



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

# **Granuliuotų organinės kilmės trąšų gavimas naudojant biomasės atliekas**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Arminas Strolia**

Projekto autorius

**Doc. dr. Kristina Jančaitienė**

Vadovas

---

**Kaunas, 2026**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

# **Granuliuotų organinės kilmės trąšų gavimas naudojant biomasės atliekas**

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

---

**Arminas Strolia**

Projekto autorius

**Doc. dr. Kristina Jančaitienė**

Vadovas

**Asist. dr. Skirma Žalenkienė**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2026**



**Kauno technologijos universitetas**

Cheminės technologijos fakultetas

Arminas Strolia

## **Granuliuotų organinės kilmės trašų gavimas naudojant biomasės atliekas**

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.

Arminas Strolia

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



## Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:  
Cheminės technologijos fakulteto dekanė  
Prof. dr. Vaida Kitrytė-Syrpa

Suderinta:  
Fizikinės ir neorganinės chemijos katedros  
vedėja doc. dr. Kristina Kantminienė

Dekano potvarkis Nr. V25-02-13 2026 gegužės 14 d. 2026 m. vasario mėn. 06 d.

### Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema Granuliuotų organinės kilmės trąšų gavimas naudojant biomasės atliekas

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – parinkti tinkamus komponentus granuliuotų NPK trąšų iš biomasės žaliavų gavimui ir nustatyti gautų sudėtinių trąšų fizikines-chemines savybes.

Uždaviniai:

1. atlikti augalų maisto medžiagų, organinės kilmės žaliavų bei granuliuotų sudėtinių trąšų gamybos technologijų literatūros apžvalgą;
2. parinkti ir įvertinti skirtingų organinių žaliavų ir priedų įtaką granuliuotų organinės kilmės trąšų gavimui bei nustatyti tinkamiausius proceso parametrus;
3. sukurti principinę technologinę schemą granuliuotoms organinės kilmės trąšoms gaminti;
4. apžvelgti su sudėtinių kompleksinių trąšų gamyba susijusius pavojus darbuotojų saugai ir sveikatai.

Reikalavimai ir sąlygos

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

Vadovas

Doc. dr. Kristina Jančaitienė

2026-02-05

---

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau: Arminas Strolia  
(studento vardas, pavardė)

2026-02-05  
(parašas, data)

Strolia Arminas. Granuliuotų organinės kilmės trąšų gavimas naudojant biomasės atliekas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas doc. dr. Kristina Jančaitienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: granuliavimas, pelenai, trąšos, granulės, gamybos technologinė linija.

Kaunas, 2026. 64 p.

### **Santrauka**

Magistro baigiamojo darbo tema – organinės kilmės granuliuotų trąšų gavimas naudojant grikių lukštų pelenus, kavos pupų lukštus ir bananų žieves. Darbe aptariamas augantis alternatyvių ir tvarių trąšų žaliavų poreikis bei biomasės atliekų panaudojimo galimybės trąšų gamyboje. Didelis dėmesys skirtas grikių lukštų pelenų, kaip fosforo ir kalio šaltinio, panaudojimui bei skirtingų organinių žaliavų ir priedų įtakai granuliavimo procesui. Tyrimo metu nustatyta naudotų žaliavų cheminė sudėtis, įvertintos jų fizikinės savybės ir atlikti granuliavimo bandymai naudojant skirtingas žaliavų kompozicijas, drėgmės kiekius bei rišamąsias medžiagas. Granulių kokybė vertinta pagal granulimetrinę sudėtį ir mechaninį stiprį. Taip pat atlikta granulių mikrostruktūros bei elementinės sudėties analizė naudojant skenuojančios elektroninės mikroskopijos ir energijos dispersijos rentgeno spektroskopijos metodus. Tyrimų rezultatai parodė, kad organinių priedų naudojimas pagerina granulių formavimąsi ir didina 2-5 mm frakcijos išeią, tačiau gautų granulių mechaninis stipris išliko nepakankamas praktiniam pritaikymui. Nustatyta, kad granuliavimo procesui didelę įtaką turi mišinio drėgmės kiekis bei naudojamų organinių medžiagų santykis. Gipsas ir melasa turėjo teigiamos įtakos granulių formavimuisi, tačiau ne visais atvejais leido pasiekti pakankamą granulių mechaninį stiprį. Remiantis atliktais tyrimais pateikta principinė granuliuotų organinės kilmės trąšų gamybos technologinė schema bei aptarti darbuotojų saugos ir sveikatos reikalavimai.

Strolia Arminas. Production Of Granular Organic Fertilizers Using Biomass Waste Materials. Master's Final Degree Project / supervisor doc. dr. Jančaitienė Kristina; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: granulation, ash, fertilizers, pellets, technological production line.

Kaunas, 2026. 64 pages.

### **Summary**

The topic of this master's thesis is the production of organic granular fertilizers using buckwheat hull ash, coffee bean husks, and banana peels. The thesis discusses the growing demand for alternative and sustainable fertilizer raw materials and the potential for utilizing biomass waste in fertilizer production. Significant attention is given to the use of buckwheat hull ash as a source of phosphorus and potassium, as well as the influence of various organic raw materials and additives on the granulation process. The study determined the chemical composition of the raw materials used, evaluated their physical properties, and conducted pelletization tests using different raw material compositions, moisture contents, and binders. Pellet quality was assessed based on particle size distribution and mechanical strength. An analysis of the granules microstructure and elemental composition was also performed using scanning electron microscopy and energy-dispersive X-ray spectroscopy. The results of the study showed that the use of organic additives improves pellet formation and increases the yield of the 2-5 mm fraction. However, the mechanical strength of the resulting pellets remained insufficient for practical application. It was found that the moisture content of the mixture and the ratio of organic materials used have a significant impact on the pelletization process. Gypsum and molasses improved the pellet formation process but did not ensure sufficient mechanical strength of the pellets. Based on the research conducted, a conceptual flowchart for the production of granulated organic fertilizers is presented, and occupational safety and health requirements are discussed.

## Turinys

<b>Turinys.....</b>	<b>8</b>
<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>11</b>
<b>Santrumpų ir terminų sąrašas .....</b>	<b>12</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>13</b>
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>14</b>
1.1. NPK.....	14
1.1.1. Azotas.....	14
1.1.2. Fosforas .....	14
1.1.3. Kalis.....	15
1.2. Biomasės pelenai .....	15
1.3. Grikių lukštai ir jų pelenų panaudojimas.....	15
1.4. Kavos pupų lukštai ir jų panaudojimas .....	16
1.5. Bananų žievės ir jų panaudojimas .....	17
1.6. Granuliuotos trąšos.....	18
1.7. Granuliavimo procesas .....	19
1.8. Būgninis granulatorius .....	21
1.9. Ekologinės ir ekonominės granuliavimo naudos.....	22
1.9.1. Ekologinis poveikis .....	22
1.9.2. Ekonominiai privalumai .....	22
1.10. Granuliavimo poveikis trąšų taikymo efektyvumui ir derliui .....	22
<b>2. Tiriamoji dalis.....</b>	<b>24</b>
2.1. Medžiagos ir metodai .....	24
2.1.1. Pradinės medžiagos .....	24
2.1.2. Žaliavų paruošimas.....	24
2.1.3. Tyrimo metodika .....	24
2.1.4. Cheminės analizės metodai .....	25
2.1.5. Fizikinių-cheminių savybių nustatymo metodai .....	25
2.1.6. Instrumentinės analizės metodai.....	26
2.1.7. Skenuojančioji elektroninė mikroskopija ir energijos dispersijos rentgeno spektroskopija .	26
2.1.8. Trąšų granuliavimas .....	26
2.2. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas .....	27
2.2.1. Cheminė analizė .....	27
2.2.2. Organinės kilmės žaliavų panaudojimo aktualumas trąšų gamyboje.....	29
2.2.3. Granuliavimo proceso ir granuliuoto produkto privalumai.....	29
2.2.4. Skirtingų žaliavų sudėčių parinkimas.....	29
2.2.5. Grikių lukštų pelenų granuliavimo rezultatai .....	30
2.2.6. Grikių lukštų pelenų ir bananų žievių mišinio granuliavimo rezultatai .....	31
2.2.7. Grikių lukštų pelenų ir kavos pupų lukštų mišinio granuliavimo rezultatai .....	33
2.2.8. Grikių lukštų pelenų, kavos pupų lukštų bei bananų žievių mišinio granuliavimo rezultatai	35
2.2.9. Granuliavimo rezultatai naudojant melasą kaip rišiklį.....	37
2.2.10. Granuliavimo rezultatai naudojant gipsą kaip rišiklį.....	40
2.2.11. Granuliavimo proceso metu pagamintų trąšų mechaninis stipris.....	42
2.2.12. Granuliavimo rezultatų aptarimas .....	42

2.2.13. Griekių lukštų pelenų žaliavos mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė.....	43
2.2.14. 20 bandinio mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė.....	45
2.2.15. 13 bandinio mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė.....	46
2.2.16. 31 bandinio mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė.....	47
2.2.17. 34 bandinio mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė.....	49
2.2.18. 22 bandinio mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė.....	50
2.2.19. Bendras skenuojančios elektroninės mikroskopijos ir energijos dispersijos rentgeno spektroskopijos metodais analizuotų bandinių palyginimas .....	52
<b>3. Inžinerinė dalis.....</b>	<b>54</b>
<b>4. Darbuotojų sauga ir sveikata .....</b>	<b>56</b>
4.1. Kolektyvinės apsaugos priemonės ir darbo sąlygos.....	56
4.2. Darbuotojų sauga ir asmeninės apsaugos priemonės .....	57
4.3. Trašų sandėliavimas ir laikymo sąlygos.....	57
4.4. Įrenginių eksploatavimas .....	58
4.5. Naudotų žaliavų keliami pavojai ir atsargumo priemonės .....	58
4.6. Cheminių medžiagų keliami pavojai laboratorinių tyrimų metu.....	58
<b>Išvados .....</b>	<b>60</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>61</b>

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Grikių lukštų pelenų cheminė sudėtis .....	27
<b>2 lentelė.</b> Mineralizuotų grikių lukštų pelenų cheminė sudėtis.....	27
<b>3 lentelė.</b> Kavos pupų lukštų cheminė sudėtis .....	28
<b>4 lentelė.</b> Bananų žievių cheminė sudėtis .....	28
<b>5 lentelė.</b> GLP granuliavimo rezultatai .....	30
<b>6 lentelė.</b> GLP ir BŽ granuliavimo rezultatai.....	32
<b>7 lentelė.</b> GLP ir KVP granuliavimo rezultatai.....	33
<b>8 lentelė.</b> GLP, KVP ir BŽ granuliavimo rezultatai.....	35
<b>9 lentelė.</b> GLP, KVP bei BŽ granuliavimo rezultatai naudojant melasą .....	37
<b>10 lentelė.</b> GLP, KVP ir BŽ granuliavimo rezultatai naudojant gipsą .....	40
<b>11 lentelė.</b> Laboratoriniams tyrimams naudojamų medžiagų keliamas pavojus ir jo ženklėjimas.....	59

## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> NPK trūkumas augaluose [2] .....	14
<b>2 pav.</b> Kavos pupos uogos sandara [12] .....	17
<b>3 pav.</b> Trašų pasiskirstymo dirvožemyje palyginimas [16] .....	18
<b>4 pav.</b> Granulių susidarymo mechanizmas [17].....	19
<b>5 pav.</b> Granuliuojamo trašų mišinio drėgmės kiekio priklausomybė nuo temperatūros [19] .....	20
<b>6 pav.</b> Būgninis granulatorius [20] .....	21
<b>7 pav.</b> Būgninio granulatoriaus schema [31]: 1 – granulatoriaus būgnas; 2 – žaliavų tiekimas; 3 – produkto nubyrėjimas; 4 – kreipiančiosios mentelės; 5 – elektros variklis; 6 – krumpliaratis; 7 – atraminis ritinys; 8 – karšto oro tiekimas; 9 – termoporos; 10 – valdymo pultas; 11 – būgno pasvirimo kampo fiksatorius.....	26
<b>8 pav.</b> Iš GLP gamintų granulių prekinės frakcijos išėigos priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio...30	30
<b>9 pav.</b> Iš GLP gamintų granulių stiprio priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio .....	31
<b>10 pav.</b> Iš GLP ir BŽ gamintų granulių prekinės frakcijos išėigos priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio.....	32
<b>11 pav.</b> 13 bandinio granulės .....	33
<b>12 pav.</b> Iš GLP ir KVP gamintų granulių prekinės frakcijos išėigos priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio.....	34
<b>13 pav.</b> 20 bandinio granulės .....	35
<b>14 pav.</b> Iš GLP, KVP bei BŽ gamintų granulių prekinės frakcijos išėigos priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio.....	36
<b>15 pav.</b> 22 bandinio granulės .....	36
<b>16 pav.</b> Granulių prekinės frakcijos išėigos priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio, su įvairiomis žaliavų mišinių kombinacijomis bei skirtingais melasa : vanduo tirpalų santykiais .....	38
<b>17 pav.</b> 31 bandinio granulės .....	39
<b>18 pav.</b> Vandens:melasos tirpalo koncentracijos įtaka produkto išbyrėjimui.....	39
<b>19 pav.</b> Iš GLP, KVP, BŽ ir gipso gamintų granulių prekinės frakcijos išėigos priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio.....	41
<b>20 pav.</b> 34 bandinio granulės .....	41
<b>21 pav.</b> Grikių lukštų pelenų žaliavos mikroskopinis vaizdas .....	44
<b>22 pav.</b> Grikių lukštų pelenų žaliavos elementinės sudėties spektras.....	44
<b>23 pav.</b> 20 bandinio mikroskopinis vaizdas.....	45
<b>24 pav.</b> 20 bandinio elementinės sudėties spektras.....	45
<b>25 pav.</b> 13 bandinio mikroskopinis vaizdas.....	46
<b>26 pav.</b> 13 bandinio elementinės sudėties spektras.....	47
<b>27 pav.</b> 31 bandinio mikroskopinis vaizdas.....	48
<b>28 pav.</b> 31 bandinio elementinės sudėties spektras.....	48
<b>29 pav.</b> 34 bandinio mikroskopinis vaizdas.....	49
<b>30 pav.</b> 34 bandinio elementinės sudėties spektras.....	50
<b>31 pav.</b> 22 bandinio mikroskopinis vaizdas.....	51
<b>32 pav.</b> 22 bandinio elementinės sudėties spektras.....	51
<b>33 pav.</b> Principinė granuliavimo proceso technologinė schema: 1 – kaušinis elevatorius; 2 – sraigtinis transporteris; 3 – žaliavų bunkeris; 4 – svarstyklės/juostinis transporteris; 5 – malūnas; 6 – maišyklė; 7 – maišytuvas; 8 – būgninis granulatorius; 9 – džiovykla; 10 – karšto oro generatorius; 11 – viengubas sietas; 12 – aušintuvas; 13 – dvigubas sietas; 14 – plaktukinis trupintuvas; 15 – apvėlimo būgnas; 16 – nuo sušokimo apsaugančio agento talpykla; 17 – siurblys; 18 – juostinis transporteris; 19 – rankovinis filtras....	55
<b>34 pav.</b> AAP ženkliniai [35] .....	57

## Santrumpų ir terminų sąrašas

AAP – asmeninės apsaugos priemonės;

BŽ – bananų žievės;

Doc. – docentas;

Dr. – daktaras;

EDS – energijos dispersijos rentgeno spektrometrija;

GLP – grikių lukštų pelenai;

KVP – kavos pupų lukštai;

NPK – azotas, fosforas, kalis;

SDL – saugos duomenų lapai;

SEM – skenuojančioji elektroninė mikroskopija.

## Įvadas

Augalų augimui ir vystymuisi būtinos įvairios maisto medžiagos, kurios paprastai skirstomos į tris grupes: makroelementus (azotą – N, fosforą – P, kalį – K), antrines maisto medžiagas (kalci – Ca, natri – Na, magnį – Mg, sierą – S) bei mikroelementus (borą – B, varį – Cu, geležį – Fe, manganą – Mn, molibdeną – Mo, cinką – Zn). Pagrindinių ir antrinių maisto medžiagų augalai reikalauja didesnėmis koncentracijomis, o mikroelementams užtenka ir labai mažų, tačiau jų reikšmė išlieka esminė. Be minėtų elementų, augalų augimo procesams gali turėti įtakos ir kiti veiksniai – humusas, organinės rūgštys, bioaktyvios medžiagos ir pan., tačiau šiame darbe pagrindinis dėmesys skiriamas pagrindinių augalų maisto medžiagų tiekimui per trąšas bei jų gamybos žaliavoms.

Trąšos klasifikuojamos atsižvelgiant į jose esančių maisto medžiagų koncentraciją bei formą. Pagal sudėtį jos gali būti paprastos (turinčios tik vieną pagrindinį elementą) arba sudėtinės ir kompleksinės (turinčios bent du pagrindinius maisto elementus). Pagal agregatinę būseną skirstomos į kietąsias ir skystąsias, o kietosios – į miltelines, granuliuotas, priliuotas ar gumulines.

Granuliavimas – tai procesas, kurio metu biri žaliava (dažniausiai miltelių forma) paverčiama į vientisos struktūros granules. Priklausomai nuo žaliavos savybių, naudojamas atitinkamas granuliavimo būdas: drėkinimas vandeniu ar garais, lydalų granuliavimas, kompaktinis presavimas ar kitos technologijos. Trąšų pramonėje paplitę įvairūs granulatoriai, tarp jų: būgniniai, lėkštiniai, sraigtiniai ir kiti. Vieni populiariausių – būgniniai granulatoriai arba jų deriniai su džiovyklomis, nes jų konstrukcija leidžia efektyviai formuoti NPK tipo trąšas.

Gaminant NPK trąšas, dažniausiai naudojamos mineralinės kilmės žaliavos, tačiau vis dažniau ieškoma alternatyvų, tokių kaip tam tikrų pramonės šakų šalutiniai produktai ar pelenai. Pelenai, susidarantys deginant biomasę ar kitas organines atliekas, pasižymi vertinga maistine sudėtimi, juose aptinkami kalcis, kalis, fosforas bei mikroelementai. Dėl šios priežasties pelenai gali būti panaudoti kaip žaliava trąšų gamyboje. Vis dėlto būtina įvertinti galimą teršalų, ypač sunkiųjų metalų, buvimą – jų koncentracijos yra griežtai reglamentuojamos, todėl prieš naudojimą būtina atlikti išsamią cheminę analizę.

Projekto tikslas – parinkti tinkamus komponentus granuliuotų NPK trąšų iš biomasės žaliavų gavimui ir nustatyti gautų sudėtinių trąšų fizikines-chemines savybes.

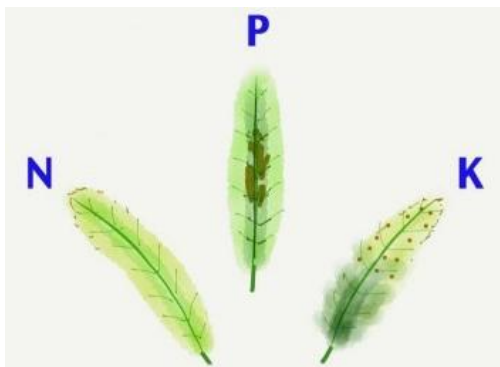
Uždaviniai:

1. atlikti augalų maisto medžiagų, organinės kilmės žaliavų bei granuliuotų sudėtinių trąšų gamybos technologijų literatūros apžvalgą;
2. parinkti ir įvertinti skirtingų organinių žaliavų ir priedų įtaką granuliuotų organinės kilmės trąšų gavimui bei nustatyti tinkamiausius proceso parametrus;
3. sukurti principinę technologinę schemą granuliuotoms organinės kilmės trąšoms gaminti;
4. apžvelgti su sudėtinių kompleksinių trąšų gamyba susijusius pavojus darbuotojų saugai ir sveikatai.

## 1. Literatūros apžvalga

### 1.1. NPK

Tiek komercinė, tiek mėgėjiška žemdirbystė šiais laikais neatsiejama nuo sistemingo dirvožemio papildymo įvairiomis mineralinėmis trąšomis, kuriose yra tiek makro, tiek mikroelementų. Svarbiausieji iš jų – azotas (N), fosforas (P) ir kalis (K) – sudaro vadinamąją NPK trejybę, kurią būtina užtikrinti norint pasiekti augalų sveiką augimą, vystymąsi ir produktyvumą [1].



1 pav. NPK trūkumas augaluose [2]

Būtent šios trys raidės: N, P ir K yra dažniausiai matomos ant trąšų pakuočių. Šalia jų nurodomi trys skaičiai, pavyzdžiui, 10-20-10, kurie reiškia procentinę šių elementų koncentraciją mišinyje: pirmasis skaičius nurodo azoto koncentraciją, antrasis – fosforo pentoksido, o trečiasis – kalio oksido. Net jeigu etiketėje aiškiai neparasyta „NPK“, trijų skaičių seka vis tiek atitinka būtent šią tvarką, o likusieji komponentai, kurių neapima trejų skaičių seka, tai užpildai arba kitos papildomos medžiagos, kurios padeda palaikyti trąšų stabilumą, pagerina paskleidimą ar padeda augalams įsisavinti pagrindinius elementus.

#### 1.1.1. Azotas

Iš visų augalams būtinų maistinių medžiagų azoto (N) poreikis yra didžiausias, nes jis atlieka svarbias funkcijas ir dažnai tampa augalų produktyvumą bei tinkamą derliaus vystymąsi ribojančiu veiksniumi. Azotas būtinas chlorofilo – junginio, kuris gyvybiškai svarbus fotosintezei, t. y. pagrindiniam augalų mitybos procesui – sintezei. Be to, azotas reikalingas pačiam augalo vystymuisi, jis yra daugelio cheminių junginių sudedamoji dalis, tokių kaip: aminorūgštys, DNR, membranų baltymai, fermentai, dauguma kofermentų, auksinai bei citokininai. Trąšos, kuriose yra didelės koncentracijos azoto, dažnai naudojamos vejoms, lapinėms daržovėms ar kitiems augalams, kuriems svarbesnis jų vešlus žaliasis augimas nei žydėjimas. Trūkstant azoto, augalų augimas lėtėja, žolė ir lapai praranda sodrią spalvą (žr. 1 pav.). Tuo tarpu per didelė azoto koncentracija gali pakenkti – žydintys ir vaisius vedantys augalai gali skirti per daug energijos lapų augimui, todėl prastai žydi ir mažiau dera [3].

#### 1.1.2. Fosforas

Fosforas (P) yra reikalingas šaknų augimui, žydėjimui, vaisių ir sėklų formavimuisi, taip pat padeda augalams efektyviau įsisavinti kitas maistines medžiagas. Fosforas stiprina augalų atsparumą ligoms ir yra svarbus, jog augalas vystytųsi gyvybingas bei sveikas. Trūkstant fosforo, augalų šaknys silpsta, o žiedai ir vaisiai gali nesiformuoti. Fosforo stygius ypač paveikia senesnius, žemiau, arčiau stiebo augančius lapus, jie patamsėja, įgauna tamsiai geltoną spalvą, atsiranda didelės rudos, bronzinės ar

net artin mėlynos spalvos dėmės (žr. 1 pav.). Taip pat, lapai gali susisukti, sustorėti – neišlaikydami savo įprastos formos. Fosforo stygius dažnai lemia pH pusiausvyros sutrikimus bei daro įtaką ir kitų maistinių medžiagų įsisavinimui augaluose [3].

### **1.1.3. Kalis**

Kalis (K) prisideda prie bendros augalo sveikatos ir gyvybingumo, stiprina jo atsparumą ligoms, padeda reguliuoti vandens ir maistinių medžiagų judėjimą augale. Ypač svarbus regionuose, kuriuose vyrauja sausas ar šaltas klimatas – stiprindamas augalo atsparumą tokioms nepalankioms sąlygoms. Kalis neretai laikomas augalų kokybę didinančiu maistinių medžiagų elementu. Jis daro įtaką augalo dydžiui, spalvai, formai ir net vaisių skoniui. Esant pakankamoms kalio koncentracijoms efektyviai vyksta svarbūs augalams procesai, tokie kaip fotosintezė, energijos tiekimas, angliavandenių gamyba bei pernaša [3].

## **1.2. Biomasės pelenai**

Biomasės pelenai, susidarantys termocheminio biomasės konversijos proceso metu energijos gamybai, dažnai laikomi pramoninėmis atliekomis. Tačiau juose galima rasti vertingų elementų, pavyzdžiui, fosforo. Pasitelkus tinkamas technologijas ir metodus, šiuos pelenus galima paversti naudingu ištekliumi. Fosfatams gaminti tradiciškai naudojamos apatitų mineralinės žaliavos, tačiau jų pasauliniai ištekliai yra riboti – literatūros šaltiniuose yra prognozuojama, kad jie gali išsekti per artimiausius 200 metų. Todėl tampa vis svarbiau kurti tvarius būdus fosforo perdirbimui ir grąžinimui į apytakos ratą. Fosforas yra nepakeičiamas, neatsinaujantis elementas, būtinas gyvybei, jis atlieka esminį vaidmenį ekosistemose ir augalų mityboje, o jį pakeisti kitu elementu neįmanoma. Vien žemės ūkyje fosforo trąšų poreikis augo kartu su pasaulio gyventojų skaičiumi, nuo 9 milijonų tonų 1960 metais iki 40 milijonų tonų 2000-aisiais. Literatūroje rasti šaltiniai, teigia, kad iki 2030 metų šis poreikis gali pasiekti 60 milijonų tonų. Atsižvelgiant į tai, kad biomasės pelenai gali turėti net apie 5,4 % fosforo pagal svorį, jų panaudojimas kaip fosforo trąšų šaltinio žemės ūkyje būtų tikslingas ir naudingas. Atsinaujinančių fosforo išteklių paieška bei antrinis šio elemento panaudojimas tampa ypač aktualūs dėl mažėjančių fosforo rūdos atsargų ir didėjančio poreikio žemės ūkyje [4].

## **1.3. Grikių lukštai ir jų pelenų panaudojimas**

Grikių lukštai vis dažniau nagrinėjami kaip vertinga maistinė bei funkcinė žaliava. Naujausi tyrimai rodo, kad šie lukštai, anksčiau laikyti perdirbimo atliekomis, pasižymi dideliu maistinių skaidulų ir flavonoidų (ypač rutino) koncentracija, o tai leidžia juos potencialiai naudoti maisto priedų ir funkcinių produktų kūrime. Juose aptinkamos biologiškai aktyvios medžiagos turi antioksidacinių, antimikrobinių bei priešuždegiminių savybių, kurios gali prisidėti prie žmogaus sveikatos stiprinimo. Šis tvarus požiūris atitinka augančią tendenciją naudoti visą augalą, mažinant atliekų kiekį ir kartu kuriant pridėtinę vertę. Tačiau dėl tyrimų apie žalių (terminiškai neapdorotų) grikių lukštų panaudojimą vis dar trūksta, todėl ši sritis turi didelį potencialą tiek moksliniu, tiek ekonominiu požiūriu [5].

Kita vertus, grikių lukštų pelenai (GLP) tampa vis svarbesne tvaria sudedamąja dalimi NPK (azoto, fosforo ir kalio) trąšų gamyboje, nes jie pasižymi turtinga maistinių medžiagų sudėtimi ir gali pagerinti dirvožemio sveikatą. Juose yra gausios reikšmingų pagrindinių ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ) bei mikroelementinių (Zn, Mn, Cu, Fe) augalų maistinių medžiagų koncentracijos, taip pat didelė anglies koncentracija (29,53-54,35 %). Ši sudėtis leidžia GLP naudoti kaip potencialų dirvožemį gerinantį

prieda, galintį padėti papildyti maistinių medžiagų atsargas ir palaikyti augalų augimą. Be to, GLP tirpalo pH (9,7-12,0) rodo, kad pelenai gali būti naudojami kaip dirvožemį kalkinanti medžiaga, ypač rūgščiuose dirvožemiuose [6].

Jei, kaip minėta, pelenai turi visavertę maistinę vertę ir gali būti naudojami kaip trąšų sudedamoji dalis, reikia įvertinti, kodėl negali būti atliekamas tiesioginis jų bėrimas į laukus kartu su kitomis medžiagomis, užuot atliekant papildomus tyrimus ar sudėtingesnį apdorojimą. Pelenų biri forma apsunkina jų transportavimą ir paskleidimą: jiems reikia didesnių talpų pervežant, darbas su jais yra nešvarus, o paskleidimas dažnai netolygus ir netikslus. Be to, pelenų dulkės ne tik gadina techniką, bet ir gali kelti pavojų darbuotojų sveikatai. Siekiant sumažinti šias problemas, pelenai galėtų būti granuliuojami, tokiu būdu jie taptų stabiliomis, nedulkančiomis granulėmis, kurias daug lengviau transportuoti, dozuoti ir tolygiai paskleisti dirvos paviršiuje [7].

#### **1.4. Kavos pupų lukštai ir jų panaudojimas**

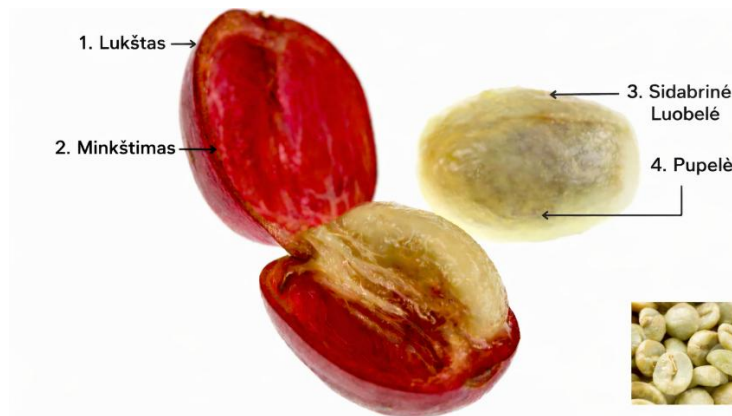
Kavos pupų lukštai yra kavos perdirbimo metu susidarantis šalutinis produktas, susiformuojantis tiek kavos pupų džiovavimo, tiek skrudinimo procesuose. Priklausomai nuo apdorojimo technologijos, šios atliekos gali sudaryti reikšmingą dalį visos žaliavos masės. Literatūros duomenimis, kavos perdirbimo metu susidaro virš 40 % įvairių šalutinių produktų, tarp kurių reikšmingą dalį sudaro lukštai ir kitos organinės atliekos [8]. Atsižvelgiant į tai, kad pasaulyje kasmet pagaminama daugiau nei 10 mln. tonų kavos pupų [9], susidarantių atliekų kiekiai yra labai dideli, o jų tvarkymas tampa aktualia aplinkosaugine problema [10].

Kavos pupų lukštai pasižymi didele organinės medžiagos dalimi ir turi augalams svarbių maistinių elementų, tokių kaip azotas, kalis bei mažesnės koncentracijos fosforo ir mikroelementų. Be to, jų sudėtyje yra lignoceliuliozinių junginių (celiuliozės, hemiceliuliozės ir lignino), kurie lemia jų fizines savybes ir skaidymosi procesus dirvožemyje [10, 11]. Dėl šių savybių kavos lukštai gali būti naudojami kaip organinė žaliava trąšų gamyboje arba kaip dirvožemio gerinimo priedas [10].

Moksliniuose tyrimuose taip pat nurodoma, kad kavos pupų lukštai gali būti panaudojami įvairiose srityse, pavyzdžiui, biokuro gamyboje, kompostavime ar bioaktyvių junginių išgavime [10]. Tačiau jų panaudojimas granuliuotų trąšų gamyboje išlieka palyginti mažai ištirtas, ypač derinant juos su žaliavomis tokiomis kaip biomasės pelenai. Tai leidžia teigti, kad šios žaliavos panaudojimas granuliuotų trąšų gamyboje turi mokslinį naujumą ir praktinį potencialą.

Vertinant kavos pupų lukštų panaudojimą granuliuojimo procese, svarbu atsižvelgti į jų fizines savybes. Dėl mažo tankio, didelio poringumo ir pluoštinės struktūros jie gali veikti kaip rišamoji arba struktūrinė medžiaga, turinti įtakos granuliuojimo mechanizmui bei mišinio drėgmės poreikiui [11]. Tokios savybės gali būti naudingos formuojant stabilesnės struktūros granules, tačiau tuo pačiu gali reikalauti papildomo proceso parametrų optimizavimo.

Aplinkosauginiu požiūriu kavos pupų lukštų panaudojimas yra aktualus, nes netinkamai tvarkomos šios atliekos gali sukelti neigiamą poveikį aplinkai.



**2 pav.** Kavos pupos uogos sandara [12]

Literatūroje nurodoma, kad perdirbant kavos žaliavą susidaro reikšmingi atliekų kiekiai, apie 0,68 tonos kavos atliekų tenka vienai tonai šviežių kavos uogų (žr. 2 pav.) [10], todėl efektyvus jų panaudojimas tampa svarbia aplinkosaugine užduotimi. Jų įtraukimas į trąšų gamybos procesus leistų sukurti pridėtinę vertę turinčius produktus, atitinkančius žiedinės ekonomikos principus [8, 10].

### **1.5. Bananų žievės ir jų panaudojimas**

Bananų žievės yra vienas iš pagrindinių bananų vartojimo ir perdirbimo metu susidarantių šalutinių produktų. Jos susidaro tiek vaisių apdoravimo, tiek vartojimo metu ir gali sudaryti reikšmingą viso vaisiaus masės dalį [13]. Atsižvelgiant į tai, kad pasaulyje kasmet užauginama daugiau nei 100 mln. tonų bananų [14], susidarantių žievių kiekiai yra labai dideli, todėl jų tvarkymas ir panaudojimas tampa svarbia aplinkosaugine problema.

Cheminės sudėties požiūriu bananų žievės pasižymi didele organinės medžiagos koncentracija ir yra augalams svarbių maistinių elementų šaltinis. Literatūroje nurodoma, kad jose randama kalio, kuris yra vienas iš pagrindinių makroelementų augalų mityboje, taip pat mažesnės koncentracijos azoto, fosforo bei mikroelementų [13, 15]. Be to, bananų žievėse yra lignoceliuliozinių junginių (celiuliozės, hemiceliuliozės ir lignino), kurie lemia jų struktūrines savybes bei skaidymosi procesus dirvožemyje [13]. Dėl šių savybių jos gali būti naudojamos kaip organinė žaliava trąšų gamyboje arba kaip dirvožemio gerinimo priedas [15].

Literatūroje nurodoma, kad bananų žievės gali būti naudojamos ne tik kaip organinės atliekos, bet ir kaip potenciali žaliava įvairiems aplinkosauginiams sprendimams. Dėl didelės organinės medžiagos dalies ir maistinių elementų koncentracijos jos gali būti taikomos kompostavimo procesuose, biokuro gamyboje ar kaip žaliava bioaktyvių junginių išgavimui [13, 15]. Tačiau duomenų apie bananų žievių panaudojimą granuliuotų trąšų gamyboje vis dar yra nedaug, ypač vertinant jų sąveiką su biomasės pelenais granuliuojimo metu. Tai rodo, kad tokios žaliavos pritaikymas organinių trąšų gamyboje turi tiek praktinį potencialą, tiek mokslinį aktualumą.

Vertinant bananų žievių panaudojimą granuliuojimo procese, svarbu įvertinti jų chemines ir fizikines savybes, kurios gali turėti reikšmingos įtakos granuliuojimo formavimuisi. Bananų žievėms būdingas didelis organinių medžiagų bei drėgmės kiekis, o jų sudėtyje esantys polisacharidai ir pluoštinės medžiagos gali prisidėti prie dalelių sukibimo granuliuojimo metu. Dėl šių savybių jos gali veikti kaip natūrali rišamoji medžiaga, tačiau tuo pačiu padidina mišinio drėgmės poreikį ir gali apsunkinti

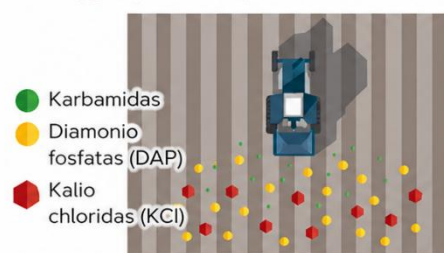
stabilios granuliu struktūros formavimąsi. Todėl granuliavimo procese svarbu parinkti tinkamą žaliavų santykį bei optimizuoti proceso parametrus.

Aplinkosauginiu požiūriu bananų žievės laikomos reikšminga organinių atliekų dalimi, kuri dažnai nėra efektyviai panaudojama. Dėl didelio biodegraduojančių medžiagų dalies jų kaupimas ar netinkamas šalinimas gali skatinti organinių atliekų skaidymosi procesus bei didinti aplinkosauginę apkrovą. Bananų žievių panaudojimas trąšų gamyboje sudaro galimybę šias atliekas įtraukti į pakartotinio panaudojimo grandinę ir kurti pridėtinę vertę turinčius produktus, atitinkančius žiedinės ekonomikos principus [13, 15].

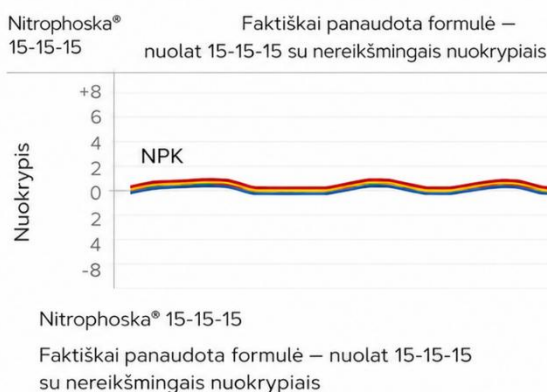
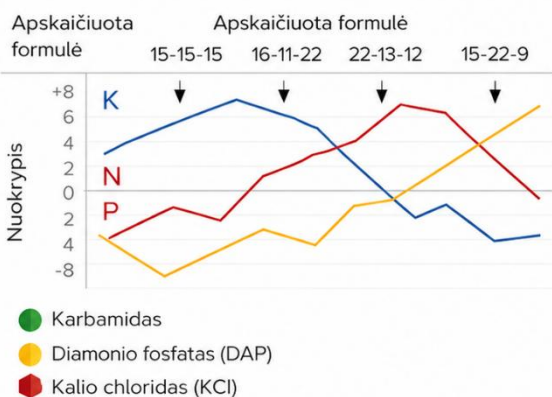
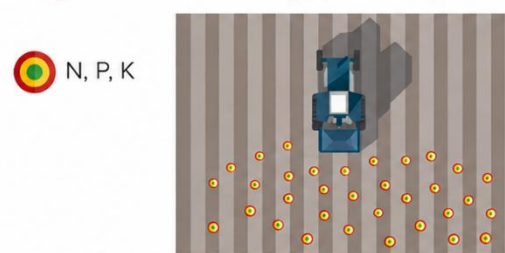
### 1.6. Granuliuotos trąšos

Granuliuotos trąšos tapo svarbiu žemės ūkio pramonės elementu, kurio istorija siejasi su vienu iš didžiausių 20-ojo amžiaus technologinių pasiekimų – pramonine amoniako gamyba. Naudojant Haber-Bosch procesą, amoniakas tapo plačiai prieinamas, leidžiantis pasiekti daug didesnę žemės ūkio derlių. Amoniakas, kaip pagrindinė trąšų sudedamoji dalis, buvo pirmasis žingsnis link pirmųjų sudėtinių trąšų kūrimo. 1913 metais BASF paleido pirmąją komercinę amoniako sintezės gamyklą Ludwigshafene, Vokietijoje, kas paskatino Žaliosios revoliucijos pradžią. Pamažu trąšų gamyba tapo vis sudėtingesnė, ir po intensyvių tyrimų 1926 metais buvo atrasta ideali trąšų sudėtis, sujungus azotą, fosforą ir kalį į vieną granulę. Granuliuotos trąšos, ypač Nitrophoska®, pirmą kartą pasirodžiusios 1927 metais, pasirodė itin efektyvios augalų augimo našumui. Šios trąšos ne tik pagerino derlių, bet ir tapo plačiai naudojamos įvairiuose pasaulio regionuose, ypač Azijoje, kur dirvožemis dažnai būna labai rūgštus. BASF toliau tobulino savo gamybos procesus ir 1967 metais pradėjo gamybą Antverpene. Šiandien granuliuotos trąšos yra neatsiejama žemės ūkio praktika, padedanti užtikrinti aukštos kokybės derlių ir žemės ūkio tvarumą visame pasaulyje [16].

Tręšimas biriomis trąšų mišinių formomis:  
netolygus pasiskirstymas



Tręšimas „Nitrophoska®“:  
tolygus maistinių medžiagų pasiskirstymas

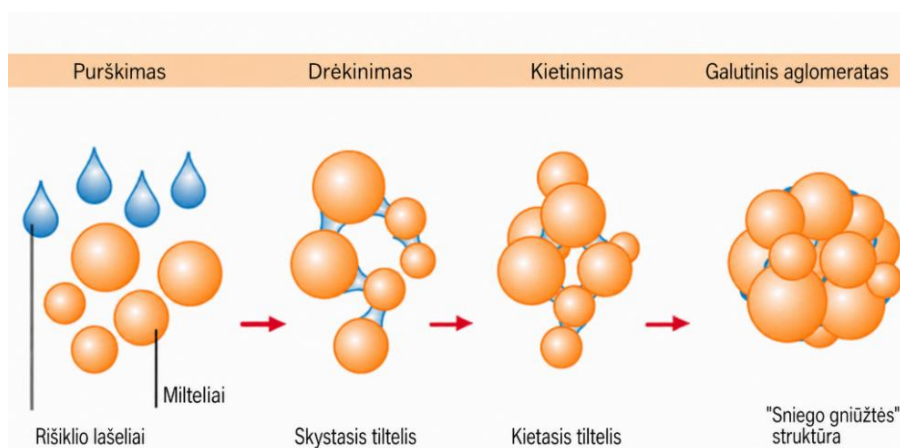


3 pav. Trąšų pasiskirstymo dirvožemyje palyginimas [16]

Kaip matyti 3 paveiksle, kai naudojamos pavienės trąšos, maistinės medžiagos dažnai paskleidžiamos netolygiai. Skirtingai nuo to, granuliuotos trąšos užtikrina tolygų medžiagų pasiskirstymą visame plote. Tai reiškia, kad visos maistinės medžiagos tolygiai pasiekia augalų šaknis, kas yra svarbu norint užtikrinti optimalų augimą ir gerą maistinių medžiagų pasisavinimą [16].

### 1.7. Granuliavimo procesas

Granuliavimas – tai procesas, kurio metu biri trąšų žaliava (dažnai miltelių pavidalu) paverčiama į granules – mažus, vientisos formos ir dydžio rutuliukus ar cilindriukus, galimas proceso vyksmo mechanizmas pavaizduotas 4 paveiksle. Gaminamų mineralinių trąšų granulės paprastai būna 1-6 mm skersmens, dažniausiai svyruoja tarp 2 ir 4 mm. Tokio dydžio granulės yra patogios ne tik dėl jų fizinių savybių, bet ir todėl, kad jas lengviau laikyti, transportuoti bei paskleisti dirvoje. Granulės turi būti pakankamai tvirtos ir atsparios mechaniniams pažeidimams, kad sandėliavimo metu, kai jos laikomos didelėse krūvose, nesideformuotų ir nesulaužytų. Optimaliausia granulės forma yra apvali – sferinė, nes tokiu atveju granulės yra stipresnės mechaniniu požiūriu ir mažiau trinasi bei trupa beriant ar naudojant jas laukuose [17, 18].



4 pav. Granulių susidarymo mechanizmas [17]

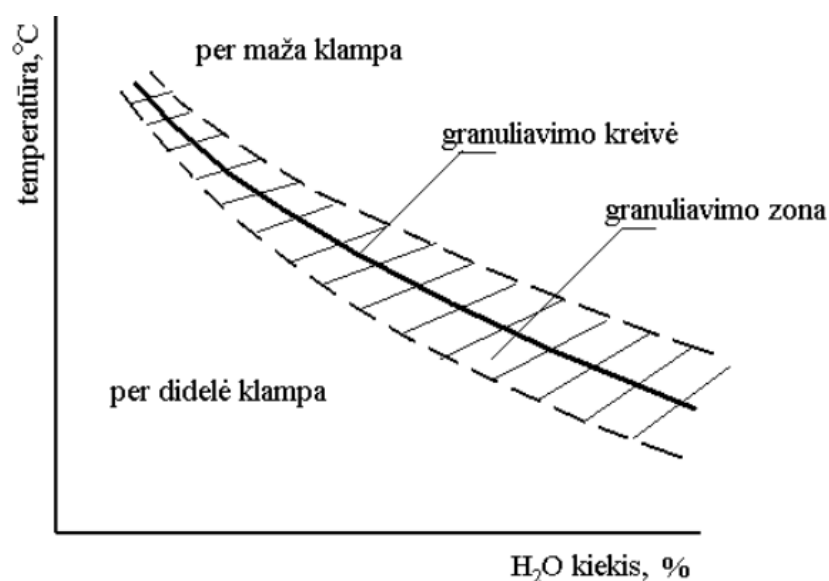
Granuliuotos trąšos gali būti gaminamos iš įvairių pradinių medžiagų formų: nuo smulkiakristalinių miltelių iki tirpalų, suspensijų ar net karštų skystųjų lydalu. Priklausomai nuo žaliavos fizinių ir cheminių savybių, parenkamas atitinkamas granuliavimo metodas, leidžiantis suformuoti norimo dydžio, formos ir mechaninio tvirtumo granules. Žemiau apžvelgiami pagrindiniai naudojami granuliavimo būdai [19]:

1. Presavimas ir trupinimas (naudojama esant mažai adhezijai). Kai granuliuojama medžiaga pasižymi prastu sukibimu tarp dalelių (t. y. maža adhezija), ji sunkiai formuoja stabilias granules savaime. Tokiu atveju taikomas dviejų etapų procesas: pirmiausia medžiaga supresuojama į briketus, o tuomet šie briketai mechaniškai susmulkinami iki norimo granulės dydžio. Tai leidžia gauti pakankamai vienodo dydžio ir tvirtumo daleles.
2. Šlapias granuliavimas ir džiovinimas (naudojama esant didelei adhezijai). Miltelinės medžiagos, kurios natūraliai linkusios sulipti, ypač esant skystai fazei, gali būti granuliuojamos pasitelkiant įvairius struktūrizavimo metodus. Tokios medžiagos formuojamos į granules naudojant granulatorius ar kitas specialias formas. Siekiant suteikti

galutiniam produktui reikiama tvirtumą ir stabilumą, šios granulės vėliau džiovinamos, kol pasiekia norimą fizinę būklę.

3. Purškimas ant sėklinių granuliu (tirpalai ir suspensijos). Skystos žaliavos, tokios kaip įvairūs tirpalai ar suspensijos, dažnai purškiamos ant jau egzistuojančių mažų granuliu ar branduoliu. Tokiu būdu, sluoksnis po sluoksnio, ant esamos dalelės paviršiaus kaupiasi nauja medžiaga, o kartu su džiovinimu granulės pamažu didėja. Tai leidžia tiksliai reguliuoti galutinę granuliu dydį ir struktūrą.
4. Granuliavimas lydalais (priliavimo metodas). Karštos skystos žaliavos (lydalai) gali būti granuliuojamos priliavimo būdu. Tai metodas, kai medžiaga purškiama arba lašinama į orą, kur atvėsdama ir kristalizuodamasi formuoja taisyklingos formos granules, dar vadinamas prilėmis. Ore susiformavusios dalelės būna apvalios, standžios ir tinkamos tolesniam naudojimui.
5. Lašinimas į aušinamą terpę arba ant šaltų paviršių. Tai yra kita alternatyva skystųjų lydalų granuliavimui – jų lašinimas į specialią aušinimo terpę (pvz., vandenį, aliejų) arba ant šaltų paviršių. Šiuo atveju, kai lašas kontaktuoja su šalta aplinka, susidaro plona, bet tvirta ir kieta plėvelė. Po tam tikro laiko ši plėvelė subręsta ir virsta plonomis, žvynelių formos granulėmis, kurios taip pat gali būti naudojamos kaip trąšos.

Granuliavimo proceso metu esminį vaidmenį atlieka jungčių – tiek skystų, tiek kietų – formavimasis tarp atskirų dalelių, kuris ir lemia tiek gumulėlių susidarymą, tiek galutinių granuliu mechaninį tvirtumą. Šis reiškinys jau buvo iliustruotas 4 pav., kai drėgmės kiekis mišinyje yra nedidelis, tarp kontaktuojančių dalelių susiformuoja pavieniai kietieji tilteliai, tai tvirtos jungtys, susidarancios sąlyčio taškuose. Padidėjus drėgmės kiekiui, skystis prasiskverbia giliau ir gali visiškai užpildyti tarpelius tarp dalelių. Tokiu atveju įsijungia kapiliarinės sankibos jėgos, kurios sustiprina granuliu struktūrą ir užtikrina jų stabilumą. Tačiau jei skysčio kiekis tampa pernelyg didelis ir jis visiškai padengia granulę, susidaro nestabili sistema – tarsi skysčio lašas, kuriame pasklidusios kietosios dalelės. Tokia masė tampa lipni, o jos mechaninis tvirtumas ženkliai sumažėja. Dėl šios priežasties labai svarbu užtikrinti optimalų skystosios fazės kiekį (žr. 5 pav.) [19].

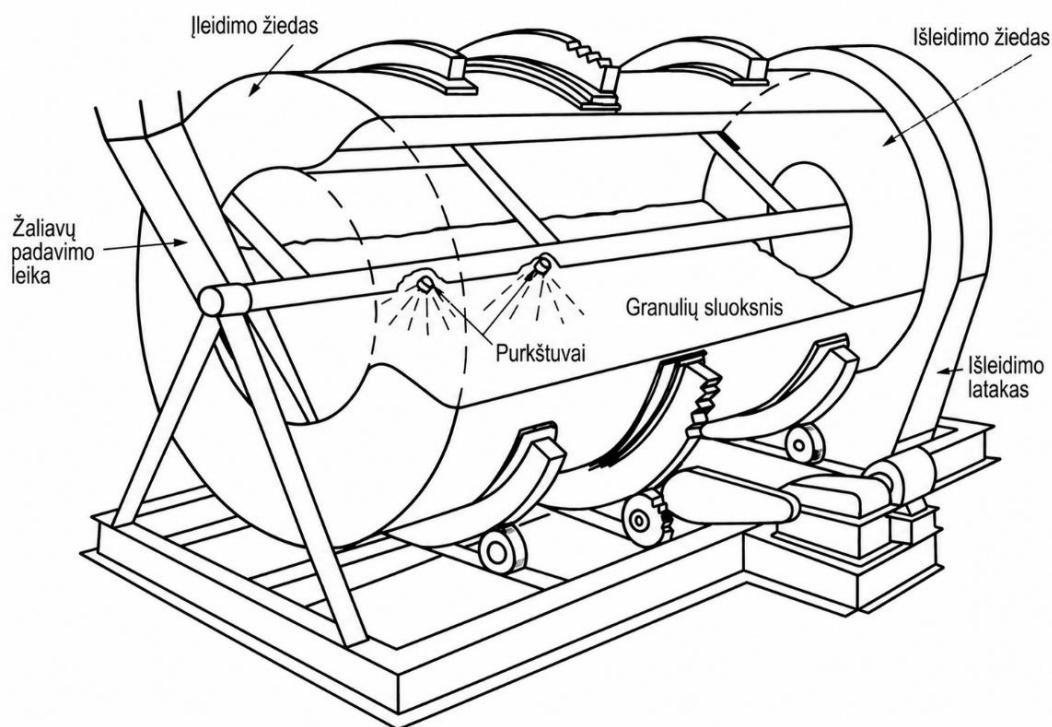


5 pav. Granuliuojamo trąšų mišinio drėgmės kiekio priklausomybė nuo temperatūros [19]

Paprastai neorganinėms trąšoms šis kiekis turėtų svyruoti tarp 3 ir 18 %, nors tikslus intervalas priklauso nuo konkrečios žaliavos savybių, dalelių dydžio ir naudojamo granuliavimo metodo. Dažniausiai, siekiant sudrėkinti mišinį ir skatinti granuliavimą, naudojamas vanduo arba karšti vandens garai. Šis pasirinkimas grindžiamas tuo, kad didesnėje temperatūroje padidėja druskų tirpumas, o tai leidžia efektyviau suformuoti granules naudojant mažesnį vandens kiekį [19].

### 1.8. Būgninis granulatorius

Būgninis granulatorius yra vienas iš plačiausiai naudojamų įrenginių medžiagų granuliavimui, ypač trąšų gamyboje bei geležies rūdos briketavime, principinė įrenginio schema pateikta 6 pav., joje pažymėta keletas pagrindinių granulatoriaus dalių, kurios bus toliau aptariamos.



6 pav. Būgninis granulatorius [20]

Dalelių didėjimas pasiekiamas joms susiduriant tarpusavyje, kuomet vyksta jų sukimasis ir ridenimasis drėgname sluoksnyje cilindro viduje. Šio tipo granulatorius yra vienas iš paprasčiausių nuolatinio veikimo granuliavimo įrenginių. Jis susideda iš pasvirai (paprastai nedideliu kampu) įrengto besisukančio cilindro, leidžiančio medžiagai judėti per įrenginį iš vienos pusės į kitą. Norint sumažinti medžiagos išbyrėjimą atgal pro įėjimo angą, prie būgno įėjimo dažnai montuojamas tai mažinantis žiedas. Kitas žiedas įrengiamas būgno išėjimo dalyje, šio paskirtis yra sukaupti storesnį granulių sluoksnį būgno viduje. Granuliavimo procese medžiaga dažniausiai sudrėkinama netoli būgno įėjimo, purškiant vandenį ar rišiklį tiesiai ant besisukančių dalelių sluoksnio. Purkštuvų kiekis ir jų konstrukcija dažniausiai skiriasi ir yra pritaikoma priklausomai nuo naudojamo rišiklio klampumo bei technologinio proceso reikalavimų. Siekiant, jog granuliavimo procesas vyktų sklandžiai, būgnai dažnai būna aprūpinti gremžtuvais (fiksuotais arba besisukančiais), kurie nuvalo drėgnas medžiagas nuo vidinių sienelių. Tai padeda palaikyti aktyvų būgno tūrį ir neleidžia medžiagai prilipti, kas galėtų trikdyti ritimosi procesą. Paliekamas plonas medžiagos sluoksnis ant vidinės sienelės pagerina trintį tarp granulių ir būgno, užtikrinant tolygų granulių ridenimąsi ir judėjimą.

Trąšų pramonėje kartais naudojami ir specialūs smūginiai įtaisai, kurie iš išorės daužo būgno sienelę tam, kad atskirtų prie sienelių prilipusias medžiagas. Visgi šis metodas gali neigiamai paveikti būgno konstrukciją ar pavaros mechanizmą, todėl naudojamas tik esant būtinybei [20].

## **1.9. Ekologinės ir ekonominės granuliavimo naudos**

Organinių trąšų granuliavimas yra svarbi šiuolaikinio žemės ūkio technologija, turinti tiek aplinkosauginių, tiek ekonominių privalumų. Granuliavimo metu pagerinamos fizinės trąšų savybės, todėl jos tampa patogesnės naudoti, laikyti ir transportuoti. Be to, šis procesas prisideda prie efektyvesnio organinių atliekų panaudojimo ir tvaresnių žemdirbystės praktikų taikymo.

### **1.9.1. Ekologinis poveikis**

Vienas svarbiausių organinių trąšų granuliavimo privalumų yra mažesnis cheminių trąšų poreikis ir teigiamas poveikis dirvožemio būklei. Organinių granulių naudojimas padeda didinti organinės medžiagos kiekį dirvožemyje, gerina jo struktūrą ir mažina ilgalaikę degradacijos riziką. Tokios trąšos siejamos su organinės žemdirbystės principais, kuriuose didelis dėmesys skiriamas dirvožemio biologiniam aktyvumui, natūralių procesų palaikymui ir mažesniams sintetinių medžiagų naudojimui. Dėl to mažėja neigiamas poveikis aplinkai bei dirvožemio ir vandens tarša. Granuliuotos organinės trąšos taip pat gali pagerinti dirvožemio fizines savybes. Jos padeda palaikyti geresnę aeraciją, didina vandens sulaikymo gebėjimą ir sudaro palankesnes sąlygas mikroorganizmų veiklai. Ilgainiui tai gali prisidėti prie didesnio dirvožemio derlingumo ir stabilesnio maistinių medžiagų ciklo. Kadangi maistinės medžiagos iš granulių išsiskiria palaipsniui, sumažėja jų išplovimo į aplinką tikimybė [21].

Svarbus ir mažesnis maistinių medžiagų nuotėkis į vandens telkinius. Granuliuota forma leidžia geriau kontroliuoti azoto ir fosforo išsiskyrimą, todėl mažėja aplinkos taršos ir eutrofikacijos rizika. Tai ypač aktualu intensyviai naudojamuose žemės ūkio plotuose, kur maistinių medžiagų perteklius gali neigiamai paveikti vandens ekosistemas [22].

### **1.9.2. Ekonominiai privalumai**

Granuliuotos organinės trąšos pasižymi praktiniais, ekonominiais ir logistiniais privalumais. Palyginti su biriomis ar miltelinėmis medžiagomis, granulės yra patogesnės naudoti mechanizuotose sistemose, todėl sumažėja darbo sąnaudos ir tręšimo proceso trukmė. Standartizuotas granulių dydis ir tankis taip pat palengvina jų pakavimą, sandėliavimą bei transportavimą. Granulių forma suteikia pranašumų laikymo metu, nes jos mažiau dulka, yra atsparesnės drėgmės poveikiui ir rečiau sukimba tarpusavyje. Dėl to sumažėja nuostoliai transportavimo ir sandėliavimo metu, o logistinis procesas tampa efektyvesnis. Šis aspektas svarbus tiek gamintojams, tiek ūkininkams, nes transportavimo ir sandėliavimo išlaidos sudaro reikšmingą trąšų tiekimo grandinės dalį. Ekonominiu požiūriu svarbu ir tai, kad granulės gali būti gaminamos iš vietinių organinių žaliavų. Toks sprendimas leidžia efektyviau panaudoti biomasės atliekas bei mažinti priklausomybę nuo importuojamų cheminių trąšų. Be to, granuliuotos trąšos dažnai vertinamos kaip patogesnės naudoti ir patrauklesnės rinkoje, todėl didėja jų komercinis potencialas [22].

## **1.10. Granuliavimo poveikis trąšų taikymo efektyvumui ir derliui**

Granuliavimo procesas turi reikšmingą įtaką organinių trąšų fizinėms savybėms, jų naudojimo efektyvumui ir maistinių medžiagų pasisavinimui augaluose. Skirtingai nei birios ar neapdorotos

žaliavos, granulės pasižymi geresniu paskleidimo tolygumu ir leidžia sumažinti trąšų nuostolius naudojimo metu.

Moksliniai tyrimai rodo, kad granuliavimo būdas gali paveikti trąšų tirpimą dirvožemyje bei maistinių medžiagų išsiskyrimo greitį. Skirtingos granuliavimo technologijos formuoja nevienodą granuliu struktūrą ir paviršiaus savybes, nuo kurių priklauso drėgmės sugėrimas, granuliu irimas bei maistinių medžiagų prieinamumas augalams. Dėl šios priežasties granuliu morfologinės savybės turi tiesioginę įtaką jų agronominiam efektyvumui [23].

Organinių trąšų granuliavimas gerina trąšų paskirstymą lauke, nes granulės lengviau ir tolygiau išbarstomos mechanizuotais skleidimo įrenginiais. Granuliu sudėtis ir struktūra taip pat turi įtakos maistinių medžiagų išsiskyrimui dirvožemyje. Tinkamai suformuotos granulės gali užtikrinti lėtesnį ir tolygesnį maistinių medžiagų išlaisvinimą, kuris geriau atitinka augalų poreikius nei greitai tirpstančios miltelinės trąšos. Dėl to gali sumažėti maistinių medžiagų nuostoliai ir pagerėti azoto panaudojimo efektyvumas, priklausomai nuo dirvožemio bei aplinkos sąlygų [24].

Literatūroje pateikiami mokslinių tyrimų rezultatai rodo, kad organinių trąšų naudojimas gali turėti teigiamą poveikį derliui, tačiau rezultatai priklauso nuo klimato sąlygų, dirvožemio savybių, tręšimo metodų ir naudojamų trąšų sudėties. Organinės trąšos dažniausiai gerina dirvožemio fizines, chemines ir biologines savybes, skatina maistinių medžiagų apytaką bei prisideda prie ilgalaikio dirvožemio derlingumo palaikymo. Trumpalaikis derliaus padidėjimas ne visada būna didesnis nei naudojant mineralines trąšas [25].

Organinių trąšų ir lėtai veikiančių trąšų derinimas taip pat gali turėti teigiamą poveikį augalų derliui bei maistinių medžiagų panaudojimo efektyvumui. Toks derinys leidžia geriau suderinti azoto tiekimą su augalo augimo tarpsniais, stiprinti fotosintezės procesus ir taip skatinti didesnę derlių bei aukštesnę pasėlių kokybę [26].

## **2. Tiriamoji dalis**

### **2.1. Medžiagos ir metodai**

#### **2.1.1. Pradinės medžiagos**

1. Grikių lukštų pelenai – gamintojas „Ekofrisa“ įmonė, esanti Naraukelio kaime, Prienų rajone, Lietuvoje. GLP susidaro įmonės eksploatuojamame biokatilė, kaip viena iš atliekų.
2. Bananų žievės – naudojamos žievės surinktos iš parduotuvėse parduodamų bananų.
3. Kavos pupų lukštai – gamintojas „Vero Coffee House“ įmonė.
4. Kaip priedai granuliuojant naudoti:
  - a. Melasa – natūrali, biologiškai aktyvi medžiaga, kuri cukraus pramonėje išgaunama kaip gretutinis produktas. Naudota žaliava buvo gaminta UAB „Arvi cukrus“ (Marijampolė) [27];
  - b. Gipsas – pilkšvos spalvos, birios, smulkios struktūros medžiaga.

#### **2.1.2. Žaliavų paruošimas**

Grikių lukštų pelenai bandymuose buvo naudojami papildomai jų neapdorojant, žaliava naudota tiesiogiai iš įmonės pateiktos pakuotės. Bananų žievės prieš naudojimą buvo paskleidžiamos plonu sluoksniu ir paliekamos savaime išdžiūti kambario temperatūroje. Išdžiovinta žaliava sumalama, o granuliavimo bandymams naudota mažesnė nei 1 mm frakcija. Tokios pačios frakcijos buvo ruošti ir kavos pupų lukštai, siekiant užtikrinti tolygesnę žaliavų pasiskirstymą mišinyje bei stabilesnį granuliavimo procesą. Melasos atveju prieš granuliavimą buvo ruošti reikiamos koncentracijos tirpalai, melasą sumaišant su vandeniu. Gipsas naudotas tiesiogiai, kadangi žaliavos dalelių dydis jau buvo mažesnis nei 0,5 mm, todėl papildomas smulkinimas ar sijojimas nebuvo reikalingas.

#### **2.1.3. Tyrimo metodika**

Cheminių tyrimų vykdymui žaliavos pirmiausia buvo apdorotos naudojant šiuos tirpalus:

- ekstrahavimas distiliuotu vandeniu;
- ekstrahavimas 1:1 HCl rūgštimi;
- mineralizacija 96 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, siekiant įvertinti organinės dalies elementinę sudėtį.

Pasvertas atitinkamas žaliavos kiekis buvo subertas į parinktą tirpalo tūrį, kuriame yra išlaikomas parą laiko. Tuomet, gautas tirpalas, į kurį perėjo dalis augalų maisto medžiagų, yra nufiltruojamas, taip atskiriant tirpale išlikusią kietąją masę. Cheminės analizės metodai buvo taikomi gautajai skystai fazei.

Skirtingų ekstrahavimo metodų taikymas leidžia įvertinti elementų pasiskirstymą tarp lengvai tirpių (greitai augalams prieinamų) ir sunkiau tirpių formų. Vandens ekstraktai atspindi momentinį maistinių medžiagų prieinamumą, tuo tarpu rūgštiniai tirpalai modeliuoja dirvožemio rūgštėjimo ar mikrobiologinių procesų poveikį, galintį padidinti elementų mobilumą. Mineralizacija koncentruota sieros rūgštimi leidžia įvertinti bendrą organinėje matricijoje susijusių elementų koncentraciją.

#### 2.1.4. Cheminės analizės metodai

Azoto nustatymas. Bendrojo azoto koncentracija mėginiuose buvo nustatoma taikant Kjeldalio metodą, naudojant distiliatorių Gerhardt Vapodest 45s. Tyrimo metu azotas buvo nustatytas skirtingomis formomis – amoniakinio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitratinio ( $\text{NO}_3^-$ ) bei amidinio azoto pavidalais. Amidinis azotas prieš analizę buvo mineralizuotas koncentruota 96 % sieros rūgštimi, paverčiant jį amoniakiniu azotu. Nitratinio azoto redukcijai iki amoniakinės formos buvo naudotas Devardos lydinys šarminėje terpėje (40 % NaOH tirpalas). Analizės metu išsiskyręs amoniakas buvo distiliuotas į 3 % boro rūgšties tirpalą, o gautas tirpalas titruotas 0,2 N druskos rūgšties tirpalu. Galutinis rezultatas apskaičiuotas kaip dviejų lygiagrečiai atliktų matavimų aritmetinis vidurkis.

Fosforo nustatymas. Fosforo pentoksido ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) koncentracija mėginiuose nustatyta spektrofotometriniu metodu, naudojant T70/T80 UV–VIS spektrofotometrą. Matavimai atlikti naudojant 10 mm pločio stiklines kiuvetes, esant bangos ilgiui  $\lambda = 440\text{--}450$  nm. Metodo principas pagrįstas fosforo-molibdeno-vanadžio komplekso susidarymu tirpale ir jo šviesos sugerties matavimu, lyginant su standartiniais tirpalais, kuriuose yra žinomos fosforo koncentracijos. Gauti rezultatai buvo vertinti pagal kalibravimo kreivę.

Kalio nustatymas. Kalio oksido ( $\text{K}_2\text{O}$ ) koncentracija mėginiuose buvo nustatyta liepsnos fotometriniu metodu, naudojant Jenway PFP-7 liepsnos fotometrą. Tyrimo metodas pagrįstas kalio jonų skleidžiamos spinduliuotės intensyvumo matavimu, įpurškiant analizuojamą tirpalą į liepsną. Matavimų metu analizuojamų mėginių signalai buvo lyginti su etaloninių kalio chlorido tirpalų signalais, pagal kuriuos nustatyta kalio koncentracija tiriamuose mėginiuose.

Anglies nustatymas. Anglies koncentracija pelenuose buvo nustatytas modifikuotu Nikitino–Tiurino metodu, jis atliktas jau minėtu spektrofotometru, tačiau esant  $\lambda = 590$  nm bangos ilgiui. Etaloninių tirpalų ir bandinių analizė atlikta 10 mm pločio stiklinėse kiuvetėse.

#### 2.1.5. Fizikinių-cheminių savybių nustatymo metodai

Siekiant nustatyti granuliuotų trąšų fizikines-chemines savybes buvo naudoti šie metodai:

1. pH reikšmės nustatytos naudojant pH metrą HANNA pH 211 su stikliniu elektrodu HI1131B.
2. Granuliuotų trąšų frakcinė sudėtis nustatyta naudojant RETSCH firmos pintus sietus (DIN-ISO 3310/1). Naidotų sietų akučių dydžiai buvo: 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 3,15; 4,0; 5,0 mm. Atskirų frakcijų masė nustatyta elektroninėmis svarstyklėmis Kern PLJ 360-3NM, kurių matavimo tikslumas  $\pm 0,01$  g [28].
3. Granulių statinis stipris matuotas IPG-1M prietaisu, kurio maksimali spaudžiamoji galia 200 N/gran., o matavimo paklaida  $\pm 1$  %. Kiekvienos sudėties bandiniui buvo traiškinta po 20 granulių, galutinio stiprio rezultatas apskaičiuotas nustatant aritmetinį vidurkį [29].
4. Drėgmės kiekis nustatytas elektroniniu drėgmės analizatoriumi Kern MLS 50-3 HA 160N. Prietaiso veikimas pagrįstas termogravimetriniu principu – drėgmės kiekis apskaičiuotas pagal bandinio masės pokytį kaitinimo metu iki pastovios masės [30].

### 2.1.6. Instrumentinės analizės metodai

Skenuojančios elektroninės mikroskopijos (SEM) analizė atlikta naudojant mikroskopą JEOL-JSM-6301F, kurio parametrai: didinimas – iki 50 000 kartų, greitinamoji įtampa (ETH) – 7 kV, darbinis atstumas tarp bandinio ir paskutinės elektrooptinės linzės briaunos (WD) – 15 mm. Mikroskope integruotas energiją sklaidantis rentgeno spindulių spektrometras, kuriuo buvo atlikta energijos dispersijos rentgeno spektrometrija (EDS).

### 2.1.7. Skenuojančioji elektroninė mikroskopija ir energijos dispersijos rentgeno spektroskopija

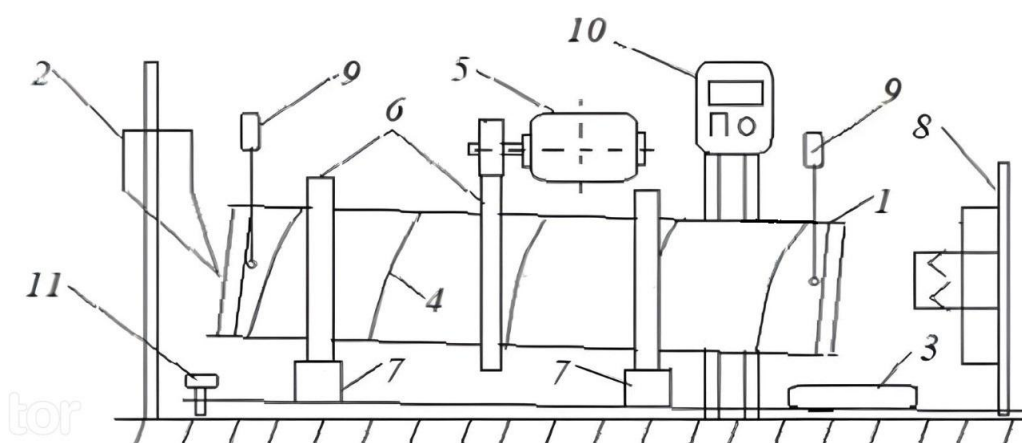
Siekiant detaliau įvertinti granuliuotų organinės kilmės NPK trąšų bandinių struktūrinės ir cheminės sudėties savybes, buvo atlikti skenuojančios elektroninės mikroskopijos (SEM) bei energijos dispersijos rentgeno spektroskopijos (EDS) tyrimai. Analizei buvo pasirinkti šeši skirtingos sudėties bandiniai, sudaryti iš grikių lukštų pelenų, kavos pupų lukštų, bananų žievių bei papildomų priedų, tokių kaip melasa ar gipsas.

Atliekant tyrimus buvo siekta nustatyti, kaip skirtingas žaliavų santykis ir pridedamas vandens kiekis veikia granuliuotų paviršiaus morfologiją, poringumą, dalelių sukibimą bei pagrindinių elementų (ypač K, P, Ca ir C) pasiskirstymą struktūroje. SEM analizė leido vizualiai įvertinti granuliuotų paviršiaus ypatybes, o EDS metodas suteikė galimybę nustatyti elementinę sudėtį ir įvertinti maistinių medžiagų koncentracijas.

Kadangi granuliavimo procesas iš esmės priklauso nuo dalelių tarpusavio sąveikos ir jų gebėjimo formuoti vientisą struktūrą, šių tyrimų rezultatai leidžia geriau paaiškinti skirtingų sudėčių bandinių granuliavimo ypatumus bei jų mechaninių savybių skirtumus. Gauti duomenys taip pat suteikia pagrindą vertinti, kaip organinės kilmės žaliavos (kavos pupų lukštai, bananų žievės) ir rišamosios medžiagos (melasa, gipsas) veikia granuliuotų struktūrinį stabilumą ir potencialią trąšų vertę.

### 2.1.8. Trąšų granuliavimas

Grikių lukštų pelenų granuliavimas buvo atliktas laboratoriniu būgniniu granulatoriumi-džiovykla (žr. 7 pav.), bandymai daryti naudojant įvairias organinės kilmės žaliavas.



7 pav. Būgninio granulatoriaus schema [31]: 1 – granulatoriaus būgnas; 2 – žaliavų tiekimas; 3 – produkto nubyrimas; 4 – kreipiančiosios mentelės; 5 – elektros variklis; 6 – krumpliaratis; 7 – atraminis ritinys; 8 – karšto oro tiekimas; 9 – termoporos; 10 – valdymo pultas; 11 – būgno pasvirimo kampo fiksatorius

Proceso metu, atsižvelgiant į žaliavų mišinio sudėtį ir jame esančių komponentų savybes bei terminį stabilumą, granuliatoriuje buvo išlaikoma 50-60 °C temperatūra, kurią užtikrino orapūtė, šios temperatūros pakanka vandens išgarinimui ir rišamųjų tiltelių formavimuisi, tačiau nepakanka reikšmingam organinių medžiagų terminiam skilimui. Taip išlaikomos jų rišamosios savybės, ypač polisacharidų ir cukrų pagrindu veikiančių struktūrų. Būgninis granuliatorius yra 0,45 m ilgio ir 0,11 m skersmens, jo pasvirimo kampas pastovus – 3° laipsniai, o sukimosi greitis – 30 aps·min<sup>-1</sup>. Granuliuojimui buvo naudoti 200 g masės sausos žaliavos bandiniai. Optimalus į žaliavų mišinį pridodamo vandens kiekis priklauso nuo žaliavų sudėties bei atskirų komponentų santykio mišinyje.

Iki 20-ojo bandymo frakcionavimui buvo naudotas perforuoto plieno sietas, kuriame buvo 3 mm frakcija, vėliau pakeistas į pintą sietą (3,15 mm frakcija), kas neturėjo įtakos frakcinės sudėties rezultatams, kadangi 2-5 mm frakcija, laikoma kaip prekinė, buvo išlaikyta viso darbo eigoje.

## 2.2. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

### 2.2.1. Cheminė analizė

Grikių lukštų pelenų cheminių analizių rezultatai pateikti 1 ir 2 lentelėse, kavos pupų lukštų – 3 lentelėje, bananų žievių – 4 lentelėje.

Pastaraisiais metais didėja susidomėjimas alternatyviais ir tvariais tręšimo sprendimais, siekiant mažinti mineralinių trąšų naudojimą ir efektyviau panaudoti biomasės atliekas. Vienos iš tokių žaliavų yra grikių lukštų pelenai, bananų žievės bei kavos pupų lukštai, kurie gali būti vertingais augalų maisto medžiagų šaltiniais. GLP cheminė sudėtis, maistinių elementų prieinamumas bei fizikinės savybės gali ženkliai skirtis priklausomai nuo degimo sąlygų ir likutinės organinės medžiagos koncentracijos. Grikių lukštų pelenų, kurie buvo ekstrahuoti vandeniū (žr. 1 lentelę), pH vertė buvo lygi 12. Tai parodo, jog pelenai yra žaliava, pasižyminti šarminėmis savybėmis ir atitinkamai galinti paveikti dirvožemį, priklausomai nuo naudojamo jos kiekio.

**1 lentelė.** Grikių lukštų pelenų cheminė sudėtis

Mėginys	Neorganiniai			pH
	N, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	K <sub>2</sub> O, %	
1 g pelenų ekstrahuota 50 ml H <sub>2</sub> O	-	0,75	4,00	12
1 g pelenų ekstrahuota 50 ml 1:1 HCl	-	31,80	4,57	

Kaip matyti iš 1 lentelėje pateiktų duomenų, grikių lukštų pelenuose azoto nėra. Tirpaus vandenyje fosforo randama 0,75 %, HCl – 31,8 %. Didelis skirtumas tarp vandenyje ir HCl tirpių P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> formų rodo, kad fosforas daugiausia yra mineralinėse, mažai tirpiose fazėse (tikėtina Ca–P junginiuose), kurios dirvožemyje veiktų kaip lėto veikimo fosforo šaltinis. Augalų maisto medžiagos, kuri yra tirpi vandenyje, daugiausia nustatyta kalio – 4 %, HCl tirpale – 4,57 %.

**2 lentelė.** Mineralizuotų grikių lukštų pelenų cheminė sudėtis

Mėginys	Organiniai			
	N, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	K <sub>2</sub> O, %	C, %
1 g pelenų + 20 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	31,03	2,43	35,54
1,5 g pelenų + 20 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	30,05	2,64	
2 g pelenų + 20 ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	26,95	2,74	

Pagal rezultatus pateiktus 2 lentelėje, matoma, jog tirpaus vandenyje fosforo mineralizuotuose mėginiuose nustatyta atitinkamai 27-31 %, o kalio, kuris yra tirpus vandenyje, mineralizuotuose bandiniuose nustatyta atitinkamai apie 2,4-2,7 %. Taip pat, buvo nustatyta organinės anglies koncentracija, kuri lygi – 35,54 %. Ji gali būti laikoma pakankamai didelia, įrodančia, kad pelenai išlaiko dalį nesudegusių organinių likučių, kurie gali turėti įtakos granuliu formavimosi savybėms. Ši likutinė anglies dalis gali veikti kaip natūralus vidinis rišiklis, didinantis dalelių adheziją drėgno granuliavimo metu, tačiau kartu ir didinantis rezultatų variaciją, priklausomai nuo vietinės anglies pasiskirstymo struktūros. Didelė likutinės organinės anglies koncentracija rodo, kad degimo procesas nebuvo visiškai baigtinis arba vyko esant ribotai deguonies koncentracijai. Tokia struktūra granuliavimo požiūriu yra reikšminga, nes dalinai karbonizuota organinė fazė gali veikti kaip mikrostruktūrinis rišiklis, didinantis dalelių paviršiaus šiurkštumą ir kontaktinį plotą. Tačiau kartu tai lemia didesnę medžiagos heterogeniškumą, kas paaiškina vėliau stebėtą granuliu stiprio variaciją. Nors GLP neturi azoto, jų didelė fosforo ir kalio koncentracija leidžia laikyti juos ne universaliais NPK, o specializuota PK tipo trąšų žaliava. Tokia trąšų specializacija praktikoje yra privalumas, nes leidžia lanksčiau derinti maistinių medžiagų balansą pagal dirvožemio poreikius.

Banų žievėse buvo nustatyti tik pėdsakai azoto (žr. 3 lentelę). Atlikus tyrimus nustatyta fosforo koncentracija sudaro 0,5-0,6 %. Didžiausią koncentraciją iš nustatytų augalų pagrindinių maisto medžiagų sudarė kalis, jo tirpaus vandenyje nustatyta – 6,84 %, o HCl ekstrakto – 8,84 %.

### 3 lentelė. Kavos pupų lukštų cheminė sudėtis

Mėginys	NO <sub>3</sub> , %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	K <sub>2</sub> O, %
H <sub>2</sub> O tirpalas	1,65	0,38	2,00
HCl tirpalas	1,65	0,44	3,14

Kavos pupų lukštuose buvo nustatyta ~ 1,65 % nitratinio azoto, jo esti ir vandenyje, ir HCl rūšiuose mėginiuose (žr. 4 lentelę). Fosforo pentoksido nustatyta mažiausia koncentracija, jai sudarant apie – 0,4 %. Vandenyje tirpaus kalio oksido nustatyta 2 %, o HCl tirpale – 3,14 %.

### 4 lentelė. Banų žievių cheminė sudėtis

Mėginys	N, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	K <sub>2</sub> O, %
H <sub>2</sub> O tirpalas	-	0,59	6,84
HCl tirpalas	0,14	0,49	8,84

Iš aukščiau gautų duomenų galima teigti, kad GLP yra daugiausia fosforo ir kalio turinti žaliava, kuri gali būti naudojama kaip PK tipo trąšų komponentas. Nors azoto pelenuose ir nėra, tačiau esamos fosforo bei organinės anglies koncentracijos suteikia pelenams gebėjimą veikti kaip granuliu sukibimą skatinančiam komponentui, ypač esant padidintam drėgniui. Galima pastebėti, kad rūgštinis tirpinimas atpalaiduoja didesnę maistinių elementų koncentraciją, todėl dirvoje, turinčiose silpnai rūgščių terpę, pelenų komponentai būtų geriau prieinami augalams. Skirtumas tarp vandenyje ir HCl tirpinamų formų rodo, kad didelė dalis fosforo ir kalio yra lėčiau augalams prieinamos formose, kurios gali tapti prieinamos tik dirvožemio rūgštėjimo arba mikrobiologinės veiklos metu. Tai leidžia GLP laikyti lėto veikimo trąšų komponentu, mažinančiu išplovimo riziką. Banų žievės galėtų būti naudojamos tais atvejais, kuomet yra reikalinga didesnė, lengviau prieinama kalio koncentracija, kadangi šioje žaliavoje buvo nustatytos tik nedidelės azoto ir fosforo koncentracijos. Kavos pupų lukštai yra vienintelė žaliava turinti azoto, tuo pačiu taip pat turinti ir kitos pagrindinės augalų maisto

medžiagos – kalio. Lyginant organinės kilmės žaliavas, bananų žievės pasižymi didesne kalio koncentracija, o kavos pupų lukštai buvo vienintelė žaliava, kurioje nustatyta reikšminga azoto koncentracija. Taigi technologiniu požiūriu bananai veikia kaip kalio šaltinis ir angliavandeninė rišamoji fazė, tuo tarpu kavos pupų lukštai – kaip struktūrinis užpildas su ribotu azotu.

### **2.2.2. Organinės kilmės žaliavų panaudojimo aktualumas trąšų gamyboje**

Didėjant aplinkosauginiams reikalavimams ir siekiant mažinti susidarančių atliekų kiekius, vis daugiau dėmesio yra skiriama organinės kilmės žaliavų bei maisto pramonės atliekų panaudojimui kuriant pridėtinę vertę turinčius produktus. Viena iš perspektyvių kryptų yra tokių žaliavų naudojimas trąšų gamyboje, taip siekiant efektyviau panaudoti biomasės atliekas bei sumažinti jų šalinimo poreikį.

Organinės kilmės atliekose dažnai randama augalų mitybai svarbių maisto medžiagų, todėl atliekų įtraukimas į granuliuotų trąšų sudėtį gali prisidėti prie žiedinės ekonomikos principų įgyvendinimo. Tokiu būdu maisto ar biomasės atliekos tampa antrine žaliava, kuri gali būti gražinama atgal į biologinį ciklą augalų mitybos grandinėje. Be to, organiniai komponentai gali turėti teigiamą poveikį granuliavimo procesui, veikdami kaip struktūrą formuojančios arba rišamosios medžiagos.

Siekiant įvertinti organinių žaliavų panaudojimo galimybes granuliuotų trąšų gamyboje, buvo atlikti įvairios sudėties bandinių tyrimai, keičiant organinių komponentų santykius, papildomai naudojamų priedų kiekius bei granuliavimo parametrus.

### **2.2.3. Granuliavimo proceso ir granuliuoto produkto privalumai**

Granuliuotos trąšos, lyginant su biriomis medžiagomis, pasižymi geresnėmis fizikinėmis ir eksploatacinėmis savybėmis. Granuliuotas produktas yra homogeniškesnis, mažiau dulka, lengviau sandėliuojamas bei transportuojamas. Taip pat, granulės pasižymi tolygesniu paskleidimu dirvožemyje, todėl augalų maisto medžiagos pasiskirsto efektyviau. Dėl didesnio mechaninio stiprio sumažėja granuliuotų trupėjimo rizika transportavimo ir naudojimo metu.

Granuliavimo procesas svarbus ne tik dėl fizinių produkto savybių pagerinimo, bet ir dėl galimybės sujungti skirtingų sudėčių žaliavas į vientisą produktą. Tai yra ypač aktualu naudojant organinės kilmės bei biomasės atliekų pagrindu sudarytas medžiagas, kurių birumas ar gebėjimas išlaikyti drėgmę apsunkina tiesioginį jų naudojimą. Tinkamai parinkti granuliavimo parametrai leidžia pagerinti tokių medžiagų panaudojimo galimybes trąšų gamyboje.

### **2.2.4. Skirtingų žaliavų sudėčių parinkimas**

Tyrimų metu žaliavų sudėtis buvo keičiama siekiant įvertinti skirtingų organinių komponentų ir priedų įtaką granuliavimo procesui bei galutinėms granuliuotų savybėms. Keičiant grikių lukštų pelenu, kavos pupų lukštų, bananų žievių bei papildomų priedų santykius buvo siekiama nustatyti, kaip skirtinga sudėtis veikia granuliuotų formavimąsi, struktūrą, mechaninį stiprį bei cheminę sudėtį. Taip pat buvo vertinama į žaliavų mišinį pridedamo vandens kiekio ir rišamųjų medžiagų daroma įtaka granuliavimo eigai. Skirtingos sudėtys leido palyginti organinių žaliavų gebėjimą formuoti stabilesnes granules bei nustatyti tinkamiausias sąlygas granuliuotų organinės kilmės trąšų gamybai.

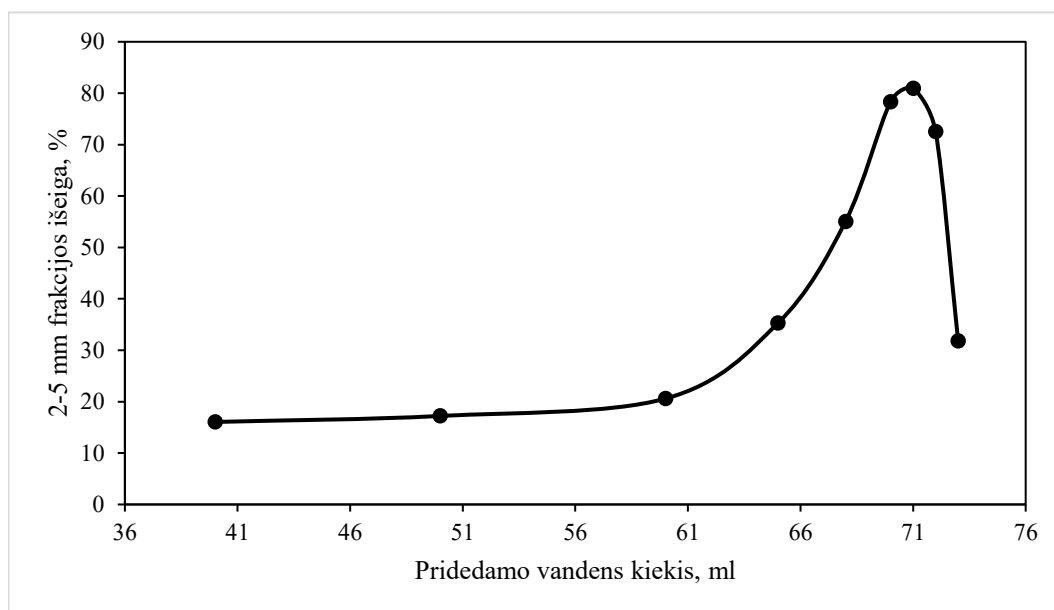
## 2.2.5. Grikių lukštų pelenų granuliavimo rezultatai

Granuliavimo bandymai buvo pradėti naudojant tik grikių lukštų pelenus, siekiant nustatyti jų bazinį elgesį be organinių priedų. Bandymų duomenys rodo (žr. 5 lentelę), kad grynai pelenai formavo trapias granules, kurios lengvai skyla, o dalelių sukibimas buvo ribotas. Masės analizė parodė, kad optimalus vandens kiekis papildantis žaliavų mišinį yra ~70-72 ml, jį naudojant pasiekiami maksimali prekinės frakcijos išeiga, o toliau didinant vandens kiekį pastebėta masės nestabilumo tendencija.

5 lentelė. GLP granuliavimo rezultatai

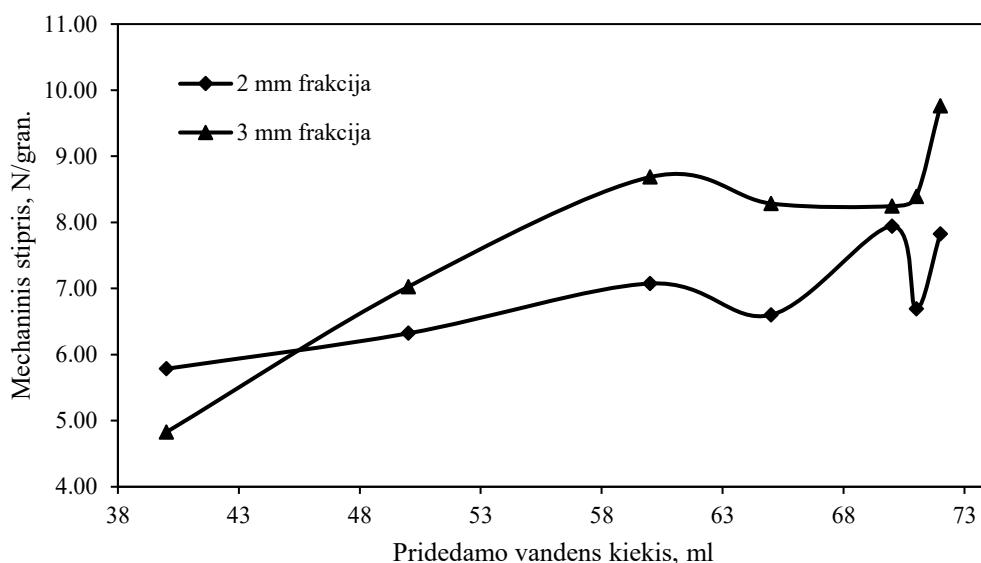
Band. nr.	Kompozicija (pagal masę)	Pradinis mišinio drėgnis, %	Papildomai pridedamo vandens kiekis		Masė po granuliavimo, g	2-5 mm frakcijos išeiga, %	Frakcijos dydis, mm	
			%	ml			2,00	3,00
							Granulės stipris, N/gran.	
1	100 % pelenai	1,00	20	40	204,70	16,05	5,79	4,83
2	100 % pelenai	1,10	25	50	218,17	17,21	6,32	7,03
3	100 % pelenai	2,15	30	60	231,70	20,58	7,08	8,69
4	100 % pelenai	2,00	32,5	65	228,20	35,28	6,60	8,29
5	100 % pelenai	2,00	34	68	231,31	55,05	-	-
6	100 % pelenai	2,00	35	70	214,00	78,34	7,94	8,25
7	100 % pelenai	2,00	35,5	71	201,10	80,95	6,69	8,39
8	100 % pelenai	2,00	36	72	215,16	72,53	7,83	9,76
9	100 % pelenai	2,00	36,5	73	250,00	31,82	-	-

8 paveiksle iliustruota prekinės frakcijos išeigos priklausomybė nuo vandens kiekio papildančio žaliavų mišinį. Kreivė pasižymi „vulkano“ forma: žemas drėgmės kiekis lemia nepilną granulių formavimąsi, optimalus intervalas suteikia geriausią 2-5 mm frakcijos išeigą, o per didelis drėgmės kiekis sukelia granulių deformaciją ir suirimą.



8 pav. Iš GLP gamintų granulių prekinės frakcijos išeigos priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio

Granulių stiprio matavimai parodė didelį duomenų išsibarstymą – dalis granulių pasižymėjo beveik nuliniu stipriu, o kitos pasiekė 9-11 N/gran. reikšmes (žr. 9 pav.).



9 pav. Iš GLP gamintų granulių stiprio priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio

Apskaičiuotos vidutinės vertės buvo nedidelės ir nepastovios, kas rodo nestabilių granulių struktūrinį vientisumą. Toks stiprio variavimas leidžia daryti išvadą, kad grikių lukštų pelenai neturi stabilios plastinės fazės, būtinos vienodam granulių formavimuisi granuliavimo metu. Tokia elgsena būdinga medžiagoms, kuriose vyrauja mineralinė matrica su netolygiai pasiskirsčiusia likutine organine dalimi, lemiančia lokalių jungčių formavimąsi tik atskirose granulių vietose. Aukščiau pateiktame 9 paveiksle pateikti duomenys rodo mechaninio stiprio priklausomybę nuo papildomai į žaliavų mišinį pridedamo vandens kiekio. Matavimo rezultatai buvo registruojami pirmuoju granulės suirimo momentu. Į šią analizę nebuvo įtrauktos nuliniam stipriui priskirtos vertės, todėl pateiktos kreivės atspindi potencialiai pasiekiamą didžiausią vienkomponenčių GLP granulių stiprį optimaliomis vietinėmis formavimosi sąlygomis.

## 2.2.6. Grikių lukštų pelenų ir bananų žievių mišinio granuliavimo rezultatai

Bananų žievės buvo naudojamos kaip organinė žaliava, pasižyminti aukšta cukrų ir polisacharidų koncentracija, šie sudrėkinti, sudaro klampią matricą, kuri džiūstant pereina į kietą, trapų sluoksnį. Dėl to granulės tampa stiprios tik tose vietose, kur rišiklio koncentracija buvo pakankama. Bananų žievės veikia kaip stiprus, bet lokaliai pasiskirstantis organinis rišiklis. Dėl nevienodo cukrų ir polisacharidų pasiskirstymo mišinyje susidaro dvi granulių rūšys:

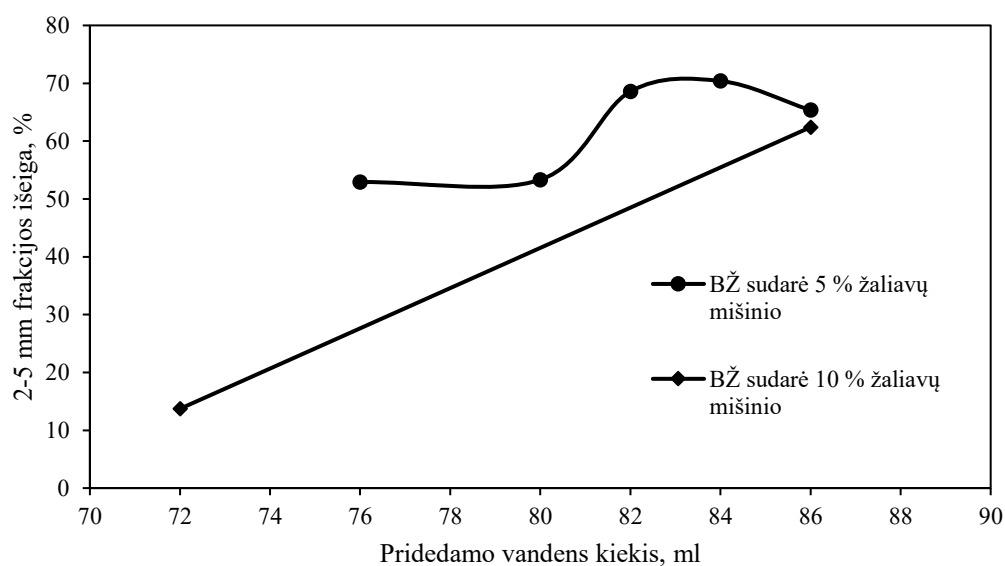
- stiprios granulės, susiformavusios lokaliai žaliavos turtingose zonose;
- silpnos arba nesusiformavusios granulės, kuriose žaliavos koncentracija buvo nepakankama.

GLP ir bananų žievių granuliavimo rezultatai pateikti 6 lentelėje. Vertintas papildomai pridedamo drėgmės kiekio poveikis granulių formavimuisi, granulimetrinei sudėčiai bei mechaniniam stipriui. Tyrimo metu naudoti du skirtingi organinės žaliavos kiekiai pagal masę – 5 % ir 10 % bananų žievių žaliavos.

**6 lentelė.** GLP ir BŽ granuliavimo rezultatai

Band. nr.	Kompozicija (pagal masę)	Pradinis mišinio drėgnis, %	Papildomai pridėdama vandens kiekis		Masė po granuliavimo, g	2-5 mm frakcijos išeiga, %	Frakcijos dydis, mm	
			%	ml			2,00	3,00
							Granulės stipris, N/gran.	
10	95 % pelenai; 5 % bananų žievės	1,00	38	76	247,20	52,92	-	-
11	95 % pelenai; 5 % bananų žievės	2,00	40	80	257,67	53,32	6,42	8,21
12	95 % pelenai; 5 % bananų žievės	2,00	41	82	237,90	68,57	-	-
13	95 % pelenai; 5 % bananų žievės	1,00	42	84	245,10	70,39	-	15,18
14	95 % pelenai; 5 % bananų žievės	1,00	43	86	241,90	65,35	-	-
15	90 % pelenai; 10 % bananų žievės	2,00	36	72	237,73	13,72	-	-
16	90 % pelenai; 10 % bananų žievės	2,00	43	86	232,40	62,40	7,29	9,34

Iš pateiktų rezultatų matyti, kad papildomai pridėto vandens kiekis turėjo esminę įtaką granulių kokybei ir frakcinės sudėties pasiskirstymui. Didžiausia 2-5 mm frakcijos išeiga nustatyta bandiniuose, kurių papildomai pridėto vandens kiekis siekė 82-84 ml. Naudojant 5 % bananų žievių priedą, šios frakcijos išeiga padidėjo iki 68,57-70,39 % (žr. 10 pav.), tuo tarpu mažesnio arba didesnio drėgmės kiekio atvejais granulių struktūra tapo mažiau stabili.



**10 pav.** Iš GLP ir BŽ gamintų granulių prekinės frakcijos išeigos priklausomybė nuo pridėdama vandens kiekio

Granulių stiprio rezultatai parodė, kad organinės žaliavos įterpimas gali pagerinti atskirų granulių mechanines savybes. Bananų žievės dėl sudėtyje esančių cukrų ir polisacharidų veikė kaip surišamoji medžiaga, tačiau jų poveikis nebuvo tolygus visoje masėje. Dėl šios priežasties susidarė nevienalytė granulių struktūra – dalis granulių išsiskyrė didesniu stipriu, kuomet 4-5 granulės siekė 40 N/gran. vertes, o kita dalis liko silpnesnė ir lengviau suyranti, didesnę dalį fiksuojant kaip 0 N/gran.

Didžiausios stiprio reikšmės nustatytos pavienėse granulėse, susiformavusiose lokaliai organinės medžiagos turtingose zonose.

Vizuali granulių išvaizda yra pateikta 11 pav. Nuotraukoje matomos 13 bandinio granulės, atskirtos per skirtingų dydžių sietus. Granulės pasižymi šviesiai pilka-rusva spalva ir gana netaisyklinga, tačiau daugiausia apvalinta forma.



11 pav. 13 bandinio granulės

Mažesnės frakcijos granulės yra tolygesnės ir homogeniškesnės, o didesnės frakcijos granulėse pastebimas nelygus paviršius bei didesnė formų įvairovė. Granulių struktūra išlieka pakankamai vientisa, be ryškių skilimų ar suirimo požymių.

### 2.2.7. Griklių lukštų pelenų ir kavos pupų lukštų mišinio granuliavimo rezultatai

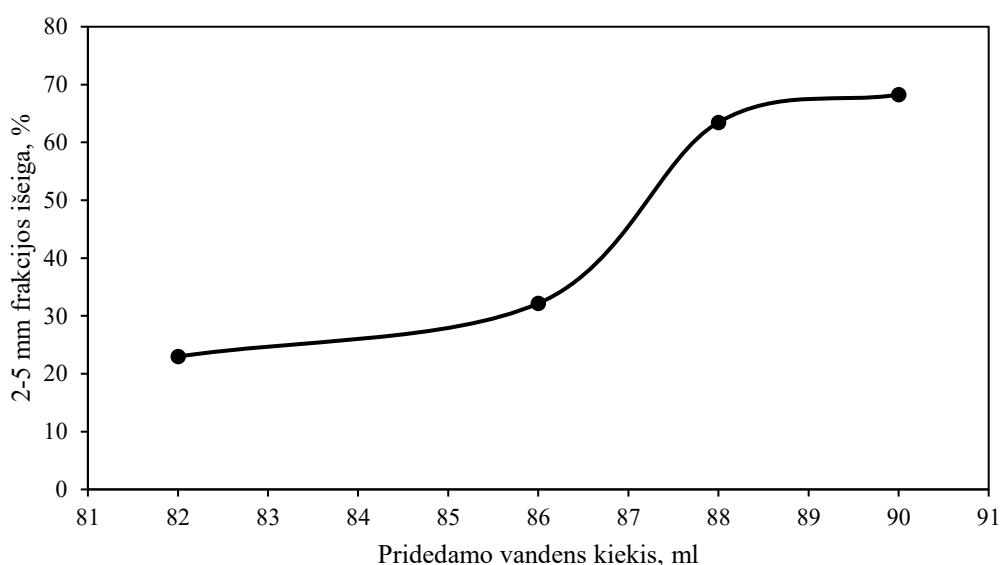
Kavo pupų lukštai (KVP) buvo pasirinkti dėl jų organinės kilmės bei praktinio prieinamumo rinkoje, kadangi šios atliekos susidaro dideliais kiekiais kavos pramonėje ir yra lengviau prieinamos praktiniam naudojimui lyginant su bananų žievėmis.

7 lentelė. GLP ir KVP granuliavimo rezultatai

Band. nr.	Kompozicija (pagal masę)	Pradinis mišinio drėgnis, %	Papildomai pridedomo vandens kiekis		Masė po granuliavimo, g	2-5 mm frakcijos išėiga, %	Frakcijos dydis, mm	
			%	ml			2,00	3,00
							Granulės stipris, N/gran.	
17	95 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai	1,40	41	82	245,50	22,97	-	-
18	95 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai	1,40	43	86	228,60	32,17	-	-
19	95 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai	1,40	44	88	219,70	63,46	-	-
20	95 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai	1,40	45	90	216,40	68,25	-	5,07

Granulių stiprio analizei buvo parinktas didžiausią prekinės frakcijos išėigą turėjęs bandinys, fiksuotuose rezultatuose gauta, jog 4 traiškytos granulės pasižymėjo vertėmis apie 15-20 N/gran., o likusioms nustatytos 0 N/gran. vertės, kas lėmė stiprio vidurkį matomą 7 lentelėje. Eksperimentai parodė, kad pridėjus 5 % kavos pupų lukštų buvo stebimas tas pats stiprio polinkis kaip ir naudojant bananų žieves, išsilaikantis mechaninio stiprio nepastovumas.

Pridėjus į žaliavų mišinį 82-86 ml vandens vyravo smulkesnės ir nevysiškai susiformavusios granulės, todėl 2-5 mm frakcijos išeiga išliko palyginti maža. Padidinus drėgmę iki 88-90 ml, prekinės frakcijos išeiga ženkliai padidėjo ir pasiekė daugiau kaip 60 %, kas rodo geresnę dalelių sukibimą granuliavimo metu. Ši tendencija aiškiai matoma 12 pav., kuriame pateikta prekinės frakcijos išeigos priklausomybė nuo pridedamo drėgmės kiekio. Kreivė rodo nuosaikų granulių išeigos didėjimą iki 86 ml pridėto vandens kiekio, o vėliau stebimas ryškesnis šuolis. Iš to galima spręsti, kad mišiniui reikalingas didesnis vandens kiekis tam, kad susidarytų pakankamai plastiška masė stabilų granulių formavimuisi. Taip yra dėl purios, sausų kavos pupų lukštų prigimties, dėl to šis komponentas veikia kaip dalinis plastifikatorius, o stebimas stiprio nestabilumas rodo, kad kavos pupų lukštai labiau prisideda prie pradinio granulių formavimosi etapo, tačiau neužtikrina pakankamo mechaninio sutvirtėjimo džiovavimo metu. Skirtingai nei bananų atveju, kavos pupų lukštų struktūroje dominuoja lignoceliuliozinė matrica, kuri mažiau tirpsta ir nesudaro klampios rišamosios fazės, todėl jų poveikis labiau pasireiškia kaip mechaninis užpildas nei tikras rišiklis.



**12 pav.** Iš GLP ir KVP gamintų granulių prekinės frakcijos išeigos priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio

Kaip galima matyti iš 13 paveikle esančių 20 bandinio granulių, smulkiausios prekinės frakcijos granulės pasižymi gana vienodu dydžiu ir tankesniu pasiskirstymu, o didesnės yra labiau netaisyklingos formos, su grubesniu paviršiumi. Visų frakcijų granulės išlaiko panašią šviesiai rusvą spalvą, būdingą mišinyje esančiai organinei žaliavai. Pagal pateiktą bandinio nuotrauką, taip pat galima matyti, kad stambesnės granulės yra mažiau homogeniškos formos, kas sutampa su nustatytu nevienodu mechaniniu stipriu.



13 pav. 20 bandinio granulės

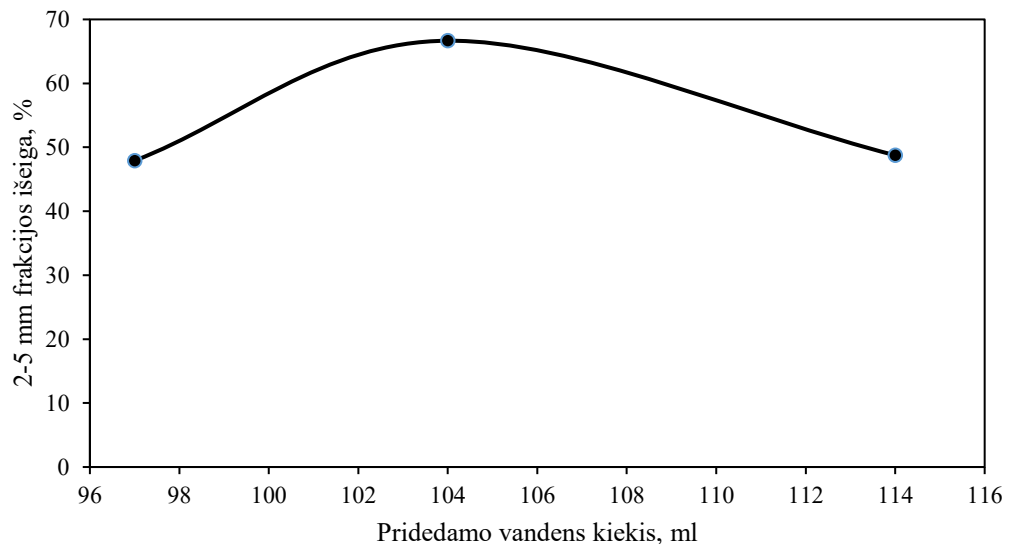
### 2.2.8. Grikių lukštų pelenų, kavos pupų lukštų bei bananų žievių mišinio granuliavimo rezultatai

Grikių lukštų pelenų, kavos pupų lukštų bei bananų žievių mišinio granuliavimo rezultatai leidžia įvertinti, kaip skirtingos organinės kilmės žaliavos tarpusavyje sąveikauja granuliavimo procese. Lyginant su ankstesniais rezultatais, pateiktais GLP ir BŽ bei GLP ir KVP sistemose, galima pastebėti, kad trijų komponentų sistema pasižymi kiek kitokia granuliavimo dinamika. 8 lentelėje pateikti rezultatai rodo, kad 2-5 mm prekinės frakcijos išėiga daugeliu atvejų buvo mažesnė nei dviejų komponentų mišiniuose.

8 lentelė. GLP, KVP ir BŽ granuliavimo rezultatai

Band. nr.	Kompozicija (pagal masę)	Pradinis mišinio drėgnis, %	Papildomai pridedamo vandens kiekis		Masė po granuliavimo, g	2-5 mm frakcijos išėiga, %	Frakcijos dydis, mm	
			%	ml			2,00	3,15
21	90 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai; 5 % bananų žievės	2,20	48,5	97	258,00	47,92	-	3,42
22	90 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai; 5 % bananų žievės	2,40	52	104	233,20	66,67	-	-
23	90 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai; 5 % bananų žievės	2,40	57	114	236,30	48,75	-	-

Kaip matyti 14 paveiksle, didinant pridedamo vandens kiekį prekinės frakcijos išėiga pradžioje didėja, tačiau pasiekus tam tikrą ribą pradeda mažėti. Tai tiesiogiai siejama su didesne nei peleninės kilmės žaliavos dalimi mišinyje. Kavos pupų lukštai ir bananų žievės pasižymi poringa, pluoštine struktūra bei didesniu vandens sugėrimu, todėl granuliavimo procese reikalingas didesnis drėkinimas, siekiant užtikrinti pakankamą dalelių sukibimą.



**14 pav.** Iš GLP, KVP bei BŽ gamintų granulių prekinės frakcijos išeigos priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio

Vertinant granuliavimo efektyvumą galima laikyti, kad geri rezultatai pasiekiami tuomet, kai 2-5 mm frakcija sudaro apie 60 % ar daugiau viso produkto. Trijų komponentų sistemoje ši riba buvo pasiekama sunkiau nei naudojant tik vieną KVP ar BŽ komponentą. Tai rodo, kad didesnis organinių komponentų kiekis ne visada lemia geresnę granulių formavimąsi.

Taip pat nustatyta, kad per didelis drėgmės kiekis neigiamai veiks granulių kokybę. Esant didesniam drėkinimui buvo stebimas smulkesnių, bet ir priešingai, per stambių, netaisyklingų granulių susidarymas, todėl mažėjo tikslinės 2-5 mm frakcijos išeiga. Tai rodo, kad trijų komponentų sistemoje granuliavimo procesas tampa jautresnis drėgmės kiekiui ir reikalauja tikslesnio parametru parinkimo.

Kaip galima matyti iš 15 paveiksle pateiktų 22 bandinio granulių, susiformavusios granulės pasižymi gana nevienodu dydžiu ir forma. Smulkesnės granulės yra artimesnės sferinei formai, tuo tarpu stambesnės granulės turi grubesnę paviršių bei netaisyklingesnę struktūrą. Vyrauja šviesiai rusva granulių spalva, kuri susijusi su mišinyje esančiais BŽ ir KVP komponentais. Dalis granulių atrodo porėtos ir mažiau homogeniškos, kas gali būti siejama su nevienodu organinių komponentų pasiskirstymu mišinyje bei didesniu drėgmės poreikiu.



**15 pav.** 22 bandinio granulės

Nors organinių žaliavų derinimas leidžia formuoti sudėtingesnę ir potencialiai palankią granuliu struktūrą, didesnė organinių komponentų dalis apsunkina stabilios 2-5 mm frakcijos susidarymą. Tai rodo, kad vien organinių atliekų derinimo nepakanka užtikrinti aukštą granuliu kokybę, todėl būtina papildomai optimizuoti rišiklių kiekį bei granuliavimo parametrus.

### 2.2.9. Granuliavimo rezultatai naudojant melasą kaip rišiklį

Ankstesnių granuliavimo bandymų metu dalis gautų granuliu pasižymėjo nepakankamu mechaniniu stipriu bei prastesniu dalelių sukibimu. Dėl šios priežasties buvo ieškoma papildomų rišamųjų medžiagų, galinčių pagerinti granuliu formavimąsi. Vienu iš parinktų rišiklių buvo melasa, tai cukraus pramonėje susidarantis šalutinis produktas, pasižymintis dideliu klampumu bei organinių junginių koncentracija. Melasa dažnai naudojama biomasės granuliavimo procesuose dėl gebėjimo pagerinti dalelių sukibimą bei sumažinti granuliu trupėjimą formavimo metu.

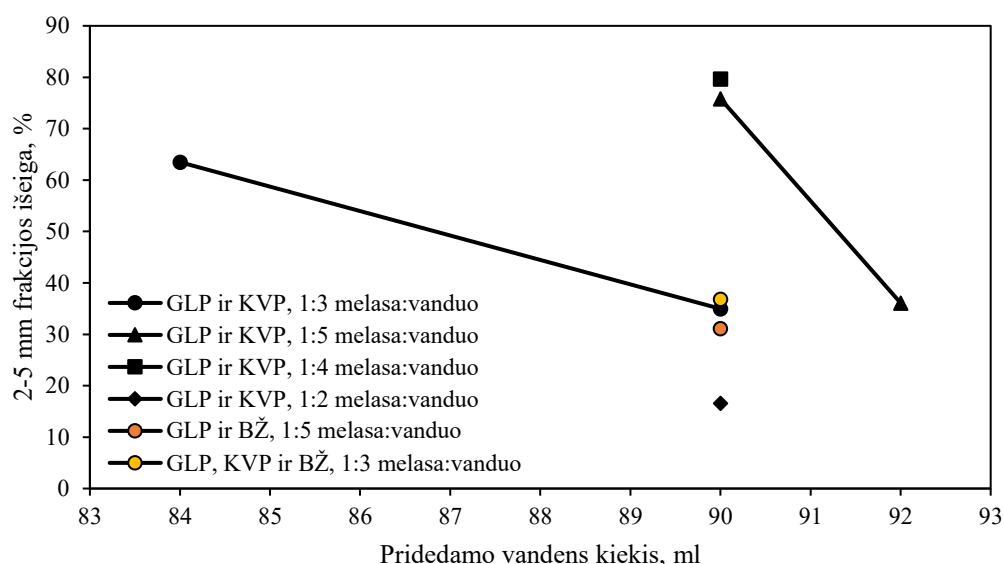
Šiam tyrimui melasa buvo naudojama siekiant įvertinti galimą jos įtaką granuliu formavimuisi, struktūrai bei mechaninėms savybėms. Bendrai buvo atlikti bandiniai šiomis žaliavų kombinacijomis: GLP su 5 % kavos pupų lukštų, GLP su 5 % bananų žievių bei GLP su 5 % bananų žievių ir 5 % kavos pupų lukštų mišiniu. Šiems mišiniams buvo taikomi skirtingų melasos : vandens santykių tirpalai, jiems kintant nuo 1:5 iki 1:2. Melasa atliko tiek drėkinimo, tiek organinio rišiklio funkciją.

9 lentelėje pateikti rezultatai rodo, kad melasos naudojimas pagerino mišinio homogeniškumą bei granuliu formavimąsi. Kaip matyti 16 paveiksle, nustatyti atvejai kuomet 2-5 mm frakcijos išėiga viršijo 60 %, todėl galima teigti, kad melasa turėjo teigiamą poveikį dalelių sukibimui granuliavimo metu. Lyginant su ankstesniais bandiniais be rišiklio, granulės formavosi tolygiau, o smulkių dalelių kiekis sumažėjo.

9 lentelė. GLP, KVP bei BŽ granuliavimo rezultatai naudojant melasą

Band. nr.	Kompozicija (pagal masę)	Pradinis mišinio drėgnis, %	Papildomai pridedamo vandens kiekis		Masė po granuliavimo, g	2-5 mm frakcijos išėiga, %	Melasos santykis su vandeniu	Frakcijos dydis, mm	
			%	ml				2,00	3,15
								Granulės stipris, N/gran.	
24	95 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai	7,50	42	84	226,00	63,48	1:3	-	0,00
25	95 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai	7,50	45	90	199,80	75,82	1:5	-	2,70
26	95 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai	7,50	45	90	177,00	79,64	1:4	-	2,60
27	95 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai	7,50	45	90	160,00	34,96	1:3	-	1,63
28	95 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai	7,50	45	90	186,80	16,60	1:2	-	0,63

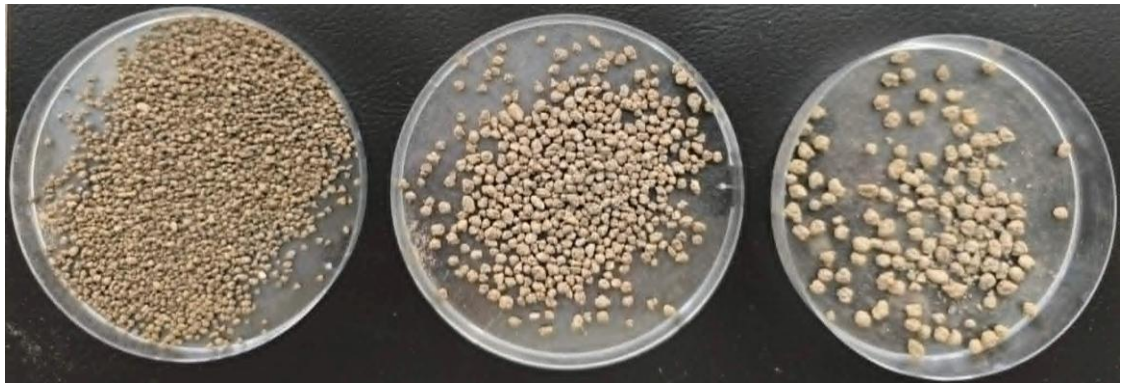
29	95 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai	7,50	46	92	202,16	36,11	1:5	-	-
30	95 % pelenai; 5 % bananų žievės	7,50	45	90	275,32	31,06	1:5	-	-
31	90 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai; 5 % bananų žievės	7,50	45	90	207,63	36,85	1:3	4,62	9,36



**16 pav.** Granulių prekinės frakcijos išeigos priklausomybė nuo pridedamo vandens kiekio, su įvairiomis žaliavų mišinių kombinacijomis bei skirtingais melasa : vanduo tirpalų santykiais

Tačiau granulių mechaninio stiprio rezultatai parodė, kad nors melasa sumažino stiprio rezultatų išsibarstymą, bendras mechaninis atsparumas išliko nepakankamas. Pagal nustatytą stiprio reikšmių pasiskirstymą matyti, kad apie 80-90 % granulių buvo būdingas mažas arba nulinės vertės stipris, kuomet kita dalis granulių siekė 5-15 N/gran., tik pavieniams bandiniams priartėjant prie 20 N/gran. ribos. Vienas geresnių rezultatų buvo gautas naudojant GLP, KVP ir BŽ mišinį su 1:3 melasos : vandens santykio tirpalu, kai 3,15 mm frakcijos granulių vidutinis stipris siekė apie 9 N/gran., o beveik pusė granulių pasižymėjo didesniu nei 10 N/gran. stipriu. Nepaisant to, likęs granulių kiekis vis tiek turėjo 0 N/gran. reikšmes, todėl bendras mechaninis stabilumas išliko ribotas.

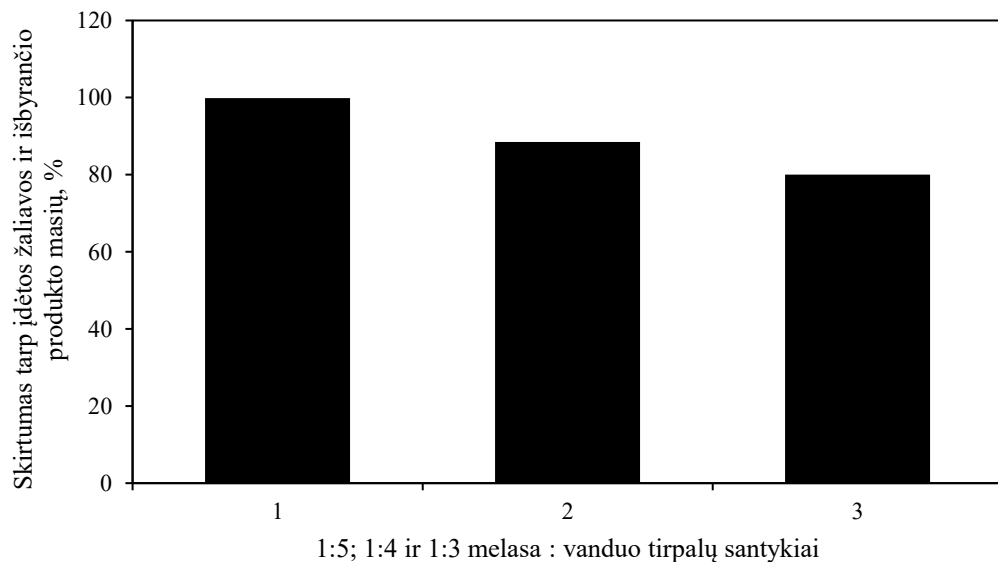
Kaip galima matyti pagal 17 paveiksle pateiktas 31 bandinio granules, jos pasižymi gana tolygia forma bei vientisesniu paviršiumi nei bandiniuose be melasos. Dalis granulių yra artimos sferinei formai, jų paviršius lygesnis, o spalva artimesnė tamsesnei, rusvai rudai, kuri yra būdinga pačiai melasai.



17 pav. 31 bandinio granulės

Viena iš reikšmingų technologinių problemų, pastebėtų naudojant melasą kaip rišiklį, buvo mišinio lipnumo padidėjimas, kuris turėjo tiesioginę įtaką produkto išeigai iš granuliuotuvio. Siekiant kiekybiškai įvertinti šį reiškinį, buvo lyginama į granuliuotuvį įkrautos žaliavos masė su iš būgno išbyrėjusio produkto mase. Skirtumas tarp šių verčių buvo laikomas masės dalimi, kuri liko prilipusi prie būgno sienelių.

Kaip matyti 18 paveiksle, nustatyta aiški priklausomybė tarp vandens:melasos tirpalo koncentracijos ir išbyrėjusios produkto masės dalies. Esant mažiausiai melasos koncentracijai (1:5), iš granuliuotuvio išbyrėjo beveik visa įkrauta masė, rodanti minimalų lipnumo poveikį. Padidinus melasos dalį iki 1:4, stebėtas apie 15 % išbyrėjusios masės sumažėjimas, o naudojant 1:3 tirpalą, nustatytas dar papildomas maždaug 15 % sumažėjimas. Tai rodo, kad didėjant melasos koncentracijai, didėja mišinio adhezija prie granuliuotuvio paviršių.



18 pav. Vandens:melasos tirpalo koncentracijos įtaka produkto išbyrėjimui

Šis reiškinys paaiškinamas melasos sudėtyje esančiais cukrais ir tirpiaisiais organiniais junginiais, kurie sudrėkintoje būsenoje sudaro klampią, didelio paviršiaus įtempimo fazę. Tokia fazė palengvina granuliuotuvio formavimąsi, tačiau tuo pačiu didina dalelių sukibimą su įrenginio sienelėmis. Dėl to dalis medžiagos nepatenka į galutinį produktą ir lieka granuliuotuvio viduje, mažindama proceso išeigą

bei didindama valymo poreikį. Technologiniu požiūriu šis efektas yra nepageidaujamas, nes didesnis lipnumas lemia sumažėjusį proceso produktyvumą, galimą granulatoriaus apkrovos netolygumą bei papildomas eksploatacines sąnaudas dėl įrenginio valymo. Taigi, nors melasa pagerina mišinio homogeniškumą ir gali veikti kaip efektyvus rišiklis, jos koncentracija turi būti ribojama, siekiant išlaikyti priimtina masės išėigą ir proceso stabilumą.

### 2.2.10. Granuliavimo rezultatai naudojant gipsą kaip rišiklį

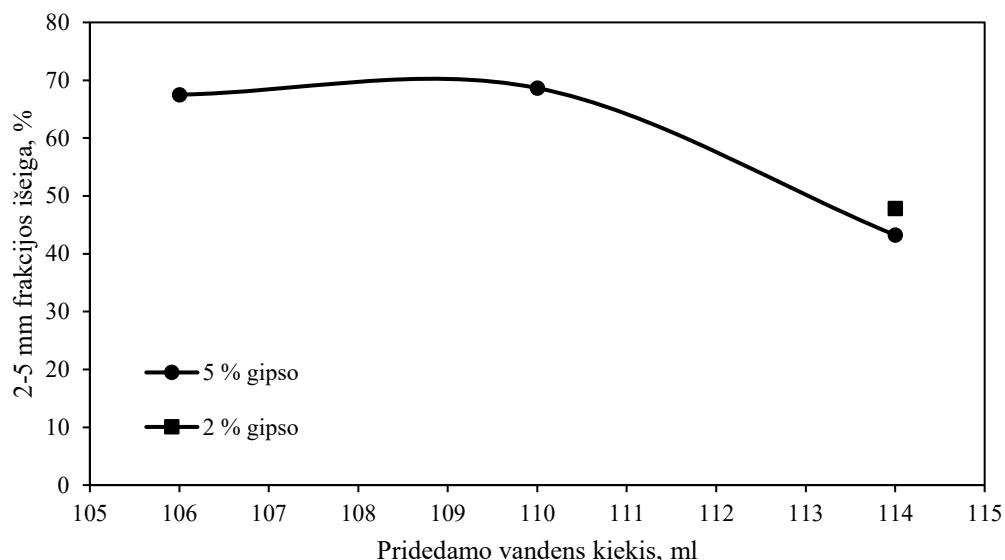
Gipsas, naudojamas kaip rišiklis, buvo įtrauktas į bendrą žaliavų mišinio sudėtį, siekiant pagerinti granulių formavimosi procesą ir jų mechaninį stabilumą. Pradiniame etape buvo atliktas bandymas naudojant 2 % gipso pagal masę, o vėlesniuose bandymuose jo kiekis padidintas iki 5 %. Ši riba pasirinkta todėl, kad naudojant didesnę gipso kiekį jis jau būtų laikomas nebe rišikliu, o atskira žaliava, reikšmingai keičiančia viso mišinio sudėtį.

10 lentelėje pateikti granuliavimo rezultatai rodo, kad gipso įtraukimas turėjo teigiamos įtakos granulių formavimuisi. Bandymai buvo atliekami naudojant GLP, kavos pupų lukštų ir bananų žievių mišinius, kurių granuliavimo rezultatai anksčiau buvo aptarti skyriuje apie trijų komponentų sistemas be papildomo rišiklio.

**10 lentelė.** GLP, KVP ir BŽ granuliavimo rezultatai naudojant gipsą

Band. nr.	Kompozicija (pagal masę)	Pradinis mišinio drėgnis, %	Papildomai pridedamo vandens kiekis		Masė po granuliavimo, g	2-5 mm frakcijos išėiga, %	Gipso kiekis, %:	Frakcijos dydis, mm	
			%	ml				2,00	3,15
								Granulės stipris, N/gran.	
32	88 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai; 5 % bananų žievės	7,50	57	114	232,40	47,85	2,00	-	1,81
33	85 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai; 5 % bananų žievės	7,50	53	106	244,30	67,51	5,00	-	-
34	85 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai; 5 % bananų žievės	7,50	55	110	265,90	68,64	5,00	-	3,74
35	85 % pelenai; 5 % kavos pupų lukštai; 5 % bananų žievės	7,50	57	114	225,60	43,23	5,00	-	-

Kaip matyti 19 paveiksle, didėjant drėgmės kiekiui 2-5 mm frakcijos išėiga pradžioje didėjo, o pasiekus optimalią ribą vėliau pradėjo mažėti. Kreivė išlaiko būdingą „optimumo“ tipo priklausomybę. Maksimali prekinės frakcijos išėiga buvo pasiekta į mišinį pridėjus maždaug 106-110 ml vandens ir siekė apie 67-68 %, todėl viršijo orientacinę ~60 % ribą, laikomą geru granuliavimo rezultatu.



**19 pav.** Iš GLP, KVP, BŽ ir gipso gamintų granulių prekinės frakcijos išeigos priklausomybė nuo pridamo vandens kiekio

Lyginant su trijų komponentų sistema be gipso galima pastebėti, kad rišiklio įtraukimas pagerino dalelių sukibimą bei granulių formavimosi stabilumą. Tai ypač svarbu, nes organinių komponentų turintys mišiniai pasižymi didesniu poringumu ir nevienalytiškumu, todėl be papildomo rišiklio granulių formavimasis yra mažiau efektyvus. Gipso naudojimas leido sumažinti smulkių dalelių kiekį ir padidino 2-5 mm frakcijos išeigą.

Vis dėlto per didelis drėgmės kiekis išliko neigiamu veiksniu. Esant maždaug 114 ml pridėto vandens kiekiui 2-5 mm frakcijos išeiga pradėjo mažėti, nes granulės tapo per minkštos, linkusios deformuotis bei formavosi žymiai stambesnės, netaisyklingos formos. Tai rodo, kad net ir naudojant gipsą granuliavimo procesas išlieka jautrus drėgmės kiekiui.

Kaip galima matyti 20 paveiksle pateiktose 34 bandinio granulėse, šios pasižymi gana tolygia forma. Dalis granulių yra artimos sferinei formai, jų paviršius mažiau netolygus nei bandiniuose be rišiklio. Atsikartoja pilkšvai rusva spalva kaip ir praeituose bandiniuose. Granulių paviršius atrodo vientisesnis, o atskirų dalelių suirimo požymių stebima mažiau.



**20 pav.** 34 bandinio granulės

Analizuojant mechaninio stiprio rezultatus nustatyta, kad kai kurių bandinių granulės pasižymėjo didesnėmis stiprio reikšmėmis nei analogiški bandiniai be rišiklio. Buvo fiksuojamos pavienės 9-15 N/gran. stiprio vertės, tačiau bendras rezultatų pasiskirstymas išliko gana nevienodas. Dalis granulių vis dar buvo trapios ir lengvai suirdavo mechaninio poveikio metu.

Gauti rezultatai rodo, kad gipsas efektyviau stabilizuoja granulių struktūrą nei vien organinių komponentų naudojimas. Tikėtina, kad gipso mineralinė sudėtis prisideda prie tankesnės granulių struktūros susidarymo bei geresnio dalelių tarpusavio sukibimo. Tačiau vien tik gipso naudojimo nepakanka siekiant užtikrinti aukštą ir stabilų mechaninį granulių stiprį.

### **2.2.11. Granuliavimo proceso metu pagamintų trąšų mechaninis stipris**

Granulių mechaninio stiprio rezultatai parodė, kad granulių atsparumas stipriai priklausė nuo žaliavų sudėties bei naudojamų rišiklių. Didesnė dalis tirtų granulių pasižymėjo palyginti mažu mechaniniu stipriu, tačiau tarp skirtingų sistemų buvo stebimi aiškūs skirtumai.

Vien grikių lukštų pelenų pagrindu pagamintos granulės pasižymėjo silpniausiu mechaniniu atsparumu. Didelė dalis granulių lengvai trupėjo mechaninio poveikio metu, o stiprio rezultatų išsibarstymas buvo didelis. Tai rodo, kad vien šios žaliavos neužtenka, kad susidarytų pakankamai stiprios jungtys granulių viduje.

Naudojant bananų žieves bei kavos pupų lukštus buvo stebimas tam tikras mechaninio stiprio pagerėjimas. Organiniai komponentai pagerino dalelių sukibimą granuliavimo metu, todėl dalis granulių tapo tankesnės ir mažiau trapios. Geresni rezultatai buvo gauti naudojant kavos pupų lukštus, nes šis priedas efektyviau prisidėjo prie pradinio granulių formavimosi. Tačiau bendras granulių stipris išliko nepakankamas, o didelė dalis granulių vis tiek pateko į mažo stiprio intervalą.

Trijų komponentų sistemoje (GLP, KVP ir BŽ) granulių formavimasis buvo stabilesnis, tačiau mechaninio stiprio rezultatai išliko gana nepastovūs. Nors dalis granulių pasižymėjo didesniu atsparumu, bendras rezultatų pasiskirstymas rodo, kad organinių komponentų derinimas savaimė neužtikrina pakankamo granulių mechaninio stabilumo.

Geriausi mechaninio stiprio rezultatai buvo gauti naudojant melasą kaip rišiklį. 31 bandinio atveju beveik pusė granulių pasiekė 10-20 N/gran. stiprio reikšmes. Melasa pagerino dalelių sukibimą bei leido formotis tankesnėms granulėms. Tačiau net ir šiuo atveju didelė dalis granulių išliko mažo stiprio, todėl mechaninės savybės nebuvo pakankamai stabilios visai granulių masei.

Naudojant gipsą taip pat buvo stebimas mechaninio stiprio pagerėjimas. Gipsas stabilizavo granulių struktūrą bei sumažino trapumą, tačiau gauti rezultatai buvo mažiau ryškūs nei naudojant melasą. Dalis granulių pasižymėjo vidutiniu mechaniniu atsparumu, tačiau bendras stiprio lygis išliko nepakankamas kokybiškoms granuliuotoms trąšoms.

Nei organinės kilmės žaliavų maišymas, nei papildomų rišiklių įterpimas neužtikrino pakankamai aukšto ir stabilaus granulių mechaninio stiprio. Nors tam tikri pagerėjimai buvo pasiekti naudojant melasą ir gipsą, dauguma granulių vis dar pasižymėjo per mažu atsparumu mechaniniam poveikiui.

### **2.2.12. Granuliavimo rezultatų aptarimas**

Apibendrinant granuliavimo rezultatus galima pastebėti, kad visose tirtose sistemose granulių formavimasis vyko panašiu principu. Kaip matyti 8, 10, 12, 14, 16 ir 19 paveiksluose, didėjant

drėgmės kiekiui 2-5 mm frakcijos išeiga iš pradžių didėjo, pasiekdavo optimalią ribą, o vėliau vėl mažėdavo. Tokia priklausomybė sudarė būdingą „vulkano“ tipo kreivę, kuri buvo stebima beveik visuose bandiniuose. Tai rodo, kad visoms sistemoms egzistuoja optimalus drėgmės intervalas, kuriame granulių formavimasis yra efektyviausias.

Lyginant skirtingas žaliavų sistemas nustatyta, kad didesnis organinių komponentų kiekio naudojimas pagerino granulių formavimąsi bei jų išvaizdos kokybiškumą. Kavos pupų lukštai ir bananų žievės prisidėjo prie geresnio dalelių sukibimo, todėl granulės tapo vientisesnės ir artimesnės sferinei formai. Ypač tai buvo pastebima trijų komponentų sistemoje bei naudojant melasą. Šiuose bandiniuose granulės pasižymėjo lygesniu paviršiumi, tankesne struktūra bei mažesniu smulkių dalelių kiekiu.

Labiau kokybiška granulių išvaizda ne visada reiškė geras mechanines savybes. Nors kai kurie bandiniai pasižymėjo gana taisyklinga forma ir stabilia granuliavimo eiga, daugumos granulių mechaninis stipris išliko nepakankamas. Tai rodo, kad granulių vidinė struktūra buvo nepakankamai stipri, net jei išoriškai granulės atrodė tinkamai.

Melasos naudojimas labiausiai pagerino granulių formavimąsi ir dalelių sukibimą. Tačiau kartu buvo stebimas ryškus mišinio lipnumo padidėjimas. Didėjant melasos koncentracijai dalis mišinio prilipdavo prie granulatoriaus sienelių, todėl mažėjo produkto išeiga bei blogėjo proceso stabilumas. Tuo tarpu gipsas veikė stabiliau, jo naudojimas pagerino granulių formavimąsi bei sumažino trapumą, tačiau padaryta įtaka mechaniniam stipriui buvo mažesnė nei kuomet buvo įmaišoma melasa.

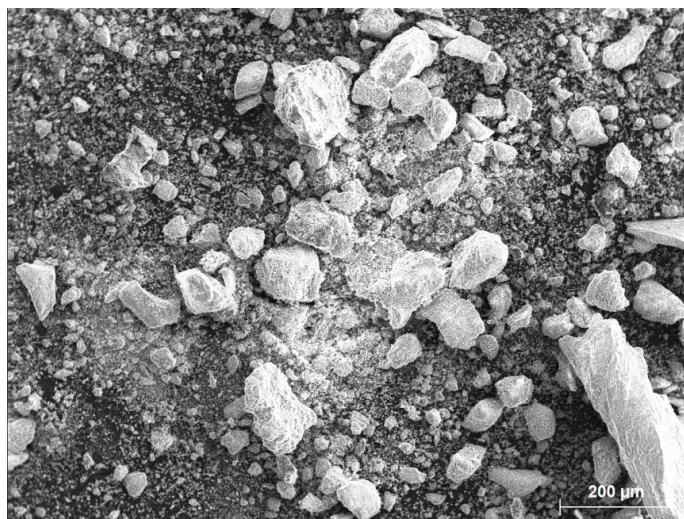
Iš atliktų granuliavimo bandymų kaip geriausi buvo atrinkti bandiniai nr. 13, 20, 22, 31 ir 34. Iš jų bandiniai nr. 13, 20, 22 ir 34 pasižymėjo didesne 2-5 mm frakcijos išeiga (~65-70 %), o bandiniai nr. 31 ir 34 išsiskyrė stabilesniu granulių formavimusi.

Bandiniai nr. 13, 20 ir 22 buvo atrinkti kaip vieni geriausių granuliavimo rezultatų be papildomų rišiklių. Tuo tarpu bandiniai nr. 31 ir 34 buvo pasirinkti siekiant įvertinti melasos ir gipso įtaką granulių struktūrai, dalelių sukibimui bei mechaninėms savybėms. Bandinys nr. 31 pasižymėjo pakankamai dideliu mechaniniu stipriu (~9 N/gran.) bei tolygesniu granulių stiprio pasiskirstymu.

Atrinkti bandiniai buvo toliau analizuojami SEM ir EDS metodais, siekiant detaliau įvertinti granulių paviršiaus struktūrą bei elementinę sudėtį.

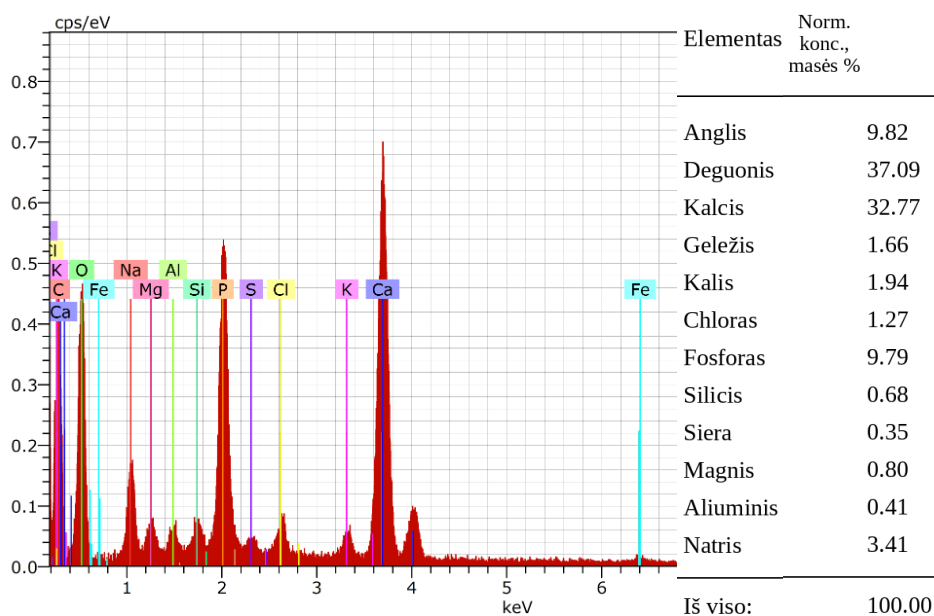
### **2.2.13. Grikių lukštų pelenų žaliavos mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė**

Šis tyrimas buvo atliktas tik iš grikių lukštų pelenų žaliavai, į kurią nebuvo įterpta jokių papildomų organinių žaliavų ar priedų. Šio bandinio mikroskopinis vaizdas pateiktas 21 paveiksle.



**21 pav.** Grikių lukštų pelenų žaliavos mikroskopinis vaizdas

Mikroskopinė analizė parodė, kad žaliavos struktūra yra gana vientisa, tačiau kartu matomas didelis smulkių mineralinių dalelių kiekis. Paviršius atrodo gana tankus ir mažiau pluoštinis nei bandiniuose su kitomis organinės kilmės žaliavomis. Tai gali būti siejama su tuo, kad GLP daugiausia sudaryti iš mineralinės kilmės dalelių. Elementinės analizės rezultatai pateikti 22 paveiksle.



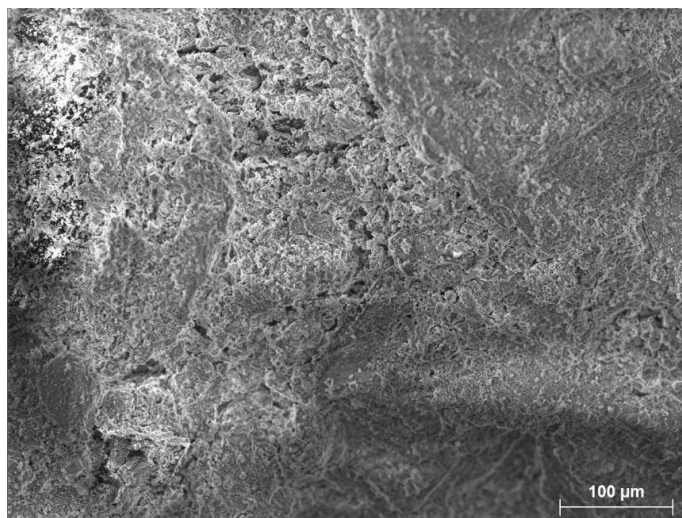
**22 pav.** Grikių lukštų pelenų žaliavos elementinės sudėties spektras

Analizė parodė dideles deguonies, kalcio ir anglies koncentracijas. Taip pat nustatyta žymi fosforo koncentracija bei esama ir kalio, magnio, geležies bei sieros elementų. Tokia sudėtis rodo, kad net ir vien tik grikių lukštų pelenai gali būti potencialus mineralinių medžiagų šaltinis.

Vis dėlto organinių priedų nebuvimas gali turėti įtakos granuliavimo proceso efektyvumui. Kadangi mineralinės kilmės dalelės pasižymi mažesniu plastiškumu ir ribotu gebėjimu formuoti stabilius ryšius tarpusavyje, granulių formavimosi procesas gali būti sudėtingesnis.

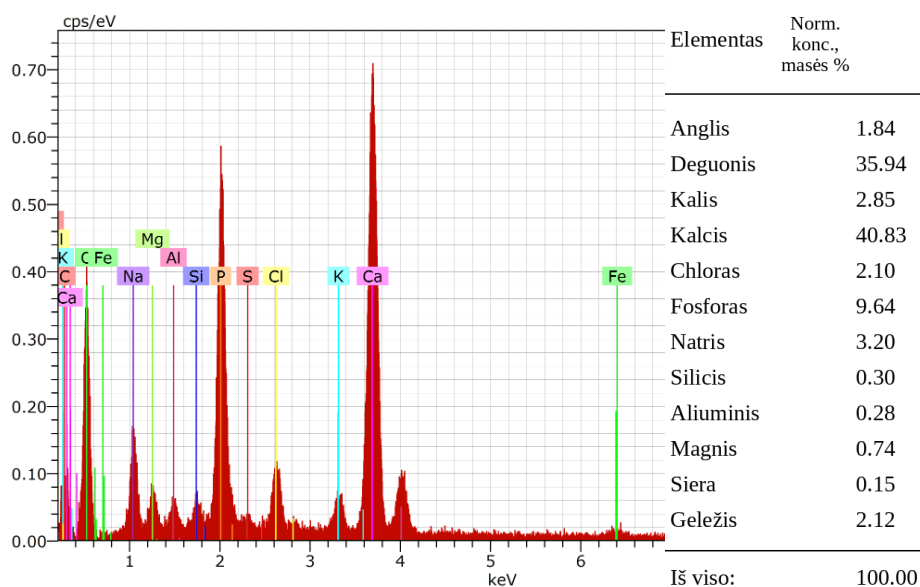
## 2.2.14. 20 bandinio mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė

20 bandinys buvo sudarytas iš 95 % grikių lukštų pelenų ir 5 % kavos pupų lukštų, papildomai į mišinį pridedant 90 ml vandens. Šio bandinio mikrostruktūros vaizdas pateiktas 23 paveiksle. Iš mikroskopinio vaizdo matyti, kad bandinio paviršius pasižymi nevienalyte struktūra ir dideliu smulkių dalelių kiekiu. Taip pat galima pastebėti pluoštinės kilmės struktūrinius fragmentus, kurie tikėtinai susiję su kavos pupų lukštų organine kilme. Paviršius atrodo pakankamai tankus, tačiau vietomis matomos smulkios poros ir netolygiai pasiskirsčiusios dalelės (žr. 23 pav.).



23 pav. 20 bandinio mikroskopinis vaizdas

Tokios struktūros formavimuisi įtakos galėjo turėti didelis pelenų kiekis mišinyje. Kadangi grikių lukštų pelenai pasižymi smulkiomis mineralinėmis dalelėmis bei ribotu plastiškumu, granuliavimo metu susiformuojančios struktūros gali būti netolygios. Kavos pupų lukštų įtraukimas į sudėtį galėjo prisidėti prie geresnio dalelių sukibimo dėl organinės kilmės pluoštinių komponentų, tačiau esant tik 5 % koncentracijai šis poveikis galėjo būti ribotas. Elementinės sudėties analizės rezultatai pateikti 24 paveiksle.



24 pav. 20 bandinio elementinės sudėties spektras

Analizė parodė, kad bandinyje dominuoja kalcis. Deguonies ir anglies koncentracijos rodo tiek mineralinių oksidų, tiek organinės kilmės medžiagų buvimą. Nustatyta kalio koncentracija siejama su biomasės pelenų sudėtimi, kadangi augalinės kilmės pelenuose dažnai aptinkamas didelis šio elemento kiekis.

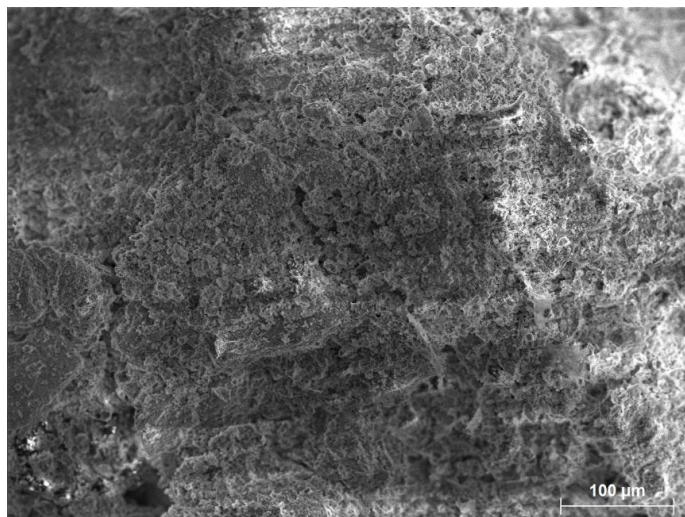
Taip pat nustatytos fosforo, magnio ir sieros koncentracijos. Fosforo radimas yra ypač svarbus vertinant tokios sudėties granulių panaudojimą trąšų gamyboje, kadangi fosforas yra vienas pagrindinių augalų mitybos elementų. Nustatytos kalcio ir magnio koncentracijos gali turėti teigiamos įtakos dirvožemio savybėms, ypač rūgštesniuose dirvožemiuose, kuriuose šie elementai gali prisidėti prie dirvožemio reakcijos stabilizavimo.

Bandinyje taip pat nustatytos nedidelės chloro bei natrio koncentracijos. Šių elementų atsiradimas gali būti susijęs su pirminės biomasės sudėtimi arba terminio apdorojimo metu susidariusiais junginiais. Nors jų koncentracijos nėra didelės, ilgalaikio naudojimo atveju tokie elementai gali turėti įtakos dirvožemio cheminėms savybėms.

Vertinant bendrą 20 bandinio struktūrą galima teigti, kad didelis pelenų kiekis formuoja pakankamai kompaktišką, tačiau nevienalytę struktūrą. O organinės kilmės komponentų kiekis šiuo atveju yra palyginti nedidelis, todėl granulių formavimosi metu pagrindinį vaidmenį tikėtina atliko drėgmės sukeltas dalelių sukibimas.

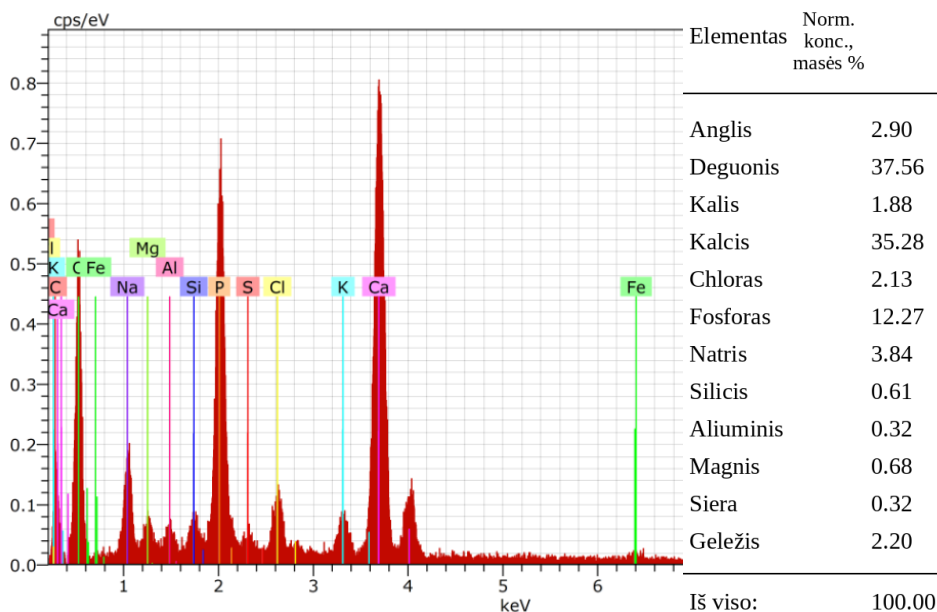
#### **2.2.15. 13 bandinio mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė**

13 bandinį sudarė 95 % grikių lukštų pelenų ir 5 % bananų žievių, papildomai naudojant 84 ml drėgmės kiekį. Šio bandinio mikroskopinis vaizdas pateiktas 25 paveiksle. Mikroskopinėje nuotraukoje matyti poringesnė struktūra nei 20 bandinio atveju. Taip pat galima pastebėti daugiau netolygiai išsidėsčiusių ertmių bei smulkių tarpų tarp dalelių.



**25 pav.** 13 bandinio mikroskopinis vaizdas

Tokį struktūros pobūdį galėjo lemti bananų žievių sudėtyje esantys organiniai ir lignoceliulioziniai junginiai. Dėl didesnio organinės medžiagos kiekio bei jos pluoštinės struktūros dalelių išsidėstymas galėjo tapti mažiau tankus. Be to, bananų žievės gali pasižymėti didesniu drėgmės sugėrimu, todėl granuliavimo metu galėjo susidaryti nevienodai pasiskirsčiusi drėgmė. Elementinės analizės rezultatai pateikti 26 paveiksle.



**26 pav.** 13 bandinio elementinės sudėties spektras

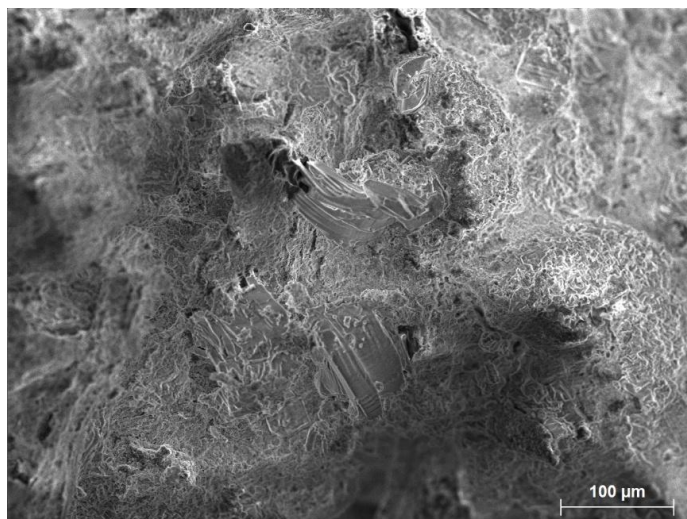
Analizės metu nustatytos didelės anglies ir deguonies koncentracijos, kurios rodo organinės kilmės komponentų buvimą. Taip pat nustatytos reikšminga fosforo ir, nors nedidelė, tačiau augalų mitybai svarbi, kalio koncentracijos.

Be kalio ir fosforo, bandinyje taip pat nustatyti kalcio, magnio ir sieros elementai. Tokia sudėtis rodo potencialą naudoti šį mišinį kaip kompleksinę trąšų sudedamąją dalį. Mikroelementų buvimas gali būti svarbus augalų fiziologiniams procesams ir dirvožemio biologiniam aktyvumui.

Lyginant 13 su 20 bandiniu galima pastebėti, kad bananų žievės turėjo įtakos poringesnės struktūros susiformavimui. Tokia struktūra teoriškai gali turėti įtakos granuliu mechaniniam atsparumui bei drėgmės sugėrimui. Didesnis poringumas gali skatinti greitesnę drėgmės patekimą į granules, tačiau tuo pačiu gali mažinti jų atsparumą mechaniniam poveikiui transportavimo metu.

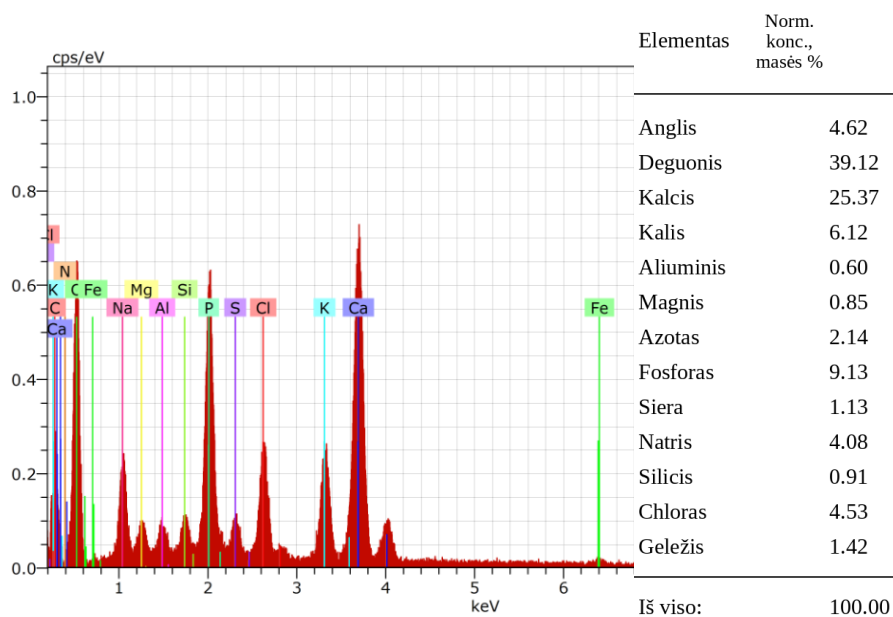
#### **2.2.16. 31 bandinio mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė**

31 bandinys buvo sudarytas iš 90 % grikių lukštų pelenų, 5 % kavos pupų lukštų ir 5 % bananų žievių. Granuliavimo metu papildomai naudotas melasos tirpalas, kurio melasos ir vandens santykis buvo 1:3. Papildomai pridėta drėgmė siekė 90 ml. Šio bandinio mikroskopinis vaizdas pateiktas 27 paveiksle.



27 pav. 31 bandinio mikroskopinis vaizdas

Mikroskopiniame vaizde matyti tankesnė ir vientisesnė struktūra nei ankstesniuose bandiniuose. Galima pastebėti mažesnę stambių porų kiekį bei geresnę dalelių tarpusavio sukibimą. Tikėtina, kad tam reikšmingą įtaką turėjo melasos naudojimas granuliavimo procese. Melasa galėjo veikti kaip rišamoji medžiaga, padedanti formuoti stabilesnę granulių struktūrą ir pagerinti dalelių sukibimą. Elementinės analizės rezultatai pateikti 28 paveiksle.



28 pav. 31 bandinio elementinės sudėties spektras

Iš 28 paveiksle pateiktų duomenų matyti, kad analizės metu bandinyje nustatyti pagrindiniai augalų mitybai svarbūs elementai – azotas, fosforas ir kalis. Didžiausios koncentracijos nustatytos kalio ir fosforo, šie yra būdingi grikių lukštų pelenams ir yra vieni svarbiausių elementų trąšų sudėtyje, o jų buvimas tik tvirtiną galimybę, kad bandinys gali turėti potencialą būti naudojamas kaip PK tipo trąšų pagrindas.

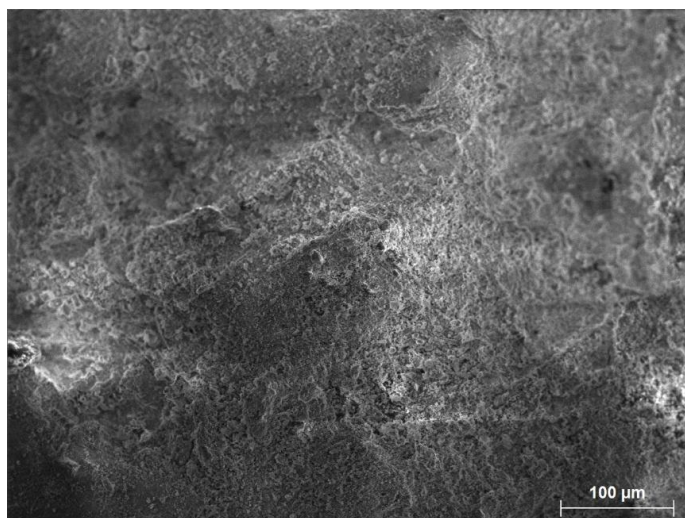
Bandinyje papildomai nustatytas azotas, kuris tikėtina susijęs su kavos pupų lukštų bei bananų žievių organine dalimi. Nors azoto koncentracija nėra didelė, jo buvimas rodo, kad organiniai komponentai gali prisidėti prie platesnės maistinių medžiagų sudėties formavimo.

Be pagrindinių NPK elementų, bandinyje taip pat nustatyti kalcio, magnio, natrio ir sieros elementai. Šie mikroelementai gali būti naudingi augalų mitybos požiūriu bei turėti įtakos dirvožemio savybėms. Magnis svarbus chlorofilo formavimuisi, o siera dalyvauja baltymų sintezės procesuose. Natrio koncentracija nėra didelė, tačiau jo buvimas yra būdingas biomasės pelenų sudėčiai.

Lyginant su ankstesniais bandiniais galima teigti, kad organinių komponentų derinys kartu su melasos naudojimu turėjo teigiamos įtakos struktūros vientisumui. Tokia struktūra gali būti palankesnė granuliuojamam stabilumui bei mažesniai dulkiškumui.

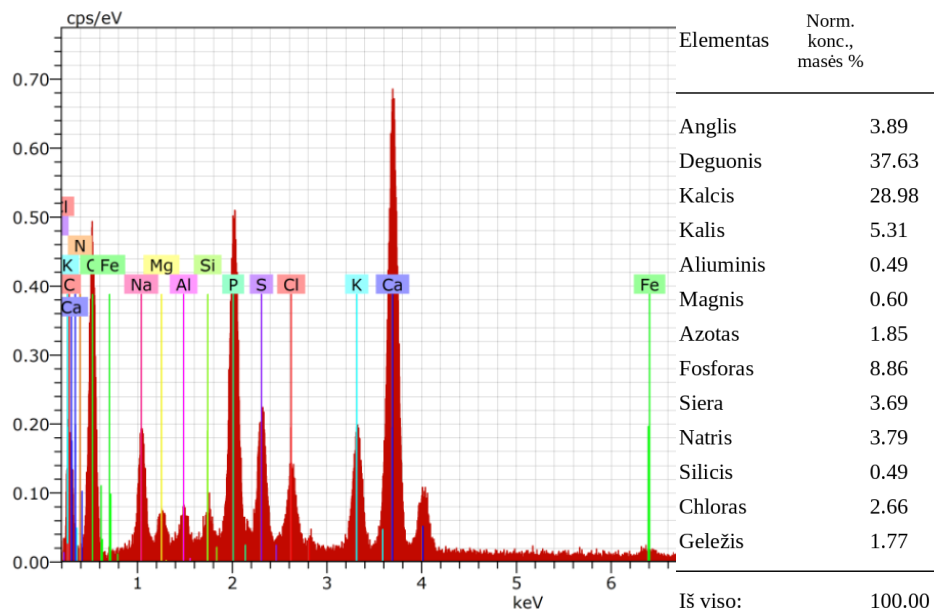
#### **2.2.17. 34 bandinio mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė**

34 bandinys buvo sudarytas iš 85 % grikių lukštų pelenų, 5 % kavos pupų lukštų ir 5 % bananų žievių. Šiame bandinyje papildomai naudota 5 % gipso bei padidintas pridodamo vandens kiekis iki 105 ml, jo mikrostruktūros vaizdas pateiktas 29 paveiksle.



**29 pav.** 34 bandinio mikroskopinis vaizdas

Iš mikroskopinio vaizdo matyti gana tanki struktūra, tačiau kartu galima pastebėti atskiras stambesnes daleles bei nevienodą paviršiaus reljefą. Paviršius atrodo mažiau porėtas nei ankstesniame bandinyje, o kai kuriose vietose galima pastebėti glaudžiau sukibusių dalelių zonas. Tokiai struktūrai įtakos galėjo turėti didesnis drėgmės kiekis bei gipso naudojimas, kuris veikė kaip papildomas rišiklis ir skatino dalelių agregaciją. Elementinės analizės rezultatai pateikti 30 paveiksle.



30 pav. 34 bandinio elementinės sudėties spektras

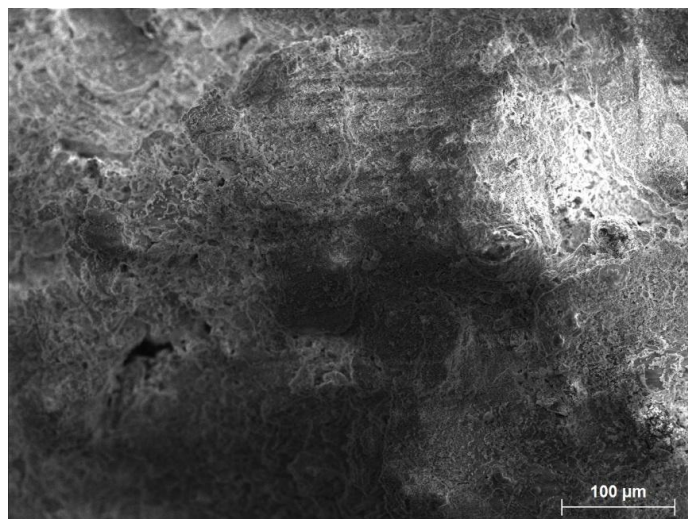
Atliktoje analizėje buvo nustatyti pagrindiniai trąšoms svarbūs elementai – N, P ir K. Kaip ir praeitame skyriuje aptartame bandinyje, didžiausia koncentracija nustatyta fosforui ir kaliui, jų vertės išliko reikšmingos, o nustatytas azotas rodo organinių komponentų įtaką bendros sudėties formavimuisi.

Šiame bandinyje taip pat nustatytos didesnės kalcio ir sieros koncentracijos. Tai tiesiogiai siejama su gipso naudojimu mišinyje, kadangi gipsas yra kalcio ir sieros šaltinis. Dėl šios priežasties bandinio sudėtis tampa platesnė mikroelementų požiūriu. Kalcis gali būti svarbus augalų ląstelių sienelių stiprinimui, o siera reikalinga įvairiems metaboliniams procesams.

Papildomai nustatyti magnio bei natrio elementai, būdingi biomasės pelenų sudėčiai. Didesnis mineralinių komponentų kiekis kartu su tankesne struktūra leidžia manyti, kad gipsas turėjo įtakos ne tik cheminei sudėčiai, bet ir granulių formavimosi procesui. Visgi padidintas drėgmės kiekis galėjo turėti įtakos nevienodos struktūros formavimuisi, per didelį jo kiekį granuliavimo metu gali skatinti dalelių sulipimą į stambesnius agregatus, dėl ko gali susidaryti netolygių struktūrų zonos.

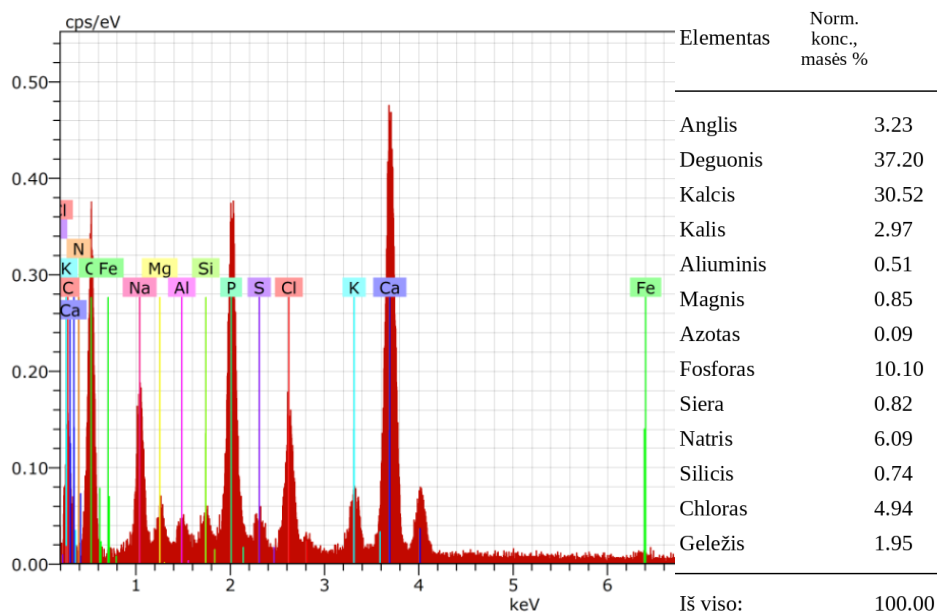
### 2.2.18. 22 bandinio mikrostruktūros ir elementinės sudėties analizė

22 bandinys buvo sudarytas iš 90 % grikių lukštų pelenų, 5 % kavos pupų lukštų ir 5 % bananų žievių, papildomai naudojant 104 ml vandens. Šio bandinio mikroskopinis vaizdas pateiktas 31 paveiksle.



31 pav. 22 bandinio mikroskopinis vaizdas

Mikroskopiniame vaizde matoma gana nevienalytė struktūra, kurioje išsiskiria skirtingo dydžio dalelės bei matomi stambesni fragmentai. Paviršiuje galima pastebėti tiek tankesnes zonas, tiek vietomis susidariusius poringesnius plotus. Tokia struktūra gali būti susijusi su netolygiu organinių komponentų pasiskirstymu bei didesniu naudojamu drėgmės kiekiu granuliavimo metu. Elementinės analizės rezultatai pateikti 32 paveiksle.



32 pav. 22 bandinio elementinės sudėties spektras

Analizės metu nustatyti pagrindiniai augalų mitybai svarbūs elementai – fosforas ir kalis. Šiame bandinyje didesnė koncentracija nustatyta fosforui, o kalis sudarė mažesnę, tačiau vis tiek reikšmingą elementinės sudėties dalį. Tokia sudėtis rodo potencialą naudoti granules fosforo ir kalio turinčių trąšų gamyboje. Skirtingai nei kituose panašios sudėties bandiniuose, šiame bandinyje azotas nebuvo aiškiai nustatytas arba jo koncentracija buvo labai maža. Tai gali būti susiję su netolygiu organinių komponentų pasiskirstymu bandinyje arba vietiniais sudėties skirtumais analizės metu. Kadangi azoto koncentracija organinėse žaliavose nėra didelė, EDS analizės rezultatai gali skirtis priklausomai

nuo pasirinktos analizės vietos. Be pagrindinių elementų, bandinyje taip pat nustatyti kalcio, magnio, natrio ir sieros elementai. Šių mikroelementų buvimas rodo, kad granulių sudėtis išlieka pakankamai įvairi mineraliniu požiūriu. Magnis ir kalcis gali būti svarbūs augalų fiziologiniams procesams, o siera papildomai didina trąšų maistinę vertę.

### **2.2.19. Bendras skenuojančios elektroninės mikroskopijos ir energijos dispersijos rentgeno spektroskopijos metodais analizuotų bandinių palyginimas**

Palyginus visų SEM ir EDS metodais analizuotų bandinių rezultatus nustatyta, kad granulių struktūrai ir cheminei sudėčiai didžiausią įtaką turėjo organinių komponentų kiekis, naudojami rišikliai bei papildomai įdedamos drėgmės kiekis. Visuose tirtuose bandiniuose pagrindinę granulių dalį sudarė grikių lukštų pelenai, todėl daugelyje bandinių buvo stebimas panašus mineralinės kilmės dalelių pasiskirstymas bei nevienalytė paviršiaus struktūra. Tačiau papildomų organinių žaliavų ir rišamųjų medžiagų naudojimas keitė granulių paviršiaus vientisumą, poringumą bei dalelių sukibimą.

Bandiniuose, kuriuose naudoti kavos pupų lukštai ir bananų žievės, dažniau buvo stebimos smulkesnės, labiau tarpusavyje susijungusios dalelės bei vietomis susiformavusios tankesnės struktūros sritys. Tai gali būti siejama su organinėse žaliavose esančiais lignoceliulioziniais junginiais [32], kurie granuliavimo metu prisideda prie dalelių sukibimo ir struktūros formavimosi. Tuo tarpu bandiniuose su didesniu drėgmės kiekiu vietomis buvo matomos netolygios struktūros zonos ir smulkios poros, rodančios nevienodą drėgmės pasiskirstymą granuliavimo bei džiovavimo metu.

Analizuojant elementinę sudėtį nustatyta, kad visuose bandiniuose nustatyti pagrindiniai augalų mitybai svarbūs fosforo ir kalio elementai. Fosforo koncentracija daugelyje bandinių buvo viena didžiausių tarp nustatytų augalų maisto medžiagų, todėl galima teigti, kad grikių lukštų pelenai yra reikšmingas fosforo šaltinis. Kalis taip pat buvo nustatytas visuose tirtuose bandiniuose, tačiau jo koncentracija dažnai buvo mažesnė nei fosforo, kito priklausomai nuo žaliavų sudėties bei pasirinktos analizės vietos.

Azoto koncentracija nustatyta tik dalyje bandinių, kuriuose naudoti kavos pupų lukštai bei bananų žievės. Kadangi šių žaliavų azoto koncentracija nėra didelė, EDS analizės metu jo pasiskirstymas atskiruose bandiniuose buvo netolygus. Dėl šios priežasties 31 ir 34 bandiniuose azotas buvo aiškiai identifikotas, o 22 bandinyje jo koncentracija buvo labai maža arba nepakankama aiškiam nustatymui. Tokie skirtumai gali būti susiję su nevienodu organinių dalelių pasiskirstymu granulių struktūroje bei lokaliu analizės taško pasirinkimu.

Be pagrindinių NPK elementų, bandiniuose taip pat nustatyti kalcio, magnio, sieros ir natrio elementai. Šių elementų koncentracijos labiausiai padidėjo bandiniuose, kuriuose naudotas gipsas. Tai ypač gerai matoma 34 bandinyje, kuriame dėl gipso panaudojimo padidėjo kalcio ir sieros koncentracijos. Tokie pokyčiai rodo, kad papildomi mineraliniai priedai gali keisti ne tik granulių fizikines savybes, bet ir jų potencialią maistinę vertę augalams.

Mikroskopinių tyrimų metu taip pat pastebėta, kad melasos naudojimas turėjo teigiamą poveikį granulių struktūros vientisumui. Bandiniuose, kuriuose naudotas melasos tirpalas, paviršius dažniausiai buvo tankesnis, o dalelės tarpusavyje geriau susijungusios. Tai leidžia teigti, kad melasa granuliavimo procese veikė kaip papildoma rišamoji medžiaga, gerinanti granulių formavimąsi.

Apibendrinant SEM ir EDS tyrimų rezultatus galima teigti, kad granulių struktūrinės ir cheminės savybės tiesiogiai priklauso nuo naudojamų žaliavų sudėties, organinių komponentų kiekio, rišamųjų medžiagų bei drėgmės kiekio granuliavimo metu. Gauti rezultatai parodė, kad grikių lukštų pelenai kartu su kavos pupų lukštais, bananų žievėmis ir papildomais rišikliais gali būti naudojami kaip potenciali žaliava organinės kilmės granuliuotų trąšų gamybai.

### 3. Inžinerinė dalis

Remiantis atliktų tyrimų rezultatais, galima išskirti pagrindines organinės kilmės granuliuotų NPK trąšų gamybos technologinio proceso stadijas. Procesą sudaro šie etapai:

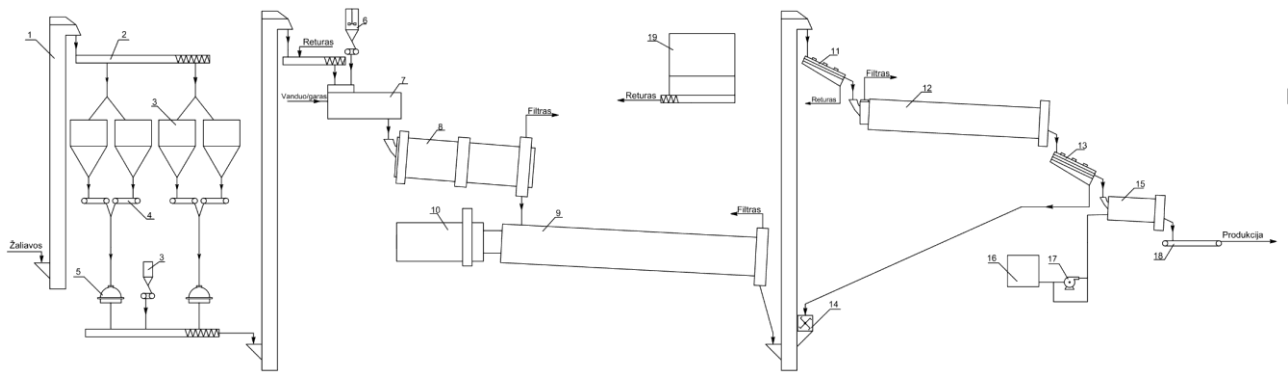
1. žaliavų paruošimas (smulkinimas);
2. žaliavų dozavimas ir maišymas;
3. paruošto mišinio granuliavimas;
4. granuliuojamųjų džiūvinimas;
5. frakcionavimas (atskiriant  $>5$  mm ir  $<2$  mm frakcijas bei jas gražinant į procesą);
6. granuliuojamųjų aušinimas;
7. kondicionavimas (jeigu reikalinga);
8. galutinio produkto pakavimas.

Tokios sudėties granuliuotų trąšų gamyba gali būti vykdoma nuolatinio veikimo technologinėje linijoje, kur procesas vyksta be reikšmingų cheminių reakcijų, o pagrindinis dėmesys skiriamas fiziniams dalelių sukibimo ir granuliuojamųjų formavimosi mechanizmams, naudojant sausų komponentų maišymą ir jų drėkinimą. Siūloma principinė technologinė schema pateikta 33 paveiksle.

Gaminant augalinės kilmės granuliuotas trąšas, svarbu įvertinti, kad naudojamų žaliavų dalelės, ypač grikių lukštų pelenų, priklausomai nuo jų kilmės ir gavimo sąlygų gali būti skirtingos formos bei dydžio. Dėl šios priežasties mišinys pasižymi nevienalyte struktūra, o granuliavimo metu dažnai reikalingas padidinta drėgmės koncentracija nuo žaliavų mišinio masės (apie 35-55%), siekiant užtikrinti efektyvų dalelių sukibimą ir granuliuojamųjų formavimąsi.

Taip pat būtina atsižvelgti į tai, kad gaminamų sudėtinių trąšų markė gali kisti priklausomai nuo žaliavų cheminės sudėties ir jų santykio granuliavimui paruoštame mišinyje. Kadangi pelenai praktiškai neturi azoto, kuris yra būtinas augalų augimui ir vystymuisi, siekiant suformuoti NPK trąšas, į sudėtį turi būti įtraukti azoto turintys komponentai. Laboratorinių tyrimų metu šiam tikslui buvo naudotos bananų žievės ir (arba) kavos pupų lukštai.

Tačiau prieš įtraukiant papildomus komponentus į technologinį procesą, būtina įvertinti jų suderinamumą su pagrindinėmis žaliavomis bei jų įtaką granuliavimo procesui ir galutinio produkto savybėms. Siekiant išsamiau apibūdinti iš pelenų, bananų žievių ir kavos pupų lukštų pagamintų trąšų kokybę, tikslinga detaliai ištirti jų cheminę sudėtį, ypatingą dėmesį skiriant mikroelementams. Taip pat svarbu įvertinti granuliavimo metu naudojamų priedų, tokių kaip melasa ar gipsas, indėlių į galutinio produkto maistinių medžiagų sudėtį bei fizines savybes. Granuliavimo proceso efektyvumas šiuo atveju priklauso ne tik nuo žaliavų sudėties, bet ir nuo jų fizinių savybių – dalelių dydžio pasiskirstymo, paviršiaus struktūros bei drėgmės sąveikos.



**33 pav.** Principinė granuliavimo proceso technologinė schema: 1 – kaušinis elevatorius; 2 – sraigtinis transporteris; 3 – žaliavų bunkeris; 4 – svarstyklės/juostinis transporteris; 5 – malūnas; 6 – maišyklė; 7 – maišytuvas; 8 – būgninis granulatorius; 9 – džiovykla; 10 – karšto oro generatorius; 11 – viengubas sietas; 12 – aušintuvas; 13 – dvigubas sietas; 14 – plaktukinis trupintuvas; 15 – apvėlimo būgnas; 16 – nuo sušokimo apsaugančio agento talpykla; 17 – siurblys; 18 – juostinis transporteris; 19 – rankovinis filtras

Siūlomoje technologinėje schemoje (žr. 33 pav.) žaliavos į gamybos procesą tiekiamos naudojant kaušinį elevatorių (1), kuriuo jos transportuojamos į sraigtinį transporterį (2). Toliau žaliavos paskirstomos į atskirus žaliavų bunkerius (3), kuriuose laikomos skirtingos žaliavos – grikių lukštų pelenai, kavos pupų lukštai, bananų žievės bei kiti priedai (pvz., gipsas). Iš bunkerių žaliavos per dozavimo įrenginius (svartyklės / juostinius transporterius) (4) tiksliai dozuojamos ir tiekiamos į malūną (5), kuriame atliekamas žaliavų smulkinimas, siekiant suvienodinti dalelių dydį ir pagerinti jų maišymosi savybes. Paruoštos žaliavos patenka į maišytuvą (7), į kurį papildomai iš maišyklės (6) tiekiamas melasos ir vandens mišinys. Šiame etape formuojamas granuliavimui tinkamas drėgnas mišinys, kurio drėgmė ir homogeniškumas turi esminę įtaką tolimesniam granulių formavimuisi. Iš maišytuvo mišinys tiekiamas į būgninį granulatorių (8), kuriame vyksta dalelių sukibimas ir granulių formavimasis. Granuliavimo procesas grindžiamas fizikiniais mechanizmais – dalelių adhezija ir kohezija, kuriuos sustiprina drėgmė bei rišančiosios medžiagos. Susidariusios drėgnos granulės toliau transportuojamos į džiovyklą (9), kurioje, naudojant karšto oro generatorių (10), sumažinamas jų drėgmės kiekis, dėl to stabilizuojama granulių struktūra ir pagerėja jų atsparumas mechaniniam poveikiui. Džiovinimo metu išsiskiriantis oras nuo kietųjų dalelių valomas rankoviniame filtre (18). Išdžiovintos granulės tiekiamos į viengubą sietą (11), kuriame atliekamas pirminis frakcionavimas. Šiame etape atskiriamos smulkiausios dalelės, dulkės, kurios pašalinamos siekiant sumažinti tolimesnių įrenginių, ypač aušintuvo, vidaus apsinešimą, taip sumažinant eksploatacinių priežiūros darbo poreikį. Tinkamo dydžio granulės nukreipiamos į aušintuvą (12), kuriame sumažinama jų temperatūra, siekiant stabilizuoti fizines savybes. Per didelės granulės po sijojimo dvigubu sietu (13) nukreipiamos į plaktukinį trupintuvą (14) ir grąžinamos į procesą prieš pirmąjį sietą, kartu su srautu po aušintuvo. Tokiu būdu užtikrinamas žaliavų panaudojimo efektyvumas ir proceso uždarymas. Atvėsintos granulės tiekiamos į apvėlimo būgną (15), kuriame gali būti padengiamos papildomu nuo sušokimo apsaugančiu sluoksniu, siekiant pagerinti jų laikymo, transportavimo ar tirpimo savybes. Dengimo medžiaga tiekiamas iš talpyklos (16), naudojant siurblių (17). Galutinis produktas juostiniu transporteriu (18) tiekiamas į pakavimui ar sandėliavimui.

#### 4. Darbuotojų sauga ir sveikata

Chemijos ir trąšų gamybos pramonėje darbuotojų sauga ir sveikata yra vienas svarbiausių aspektų, nes šiame sektoriuje nuolat dirbama su potencialiai pavojingomis cheminėmis medžiagomis, aukšta temperatūra, slėgiu, dulkėmis bei mechaniniais įrenginiais. Netinkamai valdant šiuos veiksnius gali kilti pavojus darbuotojų sveikatai, aplinkai ir technologinio proceso saugumui. Dėl šios priežasties kiekvienoje gamybos įmonėje atliekamas profesinės rizikos vertinimas, apimantis fizinius, cheminius, biologinius, ergonominius ir psichosocialinius rizikos veiksnius.

Profesinės rizikos vertinimas atliekamas visoje gamybos grandinėje – nuo žaliavų priėmimo, sandėliavimo ir transportavimo iki granuliavimo, džiovavimo bei galutinio produkto laikymo. Vertinant riziką atsižvelgiama į naudojamų medžiagų savybes, technologinio proceso parametrus, galimą dulkių susidarymą, triukšmą, vibraciją, mikroklimato sąlygas bei darbuotojų sąlygtį su cheminėmis medžiagomis. Taip pat vertinamos avarinių situacijų tikimybės ir galimos pasekmės darbuotojų sveikatai bei aplinkai.

Pagrindiniai galimi profesinės rizikos veiksniai trąšų granuliavimo procese:

- fiziniai veiksniai – judančios ir besisukančios granulatoriaus bei kitų įrenginių dalys, karšti įrenginių paviršiai;
- fizikiniai veiksniai – triukšmas nuo granulatoriaus ir ventiliacijos sistemų, vibracija bei padidėjusi gamybinių patalpų temperatūra;
- cheminiai veiksniai – kietos, skystos ir dujinės cheminės medžiagos: smulkios mineralinės ir organinės dulkės, šarminės medžiagos bei rūgščių garai laboratorinių tyrimų metu;
- biologiniai veiksniai – mikroorganizmų vystymasis netinkamai laikomose organinėse žaliavose;
- ergonominiai veiksniai – pasikartojantys judesiai, krovinių kėlimas, ilgas stovėjimas darbo vietoje;
- psichosocialiniai veiksniai – darbo intensyvumas, atsakomybė už technologinio proceso saugumą bei darbas padidintos rizikos aplinkoje.

##### 4.1. Kolektyvinės apsaugos priemonės ir darbo sąlygos

Siekiant užtikrinti saugias darbo sąlygas chemijos ir trąšų gamybos pramonėje, svarbų vaidmenį atlieka kolektyvinės apsaugos priemonės, skirtos visos darbo aplinkos saugumui užtikrinti. Gamybos ir sandėliavimo patalpose būtina užtikrinti [33]:

- efektyvią vėdinimo sistemą, pašalinančią dulkes bei kenksmingus garus;
- dulkių nutraukimo sistemas tose vietose, kur jos susidaro intensyviausiai, pvz., granulatoriuose, transportavimo įrenginiuose;
- gaisrinę saugą – gesintuvus, vandens purškimo sistemas;
- tinkamą apšvietimą, kad darbuotojai galėtų saugiai atlikti operacijas.

Darbo aplinkoje taip pat turi būti kontroliuojamos dulkių koncentracijos, temperatūra bei triukšmo lygis. Organinių ir mineralinių dulkių poveikis gali sukelti kvėpavimo takų dirginimą, todėl būtina užtikrinti efektyvų oro filtravimą ir reguliarią patalpų priežiūrą.

## 4.2. Darbuotojų sauga ir asmeninės apsaugos priemonės

Darbuotojų sveikata ir sauga taip pat priklauso nuo tinkamai parinktų ir naudojamų asmeninių apsaugos priemonių (AAP). Kiekvienas darbuotojas darbo vietoje privalo naudoti jam skirtas apsaugos priemones, kurias suteikia darbdavys. Šios priemonės skirtos sumažinti tiesioginį kenksmingų ir pavojingų veiksnių poveikį darbuotojui bei užtikrinti saugų darbo atlikimą [34].

Dažniausiai naudojamos AAP bei jų ženkliniai pateikti 34 pav.:

- apsauginiai akiniai arba veido skydeliai nuo cheminių pusrų bei dulkių,
- ausų kamštukai ar apsauginės ausinės nuo triukšmo,
- respiratoriai ar kaukės apsaugai nuo dulkių bei kenksmingų garų,
- apsauginės pirštinės (priklausomai nuo darbo – cheminėms medžiagoms atsparios, termoizoliacinės ar mechaninei apsaugai),
- speciali darbo apranga, pritaikyta sezonui (vasarinė arba žieminė),
- apsauginiai batai su neslystančiu padu ir pirštų apsaugomis,
- prijuostės ar kitos papildomos priemonės, kai dirbama su korozinėmis ar biriosiomis medžiagomis.



34 pav. AAP ženkliniai [35]

Svarbu, kad visos apsaugos priemonės būtų sertifikuotos, ergonomiškos, atitiktų darbuotojo sveikatos būklę ir būtų tinkamai parinktos pagal dydį. Netinkamai naudojamos arba netinkamai parinktos apsaugos priemonės gali sumažinti apsaugos efektyvumą ir padidinti nelaimingų atsitikimų riziką.

## 4.3. Trašų sandėliavimas ir laikymo sąlygos

Trašų laikymo taisyklės yra ypač griežtos, nes netinkamos sąlygos gali sukelti tiek saugos, tiek kokybės problemas. Remiantis saugos duomenų lapais ir techniniais reikalavimais, būtina laikytis šių principų [36, 37]:

- sandėliai turi būti statomi iš nedegių medžiagų, būti gerai vėdinami, sausi.
- rekomenduojama, kad trašų sandėliai būtų vieno aukšto;
- palaidos trašos laikomos tik uždaroje patalpose;
- skirtingų trašų rūšys privalo būti atskirtos pertvaromis arba laikomos atskirose talpyklose, kad būtų išvengta cheminės reakcijos tarp jų;
- sufasuotos trašos: gali būti laikomos sandėliuose arba lauke ant padėklų, tačiau jos turi būti apsaugotos nuo kritulių ir tiesioginių saulės spindulių;
- cheminės medžiagos turi būti laikomos atokiau nuo šilumos šaltinių, atviros liepsnos ir kitų degių medžiagų.

#### 4.4. Įrenginių eksploatavimas

Eksploatuojant granuliavimo bei transportavimo įrenginius darbuotojai privalo laikytis gamintojų nustatytų reikalavimų ir technologinių parametrų. Griežtai draudžiama viršyti įrenginių projektines apkrovas, temperatūrą ar sukimosi greitį, nes tai gali sukelti avarines situacijas.

Ypač svarbu:

- reguliariai tikrinti granuliatorių, transporterų ir ventiliacijos sistemų techninę būklę;
- užtikrinti apsauginių gaubtų vientisumą;
- prieš remonto darbus atjungti įrenginius nuo elektros energijos šaltinių;
- nedelsiant šalinti gedimus bei technologinius nukrypimus.

Darbuotojai turi būti instrukuoti apie saugų darbą su elektros įrenginiais, besisukančiais mechanizmais ir karštais paviršiais.

#### 4.5. Naudotų žaliavų keliami pavojai ir atsargumo priemonės

Tyrimų metu naudotos žaliavos, nors nėra klasifikuojamos kaip labai pavojingos cheminės medžiagos, tam tikromis sąlygomis gali kelti riziką darbuotojų sveikatai. Dėl šios priežasties darbo metu būtina laikytis saugaus darbo principų bei naudoti tinkamas apsaugos priemones.

- Griekių lukštų pelenai pasižymi smulkių dalelių frakcija, todėl jų tvarkymo metu gali susidaryti dulkės. Smulkių dalelių įkvėpimas gali dirginti kvėpavimo takus bei akis. Be to, dėl šarminio pelenų pobūdžio ilgalaikis kontaktas su oda gali sukelti dirginimą. Dirbant su pelenais rekomenduojama naudoti respiratorius, apsauginius akinius bei pirštines.
- Kavos pupų lukštai ir bananų žievės nėra klasifikuojamos kaip pavojingos medžiagos, tačiau smulkintos organinės medžiagos gali sudaryti dulkes bei skatinti mikroorganizmų vystymąsi esant netinkamoms sandėliavimo sąlygoms. Dėl šios priežasties svarbu užtikrinti sausas laikymo sąlygas bei tinkamą ventiliaciją.
- Melasa pasižymi dideliu klampumu ir lipnumu, todėl išsiliejusi gali sudaryti slidžius paviršius bei padidinti paslydimo riziką darbo vietoje. Dirbant su melasa būtina užtikrinti darbo vietos švarą bei reguliariai šalinti išsiliejusias medžiagas [38].
- Gipsas gali sudaryti smulkias mineralines dulkes, kurios ilgalaikio poveikio metu gali dirginti kvėpavimo takus. Dirbant su smulkiomis gipso dalelėmis rekomenduojama naudoti kvėpavimo takų apsaugos priemones [39].

#### 4.6. Cheminių medžiagų keliami pavojai laboratorinių tyrimų metu





Atliekant cheminių savybių bei maistinių medžiagų koncentracijų nustatymo tyrimus buvo naudojamos įvairios cheminės medžiagos, kurios gali kelti pavojų darbuotojų sveikatai. Dėl šios priežasties visi darbai su cheminėmis medžiagomis turi būti atliekami laikantis saugos duomenų lapuose (SDL) pateiktų reikalavimų, naudojant tinkamas asmenines apsaugos priemones bei užtikrinant tinkamą laboratorijos vėdinimą.

Cheminės analizės metu naudotos šios medžiagos:

- sieros rūgštis ( $H_2SO_4$ );
- druskos rūgštis (HCl);
- boro rūgštis ( $H_3BO_3$ );
- natrio hidroksidas (NaOH).

Dirbant su šiomis cheminėmis medžiagomis būtina naudoti apsauginius akinius, cheminėms medžiagoms atsparias pirštines, laboratorinį chalata bei, esant poreikiui, kvėpavimo takų apsaugos priemonės. Taip pat svarbu vengti tiesioginio kontakto su oda ir akimis, neįkvėpti garų bei užtikrinti, kad cheminės medžiagos būtų laikomos sandariai uždarytose ir tinkamai paženklintose talpyklose. Rūgštys ir šarmai turi būti laikomi atskirai nuo nesuderinamų medžiagų, atokiau nuo šilumos šaltinių ir tiesioginių saulės spindulių. Išsiliejus cheminėms medžiagoms būtina nedelsiant neutralizuoti išsiliejimą, pašalinti užterštas medžiagas bei išvėdinti patalpą. Patekus cheminei medžiagai ant odos ar į akis, pažeistą vietą būtina nedelsiant plauti dideliu kiekiu vandens ne trumpiau kaip 15 minučių ir, jei reikia, kreiptis į medicinos specialistus. Dirbant laboratorijoje taip pat turi būti lengvai prieinamos pirmosios pagalbos priemonės, akių plovimo stotelės bei gesintuvai. Toliau pateikiamoje 11 lentelėje nurodytos laboratorinių tyrimų metu naudotų cheminių medžiagų CLP reglamente patvirtintos pavojaus piktogramos, pavojingumo (H) bei atsargumo (P) frazės pagal saugos duomenų lapuose pateikiamą informaciją.

**11 lentelė.** Laboratoriniams tyrimams naudojamų medžiagų keliamas pavojus ir jo ženklėjimas

Cheminė medžiaga	Pavojaus piktogramos	Pavojingumo frazės (H)	Atsargumo frazės (P)
Sieros rūgštis (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) [40]		H290 – gali ėsdinti metalus. H314 – smarkiai nudegina odą ir pažeidžia akis.	P280 – mūvėti apsaugines pirštines ir naudoti akių apsaugą. P303+P361+P353 – patekus ant odos, nusivilkti užterštus drabužius ir nuplauti vandeniu. P305+P351+P338 – patekus į akis, atsargiai plauti vandeniu.
Druskos rūgštis (HCl) [41]		H290 – gali ėsdinti metalus. H314 – smarkiai nudegina odą ir pažeidžia akis. H335 – gali dirginti kvėpavimo takus.	P280 – mūvėti apsaugines pirštines ir naudoti akių apsaugą. P304+P340 – įkvėpus išvesti nukentėjusį į gryną orą; P305+P351+P338 – patekus į akis atsargiai plauti vandeniu kelias minutes.
Boro rūgštis (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> ) [42]		H360FD – gali pakenkti vaisingumui ir negimusiam vaikui.	P201 – prieš naudojimą gauti specialias instrukcijas. P280 – mūvėti apsaugines pirštines ir naudoti akių apsaugą. P308+P313 – esant sąlyčiui ar įtarimui dėl poveikio kreiptis į gydytoją.
Natrio hidroksidas (NaOH) [43]		H290 – gali ėsdinti metalus. H314 – smarkiai nudegina odą ir pažeidžia akis.	P280 – mūvėti apsaugines pirštines ir naudoti akių apsaugą. P303+P361+P353 – patekus ant odos, nusivilkti užterštus drabužius ir nuplauti vandeniu. P305+P351+P338 – patekus į akis, atsargiai plauti vandeniu.

## Išvados

1. Atlikta augalų maisto medžiagų, organinės kilmės žaliavų bei granuliuotų sudėtinių trąšų gamybos technologijų literatūros analizė. Nustatyta, kad granuliavimas leidžia pagerinti trąšų transportavimo, sandėliavimo ir paskleidimo savybes, o organinės kilmės žaliavų ir biomasės atliekų panaudojimas sudaro galimybes šias medžiagas įtraukti į pakartotinį panaudojimą bei kurti didesnę pridėtinę vertę turinčius produktus, kas atitinka žiedinės ekonomiko įgyvendinimo keliamus principus. Literatūros analizė parodė, kad grikių lukštų pelenai gali būti naudojami kaip fosforo ir kalio šaltinis, o kitos organinės kilmės žaliavos ir priedai, dėl savo sudėtyje esančių augalų maisto medžiagų, gali prisidėti prie granuliuotų formavimo proceso ir galutinės trąšų sudėties.
2. Eksperimentinėje dalyje ištirta grikių lukštų pelenų, kavos pupų lukštų ir bananų žievių cheminė sudėtis, įvertinta skirtingų organinių priedų bei proceso parametrų įtaka granuliuotų organinės kilmės trąšų gavimui. Nustatyta, kad granuliavimo proceso efektyvumui didžiausią įtaką turėjo mišinio sudėtis, naudojamas drėgmės kiekis bei papildomų rišamųjų medžiagų naudojimas. Organinių komponentų įtraukimas pagerino granuliuotų formavimąsi bei padidino 2-5 mm frakcijos išėigą. Melasos ir gipso naudojimas teigiamai veikė granuliuotų formavimosi procesą, tačiau neužtikrino pakankamo mechaninio stiprio praktiniam taikymui. SEM ir EDS analizės metu nustatyta, kad granuliuotų struktūroje buvo identifikuoti augalų mitybai svarbūs elementai – fosforas, kalis bei dalyje kavos pupų lukštus ar bananų žieves turinčiuose bandiniuose nustatytas azotas. Tyrimų rezultatai parodė, kad grikių lukštų pelenų pagrindu sudarytos granuliuotų kompozicijos, papildytos organinės kilmės žaliavomis, gali būti vertinamos kaip potenciali kryptis organinės kilmės kompleksinių trąšų kūrimui. Perspektyviausias buvo 31 bandinys, sudarytas iš 90 % grikių lukštų pelenų, 5 % kavos pupų lukštų, 5 % bananų žievių, į kurį buvo pridėtas 90 ml melasa : vanduo santykiu 1:3 paruoštas tirpalas, bandinio granuliuotų mechaninis stipris – 9,36 N/gran., prekinės frakcijos išėiga – 40 %, bandinio markė pagal EDS analizę – NPK 2-9-6. Nustatyta, kad galutinės granuliuotų savybės bei potenciali maistinė vertė žymiai priklauso nuo pasirinktų žaliavų santykio ir granuliavimo proceso parametrų.
3. Remiantis atliktų tyrimų rezultatais sudaryta principinė granuliuotų organinės kilmės trąšų gamybos technologinė schema, apimanti žaliavų paruošimą, maišymą, granuliavimą, džiovimą, sijojimą bei galutinio produkto gavimą. Pasiūlyta technologinė schema gali būti naudojama kaip pagrindas tolimesniam proceso optimizavimui ir gamybos mastelio didinimui.
4. Atlikta profesinės rizikos veiksnių, susijusių su granuliuotų sudėtinių trąšų gamyba, analizė. Nustatyta, kad didžiausi galimi pavojai šiame procese susiję su granuliavimo įrenginių naudojimu, triukšmo ir dulkių poveikiu bei laboratorinių tyrimų metu naudojamomis cheminėmis medžiagomis. Siekiant užtikrinti saugų proceso vykdymą, svarbus tinkamas technologinio proceso organizavimas ir darbuotojų saugos priemonių taikymas.

## Literatūros sąrašas

1. AgroŽinios. Kompleksinės NPK Trąšos. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://www.agrozinios.lt/straipsniai/46639-kompleksines-npk-trasos>.
2. PowerHouse Hydroponics. How to Detect & Treat Plant Nutrient Deficiency. *PowerHouse Hydroponics*, -12-30, 2018. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.powerhousehydroponics.com/how-to-detect-treat-plant-nutrient-deficiency/>.
3. ZeltaZeme. What is the Effect of NPK on Plant Growth?. *Zelta Zeme*, -03-04, 2023. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://zeltazeme.com/how-does-npk-affect-the-quality-of-your-plant/>.
4. Tan, Z.; Lagerkvist, A. Phosphorus Recovery from the Biomass Ash: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-20]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211100219X>. ISSN 1364-0321.
5. Atambayeva, Z.; Nurgazezova, A.; Amirkhanov, K., et al. Unlocking the Potential of Buckwheat Hulls, Sprouts, and Extracts: Innovative Food Product Development, Bioactive Compounds, and Health Benefits – a Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2024. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-20]. Prieiga per internetą: <https://doi.org/10.31883/pjfn/191859>. ISSN 1230-0322.
6. Pocienė, O.; Šlinkšienė, R. Studies on the Possibilities of Processing Buckwheat Husks and Ash in the Production of Environmentally Friendly Fertilizers. *Agriculture*, 2022. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-20]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/2/193>. ISSN 2077-0472.
7. Väätäinen, K.; Sirparanta, E.; Räisänen, M., et al. The Costs and Profitability of using Granulated Wood Ash as a Forest Fertilizer in Drained Peatland Forests. *Biomass and Bioenergy*, 2011. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-22]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410003296>. ISSN 0961-9534.
8. Murthy, P. S.; Madhava Naidu, M. Sustainable Management of Coffee Industry by-Products and Value addition—A Review. *Resources, Conservation and Recycling*, -09-01, 2012. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912000894>. ISSN 0921-3449.
9. Pearson, Aruna Chandrasekhar, Freya Graham, Giuliana Viglione, Tom Prater, Tom. Commodity Profile: Coffee, -05-11, 2023. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-04-18]. Prieiga per internetą: <https://interactive.carbonbrief.org/commodity-profile-coffee/>.
10. Janissen, B.; Huynh, T. Chemical Composition and Value-Adding Applications of Coffee Industry by-Products: A Review. *Resources, Conservation and Recycling*, -01-01, 2018. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917303154>. ISSN 0921-3449.
11. Mussatto, S.; Machado, E.; Martins, S., et al. Production, Composition, and Application of Coffee and its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology*, July 1, 2011. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-04-18]. Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/publication/225402675\\_Production\\_Composition\\_and\\_Application\\_of\\_Coffee\\_and\\_Its\\_Industrial\\_Residues](https://www.researchgate.net/publication/225402675_Production_Composition_and_Application_of_Coffee_and_Its_Industrial_Residues).
12. Izipresso. The Ultimate Guide to 12 Coffee Processing Methods: Natural, Washed & Honey Process, -08-01, 2025. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-04-18]. Prieiga per internetą: <https://lzipresso.coffee/the-guide-to-coffee-processing-methods/>.

13. Happi Emaga, T.; Robert, C.; Ronkart, S. N., et al. Dietary Fibre Components and Pectin Chemical Features of Peels during Ripening in Banana and Plantain Varieties. *Bioresource Technology*, -07-01, 2008. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-04-18]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407006888>. ISSN 0960-8524.
14. FAO. Agricultural Production Statistics, -12-30, 2025. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-04-18]. Prieiga per internetą: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd8035en>.
15. Hassanin, D.; Abdelhady, S.; Ghazi, A., et al. Banana Peels as a Potential Source of Functional Nano Bioactive Molecules; Antioxidant, Antimicrobial and Anticancer Activity Against HepG2 Cells, -09-16, 2024. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-04-18]. Prieiga per internetą: [https://www.researchgate.net/publication/387048950\\_Banana\\_peels\\_as\\_a\\_potential\\_source\\_of\\_functional\\_Nano\\_bioactive\\_molecules\\_antioxidant\\_antimicrobial\\_and\\_anticancer\\_activity\\_against\\_HepG2\\_cells](https://www.researchgate.net/publication/387048950_Banana_peels_as_a_potential_source_of_functional_Nano_bioactive_molecules_antioxidant_antimicrobial_and_anticancer_activity_against_HepG2_cells).
16. EuroChem. The Nitrophoska® Story, -10-05, 2020. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://www.eurochemgroup.com/sustainability-story/the-nitrophoska-story-2/>.
17. PHARMATIPS. Wet Granulation Process. *PHARMATIPS*, Thursday, October 17, 2013. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://pharmatip.blogspot.com/2013/10/wet-granulation-process.html>.
18. Paleckienė, R.; Sviklas, M., Alfredas. Trašų Agrochemija, 2012. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21].
19. Sviklas, M., Alfredas; Paleckienė, R. and Šlinkšienė, R. Sudėtinės Trašos, 2008. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21].
20. Walker, G. M. Handbook of Powder Technology. *Handbook of Powder Technology*, 2007. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016737850780039X>. ISSN 0167-3785.
21. Gamage, A.; Gangahagedara, R.; Gamage, J., et al. Role of Organic Farming for Achieving Sustainability in Agriculture. *Farming System*, 2023. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-22]. Prieiga per internetą: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949911923000059>. ISSN 2949-9119.
22. Machines, F. Benefits of Organics Granulation/Advantage of Applying Organic Fertilizer. *Fertilizer Machines Manufacturer. EX-Factory Price*, -06-07, 2021. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: [https://fertilizer-machine.net/solution\\_and\\_market/benefits-of-organics-granulation.html](https://fertilizer-machine.net/solution_and_market/benefits-of-organics-granulation.html).
23. Andi, K.; Mochammad, D., Maghfoer. View of Potential Beneficial Effect of Granule Organic Fertilizer (GOF) to Enhance the Growth and Productivities of Sweet Corn (*Zea Mays L.*), -12-29, 2024. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://ejournal.unib.ac.id/jagritropica/article/view/33383/15979>.
24. dos Santos Júnior, J. M.; Fernandes, L. A.; Colen, F., et al. Biochar-Based Granular Fertilizers with Agro-Industrial Binders Enhance Enzymatic Activity and Nutrient Cycling in Tropical Oxisols. *Agronomy*, 2025. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/2073-4395/15/9/2230>. ISSN 2073-4395.
25. Li, Y.; Li, P.; Wang, S., et al. Effects of Organic Fertilizer Application on Crop Yield and Soil Properties in Rice-Wheat Rotation System: A Meta-Analysis. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao = the Journal of Applied Ecology*, Sep, 2021. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą:

- <https://www.researchgate.net/publication/369296515> Effects of organic fertilizer application on crop yield and soil properties in rice-wheat rotation system A meta-analysis. ISSN 1001-9332.
26. Daniyan, I.; Omokhuale, A. M.; Aderoba, A. A., et al. Development and Performance Evaluation of Organic Fertilizer Machinery. *Cogent Engineering*, 2017. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://www.researchgate.net/publication/319561822> Development and performance evaluation of organic fertilizer machinery.
  27. Navickaitė, G.; Paleckienė, R. and Sviklas, A. M. Melasoje Esančių Fiziologiškai Aktyvių Medžiagų Sąveika Su Karbamidu. *Cheminė Technologija*, Gegužės 5, 2010. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-07]. Prieiga per internetą: <https://epubl.ktu.edu/object/elaba:3064721/index.html> CrossRef. ISSN 1392-1231.
  28. Kern. Kern PLJ 360-3 M. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-07]. Prieiga per internetą: <https://shop.labexchange.com/en/kern-plj-360-3-m.html>.
  29. Unichim. Pellet Hardness Meter IPG-1M. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-07]. Prieiga per internetą: <https://unichim.com/equipment/pellet-hardnessmeter-ipg-1m/>.
  30. Kern. Kern MLS 50-3 HA 160N US Moisture Analyser 50KG Max BLANK SCREEN - Parts. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-07]. Prieiga per internetą: <https://www.dougdeals.com/kern-mls-50-3-ha-160n-us-moisture-analyser-50kg-max-blank-screen-parts/>.
  31. Paleckienė, R.; Šlinkšienė, R. Trašos. Gavimas Ir Analizė, 2018. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://ebooks.ktu.edu/product/555733>.
  32. Silveira Junior, E. G.; Perez, V. H.; de Paula, S. C., et al. Coffee Husks Valorization for Levoglucosan Production and Other Pyrolytic Products through Thermochemical Conversion by Fast Pyrolysis. *Energies*, 2023. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-06]. Prieiga per internetą: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/6/2835>. ISSN 1996-1073.
  33. AB "Achema". Universalios Trašos SDL - Universalių Trašų SDL, -09-04, 2023. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://cdn.achemosgrupe.lt/media/media/84/da/93/1694180862/Universali%C5%B3%20tr%C4%85%C5%A1%C5%B3%20SDL.pdf>.
  34. LR SOCIALINĖS APSAUGOS IR DARBO MINISTRAS. Įsakymas Dėl Darbuotojų Aprūpinimo Asmeninėmis Apsaugos Priemonėmis Nuostatų Patvirtinimo. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.63FFB1A69855>.
  35. . SDS-Sheet-Coal-Combustion-Byproducts-Eco-Material-Technologies-March\_2022.Pdf, -01-10, 2022. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: [https://ecomaterial.com/wp-content/uploads/2022/03/SDS-Sheet-Coal-Combustion-Byproducts-Eco-Material-Technologies-March\\_2022.pdf](https://ecomaterial.com/wp-content/uploads/2022/03/SDS-Sheet-Coal-Combustion-Byproducts-Eco-Material-Technologies-March_2022.pdf).
  36. LR ŽEMĖS ŪKIO MINISTRAS. Įsakymas Dėl Žemės Ūkio Ministro 2013 M. Gruodžio 9 D. Įsakymo Nr. 3d-825 „Dėl Mineralinių Trašų Ir Augalų Apsaugos Produktų Sandėlių Ūkio Technologinio Projektavimo Taisyklių ŽŪ Tpt 10:2013 Patvirtinimo“ Pakeitimo. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/b57f6cf1256f11f08fdabd4950271e2c>.
  37. YARA. Trašų Sandėliavimas, -12-13, 2017. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-02-21]. Prieiga per internetą: <https://www.yara.lt/paseliu-tresimas/trasos-ir-darbu-sauga/trasu-sandeliavimas/>.

38. GrainCorp. MATERIAL SAFETY DATA SHEET - MOLASSES-SDS-REV6.Pdf. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-05]. Prieiga per internetą: <https://animalnutrition.graincorp.com.au/wp-content/uploads/2022/08/MOLASSES-SDS-REV6.pdf>.
39. Martin Marietta. Gypsum-Sds-June-2018. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-05]. Prieiga per internetą: <https://mcdn.martinmarietta.com/assets/safety-data-sheets/gypsum-sds-june-2018.pdf>.
40. CarlROTH. Safety Data Sheet: Sulphuric Acid - SDB-9896-MT-EN.Pdf. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-14]. Prieiga per internetą: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-9896-MT-EN.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wzMjYzMDF8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFHWTBMMmd3TkM4NU1qTTFORGN5TnpFeE56RXdMMU5FUWw4NU9EazJYMDFVWDBWT0xuQmtaZ3xhMjkyNjFiNTY1NzAxMDc1YWRiZDdhZGRkMWRlNTRlZjZjYWVjMGFINjMwMzQ2NmFiMjI1MjdkMzc2ZTc3OWM2>.
41. CarlROTH. Saugos Duomenų Lapas: Vandenilio Chlorido Rūgštis - SDB-P074-LT-LT.Pdf. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-14]. Prieiga per internetą: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-P074-LT-LT.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wzMzUxMzd8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFEdGpMMmd4TUM4NU1UYzJOVGswTIRRMk56RTRMMU5FUWw5U1EYzBYMHhVWDB4VUxuQmtaZ3xlZDUxOGQ1NzFjZWl3MGQzOWE3ZGVjYTIyYzMyZTIyOWYyODU1N2VkNWRmY2Q0YTkwMTQyNzRmNGJjMDNkNDBj>.
42. CarlROTH. Safety Data Sheet: Boric Acid - SDB-P010-AU-EN.Pdf. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-14]. Prieiga per internetą: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-P010-AU-EN.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNDY0MjZ8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFEdGhMMmcxWWk4NU1UYzJOJGMxTVRjeU9EazBMMU5FUWw5UU1ERXdYMEZWWDBWT0xuQmtaZ3xiYTVkY2IxZWJmNzZhOGQ1NTY1MTVmYTVlNGQ5MGRjMTQ5MzEzN2ExOTA2MjMxNGU4MGFIMjdmNTc4N2UwZmI1>.
43. CarlROTH. Saugos Duomenų Lapas: Natrio Hidroksidas - SDB-6771-LT-LT.Pdf. Interaktyvus. [žiūrėta 2026-05-14]. Prieiga per internetą: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-6771-LT-LT.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wzMDY3MTd8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGFEdGxMMmd5TXk4NU1UZ3dPVE13TXpReU9UUXIMMU5FUWw4Mk56Y3hYMHhVWDB4VUxuQmtaZ3xlMGZhY2EwMDRmMjM2ZDhmMWRhYWVhMzVmMjI1MGI4ZWZmZmM3YWQ1ZTI1NjRjMTJIMGQwYzhIYjBkNTU0NTRk>.