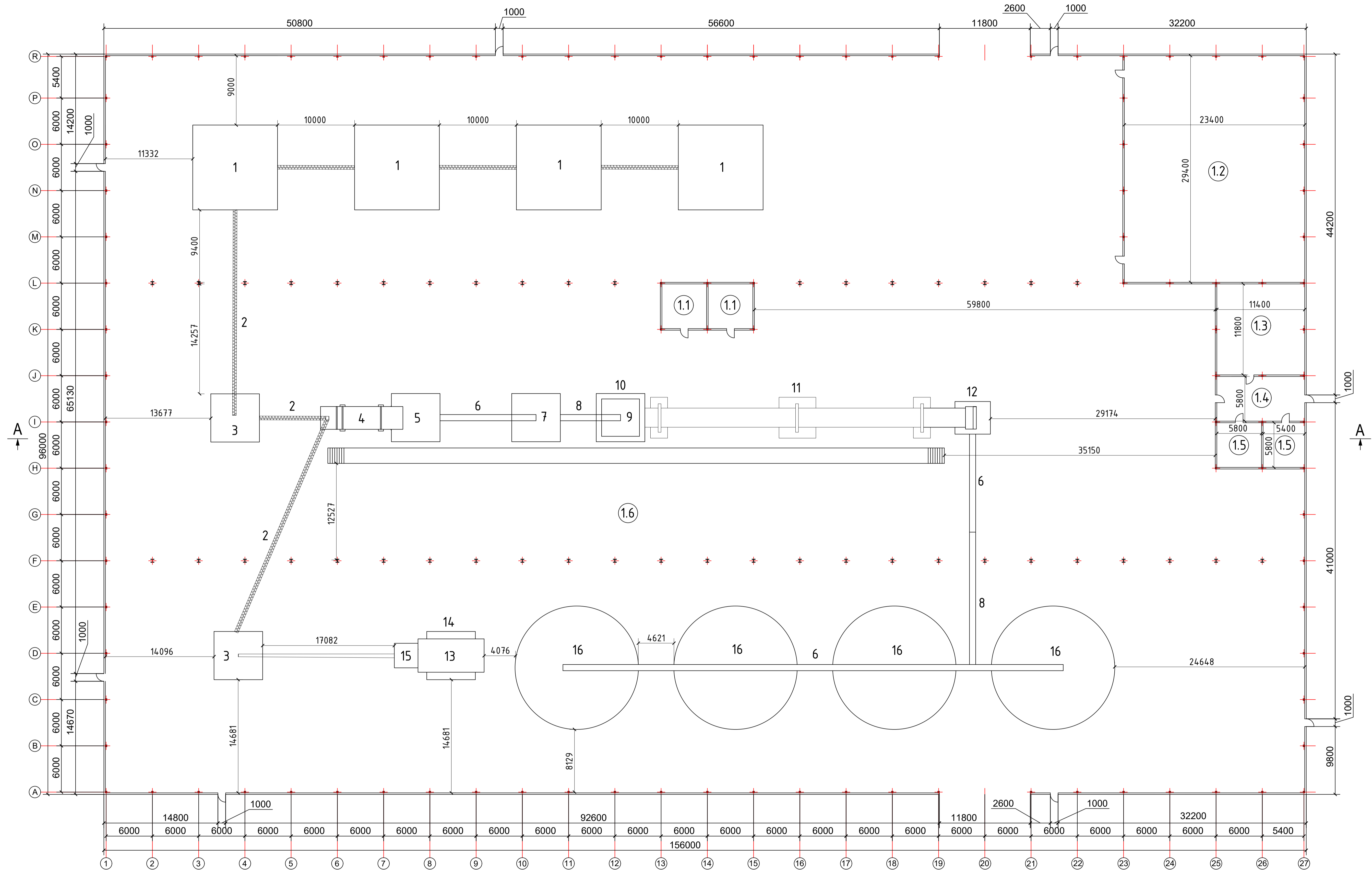
Įrenginių eksplikacija

Nr.	Pavadinimas
1	Gamybinės patalpos
2	Bėgiai
3	Laboratorija
4	Administracinės ir sandėliavimo patalpos
5	Vandens talpykla
6	Asfaltuotas kelias
7	Kaminas

-  Asfaltuota danga
-  Pieva
-  Bėgiai
-  Stovėjimo aikštelė

Grupė	KTU Cheminės technologijos universitetas			Magistro baigiamasis projektas
TMC-2	Studentas	B. Savickaitė		Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas
	Vadovas	Prof. dr. R. Kaminskas		
	Recozentas	Doc. dr. A. Eišinas		
	Konsultantas	Lekt. O. Vilūnienė		Sklypo planas
	Silikatų technologijos katedra LT-50254 Radvilėnų pl. 19, Kaunas			2024-MBD-CTF
	Lapas	Lapų		
	1	1		

**3 priedas. Papildomosios  
cementinės medžiagos iš  
keramzito degimo dulkių  
gamybos cecho pagrindinių  
įrenginių išdėstymas**



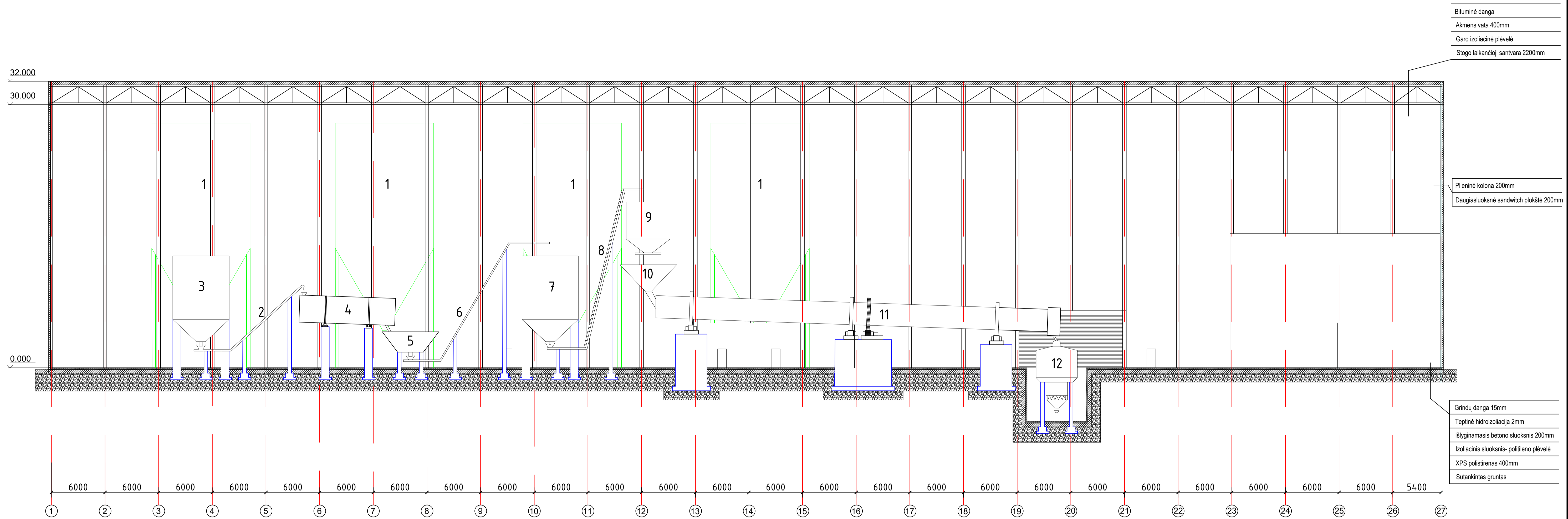
Įrenginių eksplikacija			
Nr.	Pavadinimas	Nr.	Pavadinimas
1	Žaliavų bunkeris	9	Tarpinis tiekimo bunkeris su dozatoriumi
2	Sraigtinis transporteris	10	Maitinimo bunkeris
3	Tarpinis bunkeris su svarstyklėmis	11	Sukamoji krosnis
4	Granuliatorius	12	Aušintuvas
5	Tarpinis bunkeris	13	Elektrostatinis filtras
6	Juostinis transporteris	14	Dulkių bunkeris
7	Granulių bunkeris	15	Pneumatinis transporteris
8	Elevatorius	16	Produkto silosas

Patalpų eksplikacija		
Nr.	Pavadinimas	Plotas, m <sup>2</sup>
1.1	WC	36
1.2	Sandėliavimo zona	720
1.3	Virtuvė - poilsio kambarys	144
1.4	Koridorius	72
1.5	Rūbinė	36
1.6	Gamybos zona	13 968

Grupė	KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis darbas
TMC-2	Studentas	B. Savickaitė	Papildomosios cementinės medžiagos gamybos cechas iš keramzito gamybos atliekų
	Vadovas	Prof. dr. R. Kaminskas	
	Recenzentas	Doc. dr. A. Eišinas	
	Konsultantas	Lekt. O. Vilioniene	Pagrindinių įrenginių išdėstymas 1:250
	Silikatų technologijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas		2024-MBD-CTF
	Lapas	Lapų	
	1	1	

**4 priedas. Papildomosios  
cementinės medžiagos iš  
keramzito degimo dulkių  
gamybos cecho pagrindinių  
įrenginių pjūvis**

# A-A



Įrenginių eksplikacija	
Nr.	Pavadinimas
1	Žaliavų bunkeris
2	Sraigtinis transporteris
3	Tarpinis bunkeris su svarstyklėmis
4	Granuliatorius
5	Tarpinis bunkeris
6	Juostinis transporteris
7	Granulių bunkeris
8	Elevatorius
9	Tarpinis tiekimo bunkeris su dozatoriumi
10	Maitinimo bunkeris
11	Sukamoji krosnis
12	Aušintuvas

Grupė		KTU Cheminės technologijos fakultetas		Magistro baigiamasis darbas	
TMC-2	Studentas	B. Savickaitė		Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas	
	Vadovas	Prof. dr. R. Kaminskis		Pagrindinių įrenginių pjūvis 1:250	
	Recenzentas	Doc. dr. A. Eišinas		2024-MBD-CTF	
	Konsultantas	Lekt. O. Vilioniė		Lapas	Lapų
				1	1
Silikatų technologijos katedra Radvilėnų pl. 19, Kaunas					



## 5 priedas. Konsultantų patvirtinimai

### Aplinkosauginis vertinimas



Gintaras Denafas  
To: Brigita Savickaitė

😊 ↩ Reply ↩ Reply all → Forward 📎 ⋮  
Wed 5/15/2024 9:51 PM

Studentės Brigitos Savickaitės baigiamojo magistro projekto "**Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas**" aplinkosauginė dalis yra pilnos apimties ir parengta pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas prof. dr. Gintaras Denafas

### Darbuotojų sauga ir sveikata

Studentės *Brigitos Savickaitės* baigiamojo magistro projekto „*Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas*“ skyrius „*Darbuotojų sauga ir sveikata*“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Konsultantas *doc. dr. Dalia Nizevičienė*



Dalia Nizevičienė  
To: Brigita Savickaitė  
Thu 5/16/2024 9:41 AM

📎 Brigita\_Savickaitė-patvirtinim...  
379 KB

Labą dieną, Brigita,

Dar reikėtų įtraukti į literatūros sąrašą Bendrąsias gaisrinės saugos taisykles. Šiuo teisės aktu remiantis, Jūs parinkote gesintuvus.

Siunčiu patvirtinimą ir linkiu kuo didžiausios sėkmės ginančią darbą.

Gražios dienos

Pagarbiai,

doc. dr. Dalia Nizevičienė

### Finansiniai ir ekonominiai skaičiavimai



Irena Pekarskienė  
To: Brigita Savickaitė

😊 ↩ ↩ → 📎 ⋮  
Mon 5/20/2024 1:14 PM

Labą dieną,  
šiuo laišku patvirtinu, kad studentės **Brigitos Savickaitės** baigiamojo magistro projekto "**Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas**" 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**

### Statybiniai sprendimai



Odeta Viliūnienė  
To: Brigita Savickaitė

😊 ↩ ↩ → 📎 ⋮  
Fri 5/24/2024 1:55 PM

Studentės *Brigitos Savickaitės* baigiamojo magistro projekto „*Papildomosios cementinės medžiagos iš keramzito degimo dulkių gamybos cechas*“ skyrius „*Statybiniai sprendimai*“ yra pilnos apimties ir parengtas pagal nustatytus reikalavimus.

Statybinės dalies konsultantė **lekt. Odeta Viliūnienė**