



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS**

Evaldas Griškaitis

Biomasės pelenų naudojimas biriųjų trąšų gamyboje

Baigiamasis magistro darbas

Vadovas

doc. dr. Rasa Šlinkšienė

Kaunas, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS
FIZIKINĖS IR NEORGANINĖS CHEMIJOS KATEDRA

TVIRTINU

Padalinio vadovas

Prof. Dr. Ingrida Ancutienė

Biomasės pelenų naudojimas biriųjų trąšų gamyboje

Baigiamasis magistro darbas

Studijų programa Chemijos inžinerija (kodas 621H81004)

Darbą atliko

Evaldas Griškaitis

Konsultantai

Lietuvių kalbos

Lekt. Virginija Stankevičienė

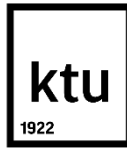
Vadovas

Doc. Dr. Rasa Šlinkšienė

Recenzentas

Technologas Karolis Žilinskas

Kaunas, 2015



KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

Evaldas Griškaitis

Studijų programa Chemijos inžinerija (kodas 612H81004)

Baigiamojo darbo „Biomosės pelenų naudojimas biriųjų trąšų gamyboje“

AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA

2015 m. gegužės mėn. 19 d.

Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Evaldo Griškaičio**, baigiamasis darbas tema „Biomosės pelenų naudojimas biriųjų trąšų gamyboje“ yra parašytas visiškai savarankiškai, o visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena darbo dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymu nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

(studento vardas ir pavardė, įrašyti ranka)

(parašas)

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
CHEMINĖS TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS

Tvirtinu:
Cheminės technologijos fakulteto dekanas
Prof. E.Valatka

Suderinta:
Fizikinės ir neorganinės chemijos katedros vedėja
prof. dr. I. Ancutienė

Dekano įsakymas Nr. ST17-F-02-3
2015 m. balandžio mėn. 16 d.

2015 m. vasario mėn. 12 d.

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS

Išduota studentui (-ei) **Evaldui Griškaičiui**

1. Darbo tema: „Biomasės pelenų naudojimas biriųjų trąšų gamyboje“

2. Darbo tikslas – naudojant biomasės (grikių lukštų) pelenus sugrąnuluoti sudėtines PK ir NPK trąšas, nustatyti jų kokybinius rodiklius bei sukurti principinę technologinę schemą tokioms trąšoms gaminti.
uždaviniai:

1. Nustatyti grikių lukštų pelenuose esančią augalų maisto medžiagų ir sunkiųjų metalų koncentraciją ir įvertinti jų tinkamumą trąšoms gaminti;
2. Keičiant granuliavimo parametrus (rišančią medžiagą, drėgmės ir returo kiekį) nustatyti optimalias sąlygas biomasės pelenams granuluoti;
3. Nustatyti iš pelenų sugrąnuluotų sudėtinių PK trąšų kokybinius rodiklius (granulių stiprį, granulimetrinę sudėtį, drėgnį, 10 % trąšų tirpalo pH ir piltinį tankį);
4. Naudojant biomasės pelenus ir tradicines trąšų pramonės žaliavas sugrąnuluoti bechlores NPK trąšas;
5. Nustatyti sugrąnuluotų sudėtinių NPK trąšų kokybinius rodiklius (granulių stiprį, granulimetrinę sudėtį, drėgnį, 10 % trąšų tirpalo pH ir piltinį tankį);
6. Sukurti principinę technologinę schemą sudėtinėms PK ir NPK trąšoms gaminti.

3. Darbo sudėtinės dalys:

- 3.1. Santrauka
- 3.2. Turinys
- 3.3. Įvadas
- 3.4. Literatūros apžvalga
- 3.5. Metodinė dalis
- 3.6. Rezultatai ir jų analizė
- 3.7. Išvados
- 3.8. Bibliografinių nuorodų sąrašas
- 3.9. Autoriaus CV

Užduoties išdavimo data 2015 m. vasario mėn. 10 d.

Užbaigto darbo pateikimo terminas 2015 m. gegužės 20 d.

Vadovas: doc. dr. Rasa Šlinkšienė
(vardas, pavardė)

2015-02-10
(parašas, data)

Užduotį gavau: Evaldas Griškaitis
(studento vardas, pavardė)

2015-02-10
(parašas, data)

Griškaitis E. Biomasės pelenų naudojimas biriųjų trąšų gamyboje. Chemijos inžinerijos magistro baigiamasis darbas / darbo vadovas doc. dr. Rasa Šlinkšienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas, Fizikinės ir neorganinės chemijos katedra.

Kaunas, 2015. 72 psl.

Santrauka

Magistro baigiamojo darbo tema – „Biomasės pelenų naudojimas biriųjų trąšų gamyboje“. Darbe pateikta teorija apie augalams reikalingas maisto medžiagas, apie biomasės pelenų naudojimo sritis ir apžvelgti trąšų granuliavimo būdai bei mechanizmas. Eksperimentinėje dalyje nustatyta grikių lukštų pelenų cheminė sudėtis, pelenų 10 % tirpalo pH, laisvai supiltų ir sutankintų pelenų piltinis tankis. Įvertinus grikių lukštų pelenų tinkamumą trąšoms gaminti, pelenai buvo granuliuoti būgniniu granulatoriumi-džiovykla, naudojant skirtingos koncentracijos rišančiosios medžiagos polivinilo aceto (PVA) tirpalus. Nustatyta granuliuotų pelenų fizikinės cheminės savybės: granulimetrinė sudėtis, granulių statinis stipris, 10 % tirpalo pH, laisvai supiltų ir sutankintų granulių piltinis tankis bei higroskopiškumas.

Naudojant pelenus ir tradicines trąšų pramonės žaliavas: amonio sulfatą (AS), amonio hidrofosfatą (DAP) bei kalio sulfatą (SOP) tuo pačiu būgniniu granulatoriumi-džiovykla sugranuliuotos bechlorės NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4Mg+12S markės trąšos. Nustatyta gauto produkto granuliuotų granulimetrinė sudėtis, granulių statinis stipris, 10 % tirpalo pH, laisvai supiltų ir sutankintų granuliuotų piltinis tankis.

Grikių lukštų pelenai ir NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4Mg+12S markės trąšos buvo granuliuojamos keičiant žaliavų mišinio drėgmės kiekį, polivinilo acetato (PVA) koncentraciją ir mažesnių kaip 2 mm returo dalelių kiekį. Visi bandiniai buvo palyginti tarpusavyje, pateiktos techninės prielaidos ir išvados.

Darbo apimtis 72 puslapis, jį sudaro santrumpos, paveikslų ir lentelių sąrašas, įvadas, literatūros apžvalga, metodinė dalis, rezultatai ir jų aptarimas, technologinės rekomendacijos, išvados, literatūra, gyvenimo aprašymas ir priedai. Darbe yra 30 paveikslų, 13 lentelių ir 9 priedai.

Griškaitis E. Solid Fertilizers Production using Biomass Ashes. Master`s Final Work / Supervisor doc. dr. Rasa Šlinkšienė; Kaunas University of Technology, Faculty of Chemical Technology, Department of Physical and Inorganic Chemistry.

Kaunas, 2015. 72 p.

Summary

The theme of the Master`s thesis is „Solid Fertilizers Production using Biomass Ashes”. In the work there was submitted about plants required nutrients, biomass ash use areas, reviewed methods and mechanism of granulation. Identified chemical composition, pH of 10 % solution, bulk density of free poured and compacted buckwheat husk ash. When all properties of buckwheat husk ash were assessed, ash was granulated with drum granulator – dryer and there were determined ash granular physical – chemical properties: granulometric composition, static strength of granules, pH of 10 % solution, bulk density of free poured and compacted granules and hygroscopicity. Also there was determined densities of binder polyvinyl acetate (PVA) and pH of different concentration solutions.

Using ash and ammonium sulphate, ammonium hydrophosphate, potassium sulphate materials, with same drum granulator-dryer, NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4Mg+12S brand of fertilizers was granulated. There was obtained granulometric composition of the product, static strength of granules, pH of 10 % solution, the bulk density of free poured and compacted granules.

Buckwheat husk ash and NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4Mg+12S brand of fertilizers was granulated changing moisture content of materials, polyvinyl acetate (PVA) concentration and smaller than 2 mm particles amount of recycle. All samples were compared, the technical assumptions and conclusions were carried out.

The volume of the thesis is 72 pages, it contains abbreviations, list of figures and tables, introduction, literature review, methodology, results and analysis, technology assumptions, conclusions, references, CV and accessories. The work includes 30 figures, 13 tables and 9 accessories.

Turinys

Santrumpos.....	7
Paveikslų sąrašas	8
Lentelių sąrašas	9
Įvadas	10
1. Literatūros apžvalga	12
1.1. Augalų maisto medžiagos.....	12
1.1.1. Pagrindinės maisto medžiagos	12
1.1.2. Antrinės maisto medžiagos	13
1.1.3. Mikroelementai	14
1.2. Biomasės pelenų naudojimas trąšų gamyboje	16
1.3. Granuliavimo būdai	20
1.4. Granuliavimo mechanizmas	25
2. Metodinė dalis	27
2.1. Naudotos medžiagos.....	27
2.2. Analizės metodai	28
2.2.1. Skaidymo metodika.....	28
2.2.2. Liepsnos fotometrinė analizė	28
2.2.3. Fotokolorimetrinė analizė	28
2.2.4. Atominė absorbcinė spektrinė analizė.....	28
2.2.5. Rentgeno difrakcinė analizė	28
2.2.6. Rentgeno fluorescencinė analizė.....	28
2.2.7. Infraraudonojo spektro molekulinė absorbcinė spektrinė analizė.....	29
2.3. Granuliavimo metodika	29
2.4. Fizikiniai cheminiai metodai	29
3. Rezultatai ir jų aptarimas.....	31
3.1. Žaliavų analizė.....	31
3.2. Griklių lukštų pelenų granuliavimas.....	33
3.3. Sudėtinių trąšų granuliavimas naudojant grikių lukštų pelenus	48
4. Technologinės rekomendacijos	55
4.1. Griklių lukštų granuliavimo technologinė schema	55
4.2. Sudėtinių NPK trąšų granuliavimo technologinė schema	57
Išvados.....	59
Literatūra	60
Gyvenimo aprašymas	62
Priedai.....	63

Santrumpos

DLK – didžiausia leistina sunkiųjų metalų koncentracija

SM – sunkieji metalai

PVA – polivinilo acetatas

AS – amonio sulfatas

DAP – amonio hidrofosfatas (diamofosas)

SOP – kalio sulfatas

NPK – sudėtinės trąšos, kurių sudėtyje yra visos trys pagrindinės maisto medžiagos: azotas (N), fosforas (P) ir kalis (K)

PK – sudėtinės trąšos, kurių sudėtyje yra dvi pagrindinės maisto medžiagos: fosforas (P) ir kalis (K)

Paveikslų sąrašas

1 pav. Pagrindinių maisto medžiagų įtaka augalo dalims.....	12
2 pav. Pelenų granulių statinio stiprio priklausomybė nuo produkcinės frakcijos kiekio (%)	19
3 pav. Būgninis granuliatorius	21
4 pav. Lėkštinis granuliatorius.....	22
5 pav. Būgninis granuliatorius-džiovykla.....	22
6 pav. Sraigtinis granuliatorius	22
7 pav. Amonizatorius-granuliatorius	23
8 pav. Verdančio sluoksnio granuliatorius	23
9 pav. Presavimo įrenginys.....	24
10 pav. Ekstruderis	24
11 pav. Granulių augimo mechanizmai	25
12 pav. Būgninis granuliatorius-džiovykla.....	29
13 pav. Grikių lukštų pelenų rentgeno difrakcinė kreivė.....	32
14 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės	35
15 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės.....	37
16 pav. Adsorbuoto vandens garų kiekio priklausomybė nuo trukmės ir žaliavų drėgmės	38
17 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 20 % returo).....	42
18 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 20 % returo)	43
19 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 40 % returo).....	45
20 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 40 % returo)	46
21 pav. Grikių lukštų pelenai	47
22 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės	49
23 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės.....	50
24 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 20 % returo).....	51
25 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 20 % returo)	52
26 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 40 % returo).....	53
27 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 40 % returo)	53
28 pav. NPK 10-13-18 markės trąšos	54
29 pav. Grikių lukštų pelenų granuliavimo principinė schema	56
30 pav. NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S markės trąšų granuliavimo principinė schema	58

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Medžio ir žemės ūkio augalų pelenų sudėtis.....	17
2 lentelė. Didžiausiosios leidžiamosios cheminių medžiagų koncentracijos pelenuose, naudojamuose miškų ūkyje, žemės ūkyje, pažeistų teritorijų rekultivavimui	18
3 lentelė. Didžiausioji leidžiamoji sunkiųjų metalų koncentracija (DLK) dirvožemyje	18
4 lentelė. Leidžiamas naudoti žemės ūkyje pelenų kiekis (t/ha).....	19
5 lentelė. Pagrindinių ir antrinių maisto medžiagų bei mikroelementų koncentracija pelenuose	31
6 lentelė. Sunkiųjų metalų ir kitų elementų koncentracija pelenuose.....	31
7 lentelė. Kai kurios grikių lukštų pelenų ir PVA savybės	32
8 lentelė. Grikių lukštų pelenų granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai.....	34
9 lentelė. Granuliuotų, naudojant 30 % H ₃ PO ₄ tirpalą, grikių lukštų pelenų parametrai	40
10 lentelė. Sudėtinių NPK 10-13-18 trąšų cheminė sudėtis	48
11 lentelė. NPK 10-13-18 trąšų su pelenais granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai	49
12 lentelė. Grikių lukštų pelenų optimalios granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai.....	55
13 lentelė. NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S markės trąšų su pelenais optimalios granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai	57

Ivadas

Šiais laikais vis sunkiau įsivaizduoti žemdirbystę be trąšų naudojimo. Augalai iš dirvožemio negali pasisavinti reikiamo maisto medžiagų kiekio, todėl efektyviam augalo augimui ir vystymuisi reikia papildomo maisto medžiagų šaltinio. Vienintelis būdas aprūpinti augalus visomis reikalingomis maisto medžiagomis yra jų tręšimas.

Priklausomai nuo dirvožemio savybių, augalo rūšies, klimato sąlygų ir t.t., efektyviam augalo augimui reikalingi skirtingi maisto medžiagų kiekiai. Pagal svarbą augalams yra skiriamos trys pagrindinės maisto medžiagų grupės. Pagrindinės maisto medžiagos: azotas (N), fosforas (P), kalis (K), tai medžagos, kurių kiekiai, reikalingi augalams, yra patys didžiausi. Šiek tiek mažesni kiekiai reikalingi antrinių maisto medžiagų: kalcio (Ca), magnio (Mg), natrio (Na), sieros (S), o patys mažiausi – mikroelementų: cinko (Zn), vario (Cu), geležies (Fe), boro (B), mangano (Mn), molibdeno (Mo) ir kobalto (Co).

Visi augalams reikalingi elementų kiekiai gaunami tręšiant trąšomis, tačiau intensyvi trąšų gamyba ir jų naudojimas sparčiai mažina trąšų žaliavų atsargas, trąšų kainos kyla. Tuo tarpu kai kuriose pramonės šakose (maisto, energetikos ir kt.) susidaro vis didesni šalutinių gamybos produktų kiekiai, kurie teršia aplinką. Atsižvelgiant į šiuos aspektus, ieškoma ekonominiu ir ekologiniu požiūriu naudingų trąšų gamybos būdų, panaudojant įvairius kitų pramonės šakų šalutinius produktus.

Viena iš alternatyvų – tai biomasės pelenų panaudojimas. Biokuras, taip pat yra vienas iš ekologinių energetikos šaltinių, o jį sudeginus, gaunami pelenai. Lietuvoje sparčiai didėjant biokatalinių skaičiui, daugėja ir jose besikaupiančių pelenų, kurie nėra efektyviai naudojami, nors daugeliu atvejų būtų tinkami keliams tiesti ar betonui gaminti. Be to biomasės pelenuose gausu maisto medžiagų, kurios reikalingos augalams. Tai suteikia galimybę tokius pelenus naudoti kaip trąšas. Dar viena teigiama biomasės pelenų savybė yra ta, kad jie pasižymi šarminėmis savybėmis, todėl pelenai gali būti panaudojami ne tik kaip trąšos, bet ir kaip kalkinimo medžiagos rūgščioms dirvoms neutralizuoti.

Priklausomai nuo to, kokiomis sąlygomis buvo deginamas biokuras, nuo jo cheminės sudėties, pelenų dalelių dydžio, jų kaip trąšų panaudojimas, yra labai skirtingas. Tiesiogiai tokius pelenus panaudoti dirvos tręšimui negalima, nes dėl dalelių nevienodumo ir didelio dulketumo nepasiekiamas didžiausias tręšimo efektyvumas. Siekiant geresnio tręšimo poveikio pelenus būtina sugranuliuoti.

Darbo tikslas – naudojant biomasės (grikių lukštų) pelenus sugranuliuoti sudėtinės PK ir NPK trąšas, nustatyti jų kokybinius rodiklius bei sukurti principinę technologinę schemą tokioms trąšoms gaminti.

Uždaviniai:

1. Nustatyti grikių lukštų pelenuose esančių augalų maisto medžiagų ir sunkiųjų metalų koncentraciją ir įvertinti jų tinkamumą trąšoms gaminti;
2. Keičiant granuliavimo parametrus (rišančią medžiagą, drėgmės ir returo kiekį) nustatyti optimalias sąlygas biomasės pelenams granuliuoti;
3. Nustatyti iš pelenų sugranuliuotų sudėtinių PK trąšų kokybinius rodiklius (granulių stiprį, granuliometrinę sudėtį, drėgnį, 10 % trąšų tirpalo pH ir piltinį tankį);
4. Naudojant biomasės pelenus ir tradicines trąšų pramonės žaliavas sugranuliuoti bechlores NPK trąšas;
5. Nustatyti sugranuliuotų sudėtinių NPK trąšų kokybinius rodiklius (granulių stiprį, granuliometrinę sudėtį, drėgnį, 10 % trąšų tirpalo pH ir piltinį tankį);
6. Sukurti principinę technologinę schemą sudėtinėms PK ir NPK trąšoms gaminti.

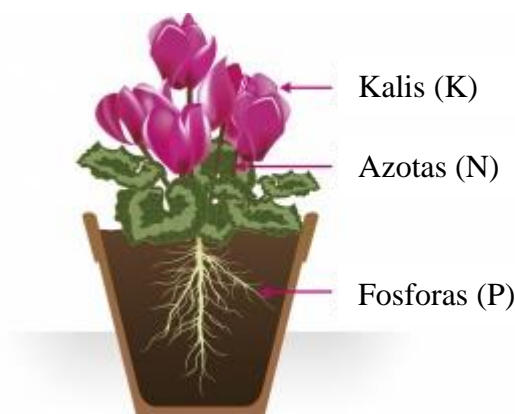
1. Literatūros apžvalga

Viena aktualiausių šiuolaikinės žemdirbystės problemų yra augalų aprūpinimas maisto medžiagomis. Augalai vien iš aplinkos reikiamo maisto medžiagų kiekio nepasiima, todėl siekiant gauti kuo didesnį derlių būtina naudoti trąšas. Norint sudaryti kuo efektyvesnes augalų augimo ir vystymosi sąlygas būtina tręšti ne tik pagrindinėmis ar antrinėmis maisto medžiagomis, bet ir mikroelementais.

1.1. Augalų maisto medžiagos

1.1.1. Pagrindinės maisto medžiagos

Kiekvienas elementas daro skirtingą įtaką augalams. Nuo to kokį kiekį, skirtingo elemento, gauna augalas, priklauso jo dalių augimas ir vystymasis (1 pav.).



1 pav. Pagrindinių maisto medžiagų įtaka augalo dalims [1]

Azotas – tai viena pagrindinių augalų maisto medžiagų, kuri įeina į baltymų, nukleino rūgščių, fermentų sudėtį. Augale azotas skatina ir sustiprina augalų antžeminės dalies vystymąsi. Jis įeina į chlorofilo sudėtį. Azotas labiausiai augalo augimą skatinanti maisto medžiaga. Augalai azotą pasisavina iš dirvožemio nitrato (NO_3^-), amonio (NH_4^+) jonų pavidalu. Augalų lapai užauga didesni, įgyja tamsiai žalią atspalvį, pailgėja jų vegetacijos periodas. Trūkstant šio elemento augalų lapai būna smulkūs, šviesiai žali, ima gelsti, greičiau bręsta. Tačiau esant per dideliame azoto kiekiui prailgėja augalų vegetacija, ūgliai nespėja sumedėti ir jie žiemą apšąla. Azoto trūkumo požymiai labiausiai pastebimi, kai oras yra vėsus ir lietingas [2].

Dirvožemyje azotas atsipalaiduoja yrant organinėms medžiagoms. Tačiau pagrindiniu maisto medžiagų šaltiniu išlieka organinės ir mineralinės trąšos. Augalai, tinkamai patręšti azotu, mažiau nukenčia nuo sausros. Labai svarbu, kad augalai jų vegetacijos pradžioje būtų pakankamai aprūpinti azotu, nes tada išsivysto didesnis asimiliacinis paviršius. Antroje vegetacijos laikotarpio pusėje azoto trąšomis tręšti reikėtų saikingai (minimaliai), nes azoto perteklius kenkia derliaus kokybei [3].

Fosforas yra labai svarbus fotosintezės, kvėpavimo, oksidacijos procesams, augaluose esančių medžiagų ir energijos apykaitai. Fosforas dalyvauja angliavandenių sintezėje, cukraus kaupimosi procese. Fosforo junginiai skatina šaknų vystymąsi, didina augalų atsparumą grybelinėms ligoms, pagreitina žaizdų gijimą. Esant dideliame fosforo trūkumui, augalai nenormaliai vystosi, menkai auga, audiniai apmiršta, augalų lapai būna smulkūs, tamsiai žali, violetinio arba rausvo atspalvio, apatinių lapų pakraščiai tamsiai rudi, užsiritę į viršų. Neutraliuose ir šarminiuose dirvožemiuose augalai fosforą iš dirvožemio daugiausia pasisavina hidrofosfato HPO_4^- pavidalu [2].

Kalis – dar viena pagrindinė maisto medžiaga, kuri nesudaro augale pastovių junginių kaip azotas ar fosforas, tačiau dalyvauja svarbiausiuose augalo vystymosi procesuose. Tokiuose kaip fotosintezė, organinių medžiagų ir cukraus sintezės, apykaitos procesai. Kalis didina druskų koncentraciją augalų sultyse, reguliuoja augalų maitinimą, didina atsparumą ligoms ir šalčiui, mažina nitratų susikaupimą, paspartina augalų augimą. Kai kalio pakanka, augalų chlorofilas geriau išnaudoja saulės energiją, sumažėja vandens transpiracija. Kalis ne tik teigiamai veikia asimiliaciją, bet ir palengvina cukraus transportavimą. Augalai kalį pasisavina K^+ jonų pavidalu. Kai trūksta kalio, augalų lapuose susikaupia neperdirbto į organinius junginius mineralinio azoto, augalai būna neatsparūs sausroms, jie anksčiau nuvysta, sutrinka normali medžiagų apykaita ir sumažėja derlius. Augalų lapai pradeda garbanotis, būna tamsiai žali su melsvu atspalviu, vėliau apatinių lapų pakraščiai ima ruduoti, ilgesnį laiką kalio stygių patiriančių augalų lapų pakraščiai pradeda džiūti [2].

1.1.2. Antrinės maisto medžiagos

Antrinėms maisto medžiagoms priskiriama: kalcis (Ca), magnis (Mg), natriis (Na) ir siera (S). Šių elementų kiekiai reikalingi efektyviam augalų augimui ir vystymuisi beveik tokie patys kaip ir pagrindinių maisto medžiagų.

Kalcis – būtinas organizmų gyvybinėms funkcijoms. Jo yra visuose augalų audiniuose ir skysčiuose. Augalai kalciją pasisavina Ca^{+2} jonų pavidalu. Kalcis augalams reikalingas nuo pat sudygimo ir jo reikia, kad normaliai augtų šaknys ir antžeminiai organai. Jis reikalingas geram augalų įsišaknijimui, būtinas fiziologinei augalų pusiausvyrai, didina fermentų aktyvumą, veikia vitaminų biosintezę, neutralizuoja dirvožemį. Šis elementas svarbus fotosintezei, nors jo ir nėra chlorofilo sudėtyje, be to palaiko augaluose rūgščių ir šarmų pusiausvyrą, stiprina medžiagų apykaitą, skatina angliavandenių judrumą ir azoto medžiagų skilimą augalams dygstant. Įvairiems žemės ūkio augalams kalcio reikia nevienodai. Kalcio sunaudojama daugiau nei fosforo, magnio ir sieros, tačiau mažiau nei azoto ir kalio. Trūkstant kalcio, augalų lapai nustoja augti, juose atsiranda šviesiai žalsvų dėmių, susisuka lapų krašteliai, lapai nulinksta ir nudžiūsta (augalai susergera chloroze), susilpnėja šaknų sistema, augimas sulėtėja, jos pradeda storėti,

augalai nebeleidžia šalutinių šaknų ir šakniaplaukių, prasideda augalo puvinimas. Kalcio trūkumas dažnai pastebimas pavasarį sausros metu [2].

Magnis augaluose yra pektininių rūgščių ir fitino sudėtyje. Jis aktyvina fermentus, ypač tuos, kurie skaido fosforo junginius, greitina angliavandenių susidarymą, stiprina redukcijos procesus. Daugiausia jo yra augalo augančiose dalyse ir sėklose. Augalai magnį pasisavina Mg^{+2} jonų pavidalo. Jo poreikis išryškėja gausiau tręšiant kaliu, nes jis trukdo augalams pasisavinti magnį. Trūkstant magnio, augalų žalumas blanksta, tarp lapų gyslų atsiranda balsvų juostų (dalinė chlorozė). Po to lapai pamažu gelsta, o jų kraštai užsiriečia. Lapai per anksti nukrinta. Sulėtėjus augalų augimui, sumažėja ir derlius. Kai trūksta magnio stiprėja oksidacijos procesai, didėja fermento peroksidazės aktyvumas, susidaro mažiau invertuoto cukraus ir askorbino rūgšties [3].

Natris cukriniams, pašariniams runkeliams, daržovėms beveik tiek pat svarbus, kaip ir kalis. Natris gali atstoti iki 30 % kalio poreikio. Natris didina cukrinių runkelių šakniavaisių cukringumą ir cukraus išeigą. Dirvožemyje jis būna nestabilus, todėl lengvai išplaunamas. Dėl šios priežasties dirvožemyje, ypač lengvesnės granulometrinės sudėties, natrio yra mažai. Todėl be pagrindinių maisto medžiagų, cukrinius runkelius reikia tręšti ir natriu [2].

Siera skatina augalų fotosintezę, kvėpavimo procesą, azoto ir anglies apykaitą, chlorofilo gamybą, daugelio vitaminų, fermentų, eterinių aliejų susidarymą, maisto medžiagų pasisavinimą. Siera yra sudėtinė amino rūgščių (cistino ir metionino) dalis. Sieros svarbumas augalams beveik toks pat kaip ir azoto, fosforo, kalio ar magnio. Trūkstant sieros fotosintezė sumažėja iki 40 %. Sieros trūkumo požymiai augaluose panašūs į azoto trūkumo. Lapų žalia spalva šviesėja, o vėliau lapai ima gelsti [2].

1.1.3. Mikroelementai

Mikroelementai: boras (B), cinkas (Zn), varis (Cu), geležis (Fe), manganas (Mn), molibdenas (Mo) ir kobaltas (Co) reikalingi mažesniais kiekiais, nei pagrindinės ar antrinės maisto medžiagos. Tačiau trūkstant mikroelementų dirvožemyje atsiranda įvairūs augalų fiziologiniai sutrikimai. Be jų nevyksta normali medžiagų apykaita, augalai suserga, sumažėja derlius.

Boras skatina oksidacijos-redukcijos fermentų aktyvumą, nukleininų rūgščių sintezę, aktyvina kvėpavimo procesą, skatina augalo organų diferenciaciją ir ypač žiedynų ir atskirų žiedų formavimąsi, sąlygoja žiedadulkių gyvybingumą ir apsisavinimo procesą, sėklų augimą. Be to, boras turi įtaką augalų sugebėjimui įsisavinti kalį bei kalcį. Spartina cukraus apykaitą augale, didina augalų atsparumą ligoms [3].

Cinko fiziologinis vaidmuo augalams yra labai įvairus. Cinkas turi didelę įtaką oksidacijos – redukcijos reakcijoms, daugiausia aktyvina redukcinius procesus, tuo jis skiriasi nuo mangano ir

vario, kurie skatina oksidaciją. Cinkas įeina į peroksidazės, katalizės, oksidazės, polifenoloksidazės ir kitų fermentų sudėtį. Jis padidina augalų atsparumą sausroms, karščiams ir šalčiams. Trūkstant cinko, sutrinka augalų kvėpavimo procesas bei baltymų sintezė [3].

Varis aktyvina chlorofilo susidarymą ir sulaiko jo irimą. Varis sustiprina sintezę augalų lapuose ir didina baltymų kiekį juose. Jis dalyvauja kvėpavimo procese, angliavandenių, baltymų apykaitoje, lignino biosintezėje. Šis elementas stimuliuoja magnio įsisavinimą, didina augalų atsparumą grybelinėms ir bakterinėms ligoms [3].

Geležis – vienas iš svarbiausių elementų augalų metabolizme. Nuo geležies buvimo dirvožemyje tiesiogiai priklauso daugelio kitų elementų įsisavinimas. Geležis svarbi oksidacijos redukcijos reakcijose. Todėl trūkstant geležies, augalų lapuose susidaro mažiau chlorofilo, lėtėja augalų augimas, ant pačių jauniausių lapų pasireiškia chlorozė. Į augalą geležis patenka jonų Fe^{2+} ir Fe^{3+} jonų pavidalo bei nedideliais kiekiais chelatų junginių molekulių pavidalo. Apie 80 % geležies susikaupia lapų chloroplastų baltymuose. Didžiausias geležies kiekis randamas augalų šaknyse, lapuose ir stiebuose [3].

Manganas dalyvauja oksidacijos redukcijos reakcijose, skatina oksidazių aktyvumą, stimuliuoja azoto redukciją iki amoniako ir dalinai amoniakinio azoto oksidaciją iki nitratų. Dalyvauja žiedo organų diferenciacijoje ir apsisvaisinimo procese. Skatina chlorofilo sintezę ir jo funkcijas. Trūkstant mangano, augalų lapai ima vysti, suserga chloroze. Sumažėja baltymų, askorbo rūgšties ir kitų biologiškai aktyvių junginių sintezė [3].

Molibdenas įeina į kai kurių fermentų sudėtį: aldehydoksidadzės, hidrogenazės ir nitratorreduktazės. Nitratorreduktazė augaluose katalizina nitratų perėjimą į nitritus ir yra randamas visuose augalo organuose, įskaitant ir šaknis. Molibdenas yra būtinas gumbelinėms bakterijoms, fiksuojančioms azotą. Azotas gumbelinėse bakterijose fiksuojamas tik tada, kai dirvožemyje yra tam tikras molibdeno kiekis. Apie 40 % į augalus patekusio molibdeno įeina į baltymų sudėtį. Molibdenas, skatindamas chlorofilo sintezę, stiprina fotosintezę ir didina krakmolingumą, pagreitindamas nitratų redukciją ir baltymų sintezę, didina proteinų kiekį bulvių gumbuose. Skirtingai nuo mikroelementų, molibdenas augaluose gali kauptis pakankamai dideliais kiekiais nesukeldamas toksinio poveikio. Kai trūksta molibdeno, daržovėse kaupiasi nitratai. Kerų ir vidurinio senumo lapų gysla pailgėja, lapai susiraukšlėja, jų pakraščiai riečiasi į viršų. Smulkios gyslos tampa gelsvos, tarp jų atsiranda ryškių geltonų dėmių [3].

Kobaltas turi įtakos cukraus ir riebalų kaupimuisi augaluose, teigiamai veikia chlorofilo sintezę lapuose, mažina jo skaidymąsi tamsoje, aktyvina kvėpavimo intensyvumą, padidina augaluose askorbo rūgšties kiekį. Kobaltas didina fermento hidrogenazės aktyvumą, taip pat dėl jo padidėja nitratorreduktazės aktyvumas ankštinių augalų gumbeliuose. Kobaltas būtinas

gumbelinėms bakterijoms, aktyvinant azoto fiksaciją. Jis teigiamai veikia oksidaciją-redukciją [4].

1.2. Biomasės pelenų naudojimas trąšų gamyboje

Iškastiniai energijos šaltiniai – nafta, akmens anglis ir dujos sudaro daugiau kaip 80 % pasaulinių energetikos išteklių [5]. Iškastinių energijos šaltinių atsargos nuolat senka. Tokios energijos naudojimas ne tik brangsta, bet ir teršia atmosferą, todėl vis labiau ima didėti atsinaujinančių energijos šaltinių poreikis.

Biomasė – vienas iš pagrindinių atsinaujinančių energijos išteklių. Energija gaunama iš organinių produktų, miško ir jo atliekų, augalų atliekų ar specialiai auginamų augalų. Energija išgaunama šilumos, biodujų ar biokuro pavidalu. Daugiausia biomasės sunaudojama tiesioginiam šilumos išgavimui ją sudeginant [5]. Degimo proceso metu susidaro pelenai. Vis labiau didėjančios biomasės deginimo apimtys, didina pelenų kaupimąsi. Po biomasės deginimo likę pelenai tampa vis didesne problema. Lietuvoje per metus vien medžio pelenų susidaro apie 25000–30000 tonų [6]. Energetikos įmonės šiuo metu pelenus šalina vietiniuose sąvartynuose arba laukuose, tačiau tai neišsprendžia biomasės pelenų utilizavimo problemos.

Nuolat ieškoma būdų kaip galima panaudoti tokius pelenus. Įvertinant fizikines ir chemines savybes pelenai gali būti naudojami [7]:

- miškų ūkyje;
- žemės ūkyje;
- kelių tiesime ir remonte;
- cemento ir betono gaminių gamyboje;
- kraštovaizdžio gerinime ar atkūrimo;
- sąvartynų rekultivavime.

Metams bėgant trąšų tradicinių žaliavų ištekliai taip pat mažėja, trąšų kaina didėja, todėl vis labiau ieškoma kitų, pigesnių alternatyvų. Viena iš tokių trąšų žaliavų alternatyvų galėtų būti po biokuro sudeginimo likę pelenai, kurie būtų naudojami kaip trąšos miškų ir žemės ūkyje. Taip būtų sprendžiama ir besikaupiančių pelenų utilizacijos problema. Sudegus biomasei, pelenuose lieka didelis įvairių elementų kiekis. Daugelis šių elementų priskiriami maisto medžiagoms, todėl pelenų kaip trąšų naudojimas leistų sumažinti mineralinių trąšų poreikį žemės ūkyje ir kompensuotų maisto medžiagų nuostolius miško sistemoje.

Priklausomai nuo degimo temperatūros, skiriasi sudegusių pelenų cheminė sudėtis, dalelių dydis ir pH. Kuo aukštesnė biomasės deginimo temperatūra, tuo pH vertė didesnė. Lietuvos katilinėse deginant biomasę palaikoma 650–1100 °C temperatūra, o gautų pelenų pH svyruoja nuo 10 iki 13. Tokie pelenai puikiai tiktų ne tik kaip trąšos, bet ir kaip kalkinimo priemonė

rūgščioms dirvoms. Kadangi mūsų šalies dirvos pamažu rūgštėja, tai būtų dar vienas teigiamas pelenų naudojimo aspektas. Pelenai ne tik sumažintų dirvožemio rūgštingumą, bet pagerintų dirvožemio savybes: jis taptų puresnis, suintensyvėtų vandens ir oro judėjimas, augalai efektyviau pasisavintų reikiamas maisto medžiagas.

Kalbant apie biomasės pelenus būtina atskirti medžių pelenus ir žemės ūkio augalų (grūdų, šiaudų, rapsų, grikių ar saulėgrąžų lukštų ir kt.) pelenus. Medžių pelenuose dažniausiai būna didesnis sunkiųjų metalų (SM) kiekis. Lapuočių medžių pelenai šiek tiek vertingesni, o juose esantis sunkiųjų metalų kiekis – mažesnis, lyginant su spygliuočių medžių pelenais, tačiau visais atvejais medžio pelenuose SM yra daugiau nei žemės ūkio augaluose.

Pelenų kokybė ir jų kiekis labai priklauso nuo deginimo sąlygų, kuro charakteristikų, pakuros konstrukcijos, augalų ar medžių augimo sąlygų, tręšimo normų ir kt. Tai lemia pelenų utilizavimo galimybes. Pelenų klasifikavime svarbu žinoti, kaip sunkieji metalai pasiskirstę skirtingo dydžio dalelėse. Bendruoju atveju, norint panaudoti pelenus kaip trąšas būtina atskirti stambiąją pelenų frakciją nuo smulkiosios, nes dažniausiai smulkiojoje frakcijoje yra daugiau sunkiųjų metalų [7]. Dėl šios priežasties pakuros pelenų ir pelenų surinktų iš ciklonų pritaikymo galimybės didesnės, nei pelenų, kurie susikaupia tankaus audinio filtruose.

Norint pelenus naudoti kaip trąšas būtina nustatyti jų cheminę sudėtį. Svarbu žinoti ne tik pagrindinių, antrinių maisto medžiagų ar mikroelementų, bet ir įvairių kitų elementų koncentracijas. Priklausomai nuo esamo jų kiekio, nustatomas pelenų naudojimo tinkamumas miškų ūkyje, žemės ūkyje ar pažeistų teritorijų rekultivavime. Medžio ir kai kurių žemės ūkio augalų pelenų sudėtis pateikta 1 lentelėje [8–10].

1 lentelė. Medžio ir žemės ūkio augalų pelenų sudėtis

Elementas	Medžio pelenų sudėtis, %		Žemės ūkio augalų pelenų sudėtis, %	
	Pelenai 1	Pelenai 2	Rapsų stiebelių	Saulėgrąžų lukštų
N	0,06	0,09	0,01	0,01
P ₂ O ₅	3,21	1,58	6,23	10,94
K ₂ O	4,97	3,44	20,72	25,84
CaO	44,40	15,30	23,24	19,07
MgO	3,73	2,69	2,12	18,58
Na ₂ O	0,46	0,22	0,19	0,03
S	4455	6800	-	-
Mikroelementai ir sunkieji metalai, mg/kg				
Al	23650	13000	-	-
Fe	19500	3300	1202	2940
Mn	9963	3470	476	410
Zn	700	794	125	167
Cu	145	78	7	406
B	8	127	-	-
Mo	114	-	807	472
Pb	130	66	-	-
Ni	47	12	-	-
Cr	86	14	-	-
Co	-	4	90	0,44
Cd	21	3	-	-

Biomasės pelenų naudojimą kontroliuoja aplinkos apsaugos ministerija, todėl privaloma laikytis galiojančių įstatymų, pagal kuriuos didžiausios leistinos cheminių junginių koncentracijos pelenuose pateiktos 2 lentelėje [11].

2 lentelė. Didžiausiosios leidžiamosios cheminių medžiagų koncentracijos pelenuose, naudojamuose miškų ūkyje, žemės ūkyje, pažeistų teritorijų rekultivavimui

Elementas	Miškų ūkyje	Žemės ūkyje/pažeistų teritorijų rekultivavimui
	DLK, mg/kg sausojoje masėje	
Boras (B)	200	250
Vanadis (V)	150	150
Nikelis (Ni)	20	30
Chromas (Cr)	20	30
Kadmis (Cd)	3	5
Švinas (Pb)	40	50
Varis (Cu)	100	200
Cinkas (Zn)	1000	1500
Arsenas (As)	3	3
Gyvsidabris (Hg)	0,2	0,2
Benzpirenas, µg/kg	0,5	0,5

Jei pelenus sudarančių nepageidaujamų elementų kiekis viršija nustatytas normas, tuomet šių pelenų naudojimas negalimas. Taip pat pelenų naudojimą riboja ir sunkiųjų metalų kiekis esantis pačiame dirvožemyje. Draudžiama naudoti pelenus, jeigu sunkiųjų metalų koncentracija dirvožemyje viršija 70 % didžiausiosios leidžiamosios sunkiųjų metalų koncentracijos, nurodytos 3 lentelėje [11].

3 lentelė. Didžiausioji leidžiamoji sunkiųjų metalų koncentracija (DLK) dirvožemyje

Dirvožemio granulimetrinė sudėtis	Sunkiųjų metalų koncentracija, mg/kg						
	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	Hg
Smėliai, priesmėliai	5	1,0	50	50	50	160	0,6
Priemoliai, moliai	80	1,5	80	80	60	260	1,0

Biomasės pelenus naudoti kaip trąšas nėra paprasta. Visų pirma labai svarbu įvertinti pelenų tinkamumą. Nustačius pagrindinių maisto medžiagų (P, K), antrinių maisto medžiagų (Ca, Mg, Na, S) ir mikroelementų (B, Zn, Cu, Fe, Mn, Mo, Co) koncentracijas, įvertinamos pelenų utilizavimo galimybės. Didelę įtaką pelenų naudojimui daro ir kitų elementų kiekis. Gauti sunkiųjų metalų kiekiai neturi viršyti nustatytų normų. Net jei ir pelenų sudėtis tenkina visas nustatytas, atitinkamų institucijų, normas, pelenus į dirvą bet kokiais norimais kiekiais išbarstyti

– negalima. Būtina įvertinti ir dirvožemio, į kurį planuojama išbarstyti pelenus, savybes: elementų sudėtį, pH, granulimetrinę sudėtį ir kt.

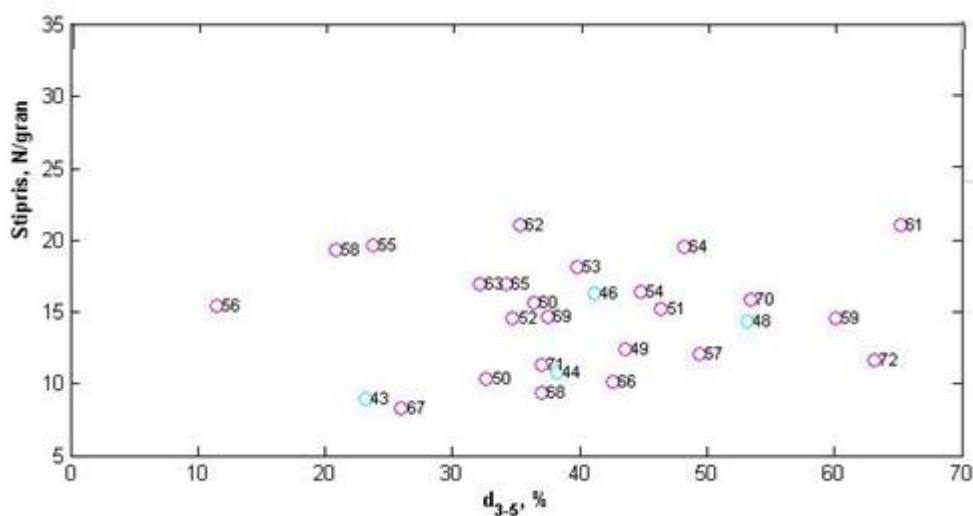
Pelenų poreikis dirvožemiui nustatomas laboratorijoje vadovaujantis 4 lentelėje nurodytu kiekiu pagal pelenų ir dirvožemio, kuriame planuojama išbarstyti pelenus, tyrimų duomenis.

4 lentelė. Leidžiamas naudoti žemės ūkyje pelenų kiekis (t/ha) [11]

Dirvožemio ariamojo sluoksnio granulimetrinė sudėtis	pH					
	< 4,6	4,6–5,0	5,1–5,5	5,6–6,0	6,1–6,5	6,6–7,0
Priesmėliai	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	-
Lengvi ir vidutinio sunkumo priemoliai	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0
Sunkūs priemoliai ir moliai	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5

Nustačius visas reikiamas pelenų savybes atsiranda dar viena problema – tai pelenų išbarstymas į dirvą. Kadangi pelenų dalelės yra labai mažos (< 1 mm dydžio) jeigu pelenai surinkti iš ciklono, ir gali būti gana didelės (iki 5 mm) jeigu – iš pakuros, tolygus pelenų išbarstymas beveik neįmanomas. Siekiant gauti kuo didesnę išbarstymo, o tuo pačiu ir tręšimo efektyvumą pelenus reikia sugrąnuluoti arba naudoti kaip priedą.

Įvairioje literatūroje yra pateikiami tyrimų duomenys apie medžio ar žemės ūkio augalų pelenų granuliavimą [9, 10]. Įvertinant pateikiamą informaciją svarbu yra tai, kad granuluojant sudėtines trąšas, o tuo labiau biomasės pelenus, jų granulių kokybės rodiklių (produkcinė frakcija, statinis stipris, piltinis tankis ir kt.) vertės kinta gana plačiame intervale. Kitaip tariant, tiesioginę priklausomybę nuo vienu ar kitu parametru nustatyti sunku, taškai labai išsibarstę, todėl reikia analizuoti bendrą bandymų seriją. Dažniausiai, siekiant kuo tiksliau atlikti duomenų analizę, kreivės brėžiamos tarp taškų. Panašus taškų išsibarstymas pateiktas 2 paveiksle [10, 12].



2 pav. Pelenų granulių statinio stiprio priklausomybė nuo produkcinės frakcijos kiekio (%)

Biomasės pelenus dedant į NPK trąšas sumažėja šių trąšų savikaina, taupomos kitos žaliavos. Be to, įvedant į NPK trąšas pelenus, prieš tai esantys reikalavimai pelenams beveik nebegalioja, nes pelenų kiekis NPK trąšose, o tuo pačiu ir dirvoje tampa labai mažas, lyginant su vienais pelenais.

Kaip ir tręšiant vienais pelenais, taip ir juos maišant su kitomis žaliavomis, gaminant NPK trąšas, išlieka tas pats tikslas – tolygus trąšų išbarstymas laukuose, kuris užtikrinamas miltelių pavidalo medžiagas granuluojant.

1.3. Granuliavimo būdai

Granuliuotos medžiagos, lyginant su miltelių pavidalo medžiagomis, turi nemažai pranašumų. Granuliuotos medžiagos ilgiau išlieka birios; nedulka transportuojant; dozuojant ar sandėliuojant; geriau sijojamos; nelimpa prie technologinių aparatų paviršių, todėl pailgėja sugranuliuotų medžiagų sandėliavimo laikas, sumažėja transportavimo, sandėliavimo ar gamybos išlaidos, pagerėja sanitarinės darbo sąlygos ir kt.

Naudojant granuliuotas trąšas jos ilgiau neišplaunamos paviršiniaus vandenimis, dėl mažesnio sąlyčio ploto su dirvos komponentais. Tręšiant, granuliuotos vienodo dydžio trąšų granulės, tolygiau pasiskirsto dirvos paviršiuje, taip gaunamas didesnis tręšimo efektyvumas [13].

Granuliavimas – tai smulkių miltelių pavidalo medžiagų formavimas į didesnes daleles – granules. Granuliavimui priskiriama ne tik apvalių, bet ir kitų geometrinių formų (tablečių, briketų) dalelių formavimo procesas. Granuliavimas naudojamas maisto pramonėje, chemijos pramonėje, žemės ūkyje, farmacijoje ir kt.

Paprastai granulėmis vadinamos dalelės, kurių skersmuo yra didesnis kaip 0,5 mm, tačiau biriųjų mineralinių trąšų pramonėje gaminamų granulių skersmuo yra 2–5 mm. Granulės gali būti taisyklingos sferinės ar netaisyklingos rutulio formos. Viena svarbiausių granulių savybių yra jų stipris, nes esant nepakankamai stiprio vertei, sandėliuojamos ar transportuojamos granuliuotos medžiagos gali subyrėti. Nustatyta, kad mechaniškai tvirčiausios yra sferinės formos granulės [13].

Priklausomai nuo trąšų komponentų fizikinių ir cheminių savybių bei agregatinio jų būvio granuliavimo būdai gali būti [13]:

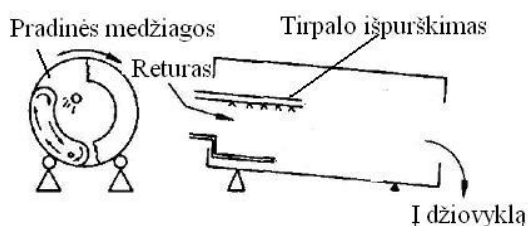
- sausų medžiagų granuliavimas drėkinant vandeniu ir garu;
- pulpos granuliavimas;
- lydalo granuliavimas;
- kompaktavimas.

Pirmuoju būdu trąšų granulės gaunamos sausas žaliavas sudrėkinant vandeniu, pašildant garu ir suformuojant į reikiamo dydžio daleles. Pulpa gaunama sumaišius trąšų komponentus reikiamais santykiais. Gauta pulpa, toliau granuliuojama, o susiformavusios granulės – džiovinamos. Lydalo lašelius sukietinant dujinėje ar skystoje aušinimo terpėje gaunamos priliuotosios trąšos. Paskutinysis granuliuojimo būdas (kompaktavimas) vykdomas miltelių pavidalo daleles spaudžiant didele jėga ir susiformuojant reikiamo dydžio ir formos tabletes.

Labai svarbu tinkamai įvertinti trąšų komponentų fizikines-chemines savybes, plastiškumą, įrangos ekonomiškumą, našumą, o taip pat ir planuojamo gauti produkto fizikines-chemines savybes. Nuo šių minėtų rodiklių priklauso pagrindinio aparato-granuliuotuvio pasirinkimas.

Dažniausiai trąšų gamyboje pasitaikantys granuliuotuvio tipai pateikti 2–9 paveiksluose [13].

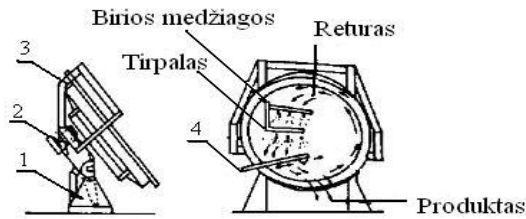
Būgniniai granuliuotuviai. Šio tipo granuliuotuviai (3 pav.). trąšų gamyboje naudojami gana dažnai. Tai besisukantis horizontalus būgnas, kuris su horizontu sudaro 1–3 ° posvyrio kampą. Į granuliuotuvį tiekiami pašildyti trąšų komponentai, returas ir drėkinanti skystoji fazė.



3 pav. Būgninis granuliuotuvius

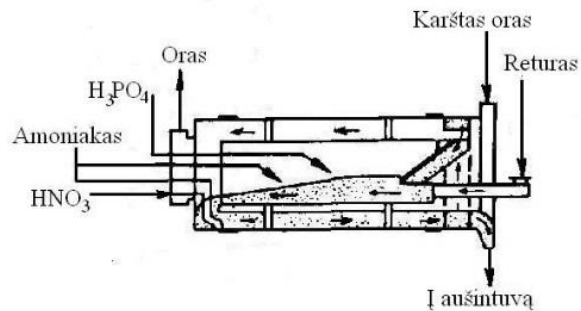
Sukantis granuliuotuviai, pašildytos ir sudrėkintos miltelių pavidalo medžiagos besiridendamos aglomeruojasi ir susiformuoja į sferinės formos granules. Gautos granulės toliau džiovinamos. Būgnų matmenys gali būti: ilgis 5–12 m, skersmuo 1,5–3 m, sukimosi dažnis 0,1–0,2 s⁻¹. Būgno užpildymo koeficientas granuliuojama medžiaga 20–30 %. Šių granuliuotuvio našumas siekia dešimtis tonų per valandą.

Lėkštiniai (diskiniai) granuliuotuviai. Ant disko tiekama granuliuojama medžiaga yra nuolat drėkinama. Lėkštinio tipo granuliuotuvyje besisukanti medžiaga susiformuoja į granules. Veikiama išcentrinės, svorio ir trinties jėgų medžiaga prisispaudžia prie disko paviršiaus ir jo sienelės. Susiformavusios granulės nurieda per apatinius medžiagos sluoksnius ir persipila per sienelę. Tokio tipo granuliuotuvio diskai gali būti 1–6 m skersmens. Disko posvyrio kampas su horizontu sudaro 45–65 °, o disko sienelės aukštis siekia 0,1–0,6 m. Lėkštinių granuliuotuvio našumas – 1 tona produkto per valandą iš 1 m² lėkštės. Lėkštinis granuliuotuvius pateiktas 4 paveiksle.



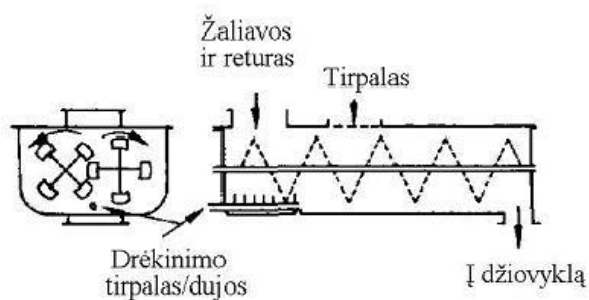
4 pav. Lėkštinis granulatorius: 1 – stovas; 2 – pavara; 3 – korpusas; 4 – nukreipimo mentelė

Būgniniai granulatoriai-džiovyklos. Tai aparatas (5 pav.), kuriame granuliavimas ir džiovinimas vyksta vienu metu. Suspensija purškama ant aparate esančių mažų granulių. Išpurkšta suspensija padengia granules ir greitai džiūsta. Toliau vykstant procesui granulės sutankėja ir visiškai išdžiūsta. Tokio tipo aparatų ilgis yra 10–20 m, skersmuo siekia 3–4 m, posvyrio kampas sudaro 3° , sukimosi dažnis – $0,05\text{--}0,08\text{ s}^{-1}$, būgno užpildymo koeficientas – 15 %. Vandens kiekis granuliuojamoje medžiagoje gali kisti nuo 10 iki 50 %. Džiovinančių dujų temperatūra nustatoma atsižvelgiant į granuliuojamos medžiagos savybes. 1 m^3 tūrio būgno našumas siekia 80–120 kg produkto per valandą.



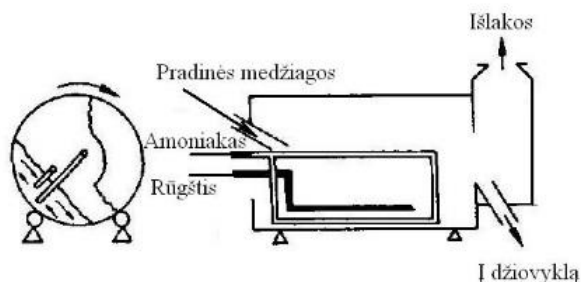
5 pav. Būgninis granulatorius-džiovykla

Sraigtiniai granulatoriai. Tokių aparatų ilgis gali būti 3–5 m, sraigtų sukimosi dažnis – $0,5\text{--}1,7\text{ s}^{-1}$. Granuliatorių sudaro pasviręs būgnas, kurio viduje yra 1 arba 2 lygiagrečiai išdėstyti sraigtai. Sraigtai gali sukintis viena arba skirtingomis kryptimis. Ant jų sumontuotos maišymo ir transportavimo mentės. Į granuliatorių gali būti tiekiamos tiek skystos tiek kietos pradinės medžiagos, o tai pat ir returas. Sraigtinis granulatorius pateiktas 6 paveiksle.



6 pav. Sraigtinis granulatorius

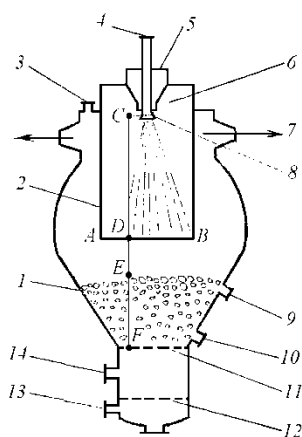
Amonizatoriai-granuliatoriai. Toks granuliatorius (7 pav.) iš esmės nesiskiria nuo būgninio granuliatoriaus, tik čia gaminant sudėtines trąšas, tuo pačiu metu amonizuojami pradiniai komponentai.



7 pav. Amonizatorius-granuliatorius

Amonizavimo proceso metu išsiskiranti šiluma sunaudojama produktui džiovinti. Returo skaičius priklauso nuo granuliuojamos medžiagos sudėties ir dažniausiai mažėja mažėjant maistingųjų medžiagų koncentracijai trąšose.

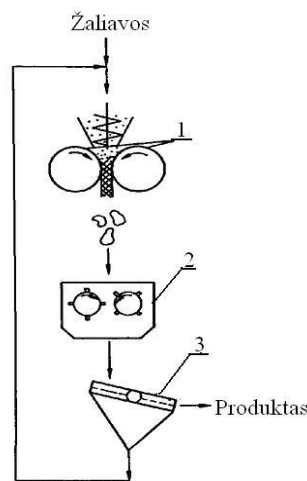
Verdančio sluoksnio granuliatoriai (8 pav.). Šio tipo aparatuose granulės gaunamos iš tirpalų ir suspensijų džiovinant jas dujų sraute. Tokiuose granuliatoriuose galima gaminti granulės iš skystų lydalų šalto oro sraute. Oras ir dujos tiekiamas pro skylėtą pertvarą virš kurios palaikomas pseudoverdantis granulių sluoksnis. Granuliuojamas skystis gali būti disperguojamas tiekiant jį iš viršaus arba išpurškiamas tiesiai į verdantį sluoksnį. Granulių paviršiuje skystis išgaruoja ir taip granulės padidėja. Padidėjusios iki reikiamo dydžio granulės separuojamos ir pašalinamos iš aparato kaip produktas. Dujos, išeinančios iš aparato išsineša nemažą kiekį dulkių, kurios nusodinamos ir grąžinamos atgal į procesą.



8 pav. Verdančio sluoksnio granuliatorius: 1 – korpusas, 2 – cilindras; 3 – gražinamų smulkių dalelių atvamzdis; 4 – granuliuojamos suspensijos atvamzdis; 5, 13 – dujų atvamzdžiai; 6 – karštų dujų tiekimo tūta; 7 – panaudotų dujų pašalinimo atgaliai; 8 – suspensijos tiekimo įrenginys; 9 – gražinamų dulkių atvamzdis; 10 – gautų granulių išleidimo atvamzdis; 11 – skylėta pertvara; 12 – apatinė skylėta pertvara; 14 – oro pašalinimo atvamzdis

Verdančiame sluoksnyje susidariusios granulės gali būti įvairių dydžių, todėl iš aparato išeinančios granulės prapučiamos priešpriešiniu oru, siekiant smulkesnes daleles grąžinti atgal į verdantį sluoksnį.

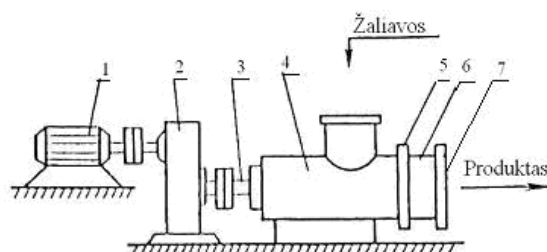
Presavimo įrenginiai. Toks įrenginys (9 pav.) naudojamas paprastosioms ir sudėtinėms trąšoms granuluoti. Priklausomai nuo to kokio tvirtumo granulę norima gauti keičiamas presavimo jėga. Medžiaga suspaudžiama tarp dviejų ritinėlių, o iš jos išspausťas oras nusiurbiamas. Supresuota juosta patenka į trupintuvą, kur susmulkinama iki reikiamo dydžio gabalėlių. Po smulkinimo dalelės sijojamos. Stambesnioji ir smulkesnioji frakcijos grąžinamos į procesą, o produkcinė frakcija tiekiamą tolimesniam apdorojimui.



9 pav. Presavimo įrenginys: 1 – velenai, 2 – smulkintuvas, 3 – sijoklis

Jeigu medžiaga pasižymi dideliu plastiškumu, jos presavimui reikia nedidelės jėgos. Esant didelei slėgimo jėgai ir aukštai temperatūrai gali susidaryti skystoji fazė – eutektiniai lydalai, kurie po atvėsimo padidina produkto stiprumą. Taip pat stiprumą galima padidinti pridedant į presuojamą medžiagą specialių priedų: sudarančių plėveles, mažinančių trintį bei surišančių medžiagas.

Ekstruderiai (10 pav.). Šių aparatų paskirtis – granuluoti pastos pavidalo medžiagas. Ekstruderiai skirstomi į sraigťinius ir rotorinius. Gaminant tokiu būdu gaunamos vienalytės ir labai tvirtos granulės. Paprastai ekstruderiai naudojami nedideliems produkto kiekiams gaminti.



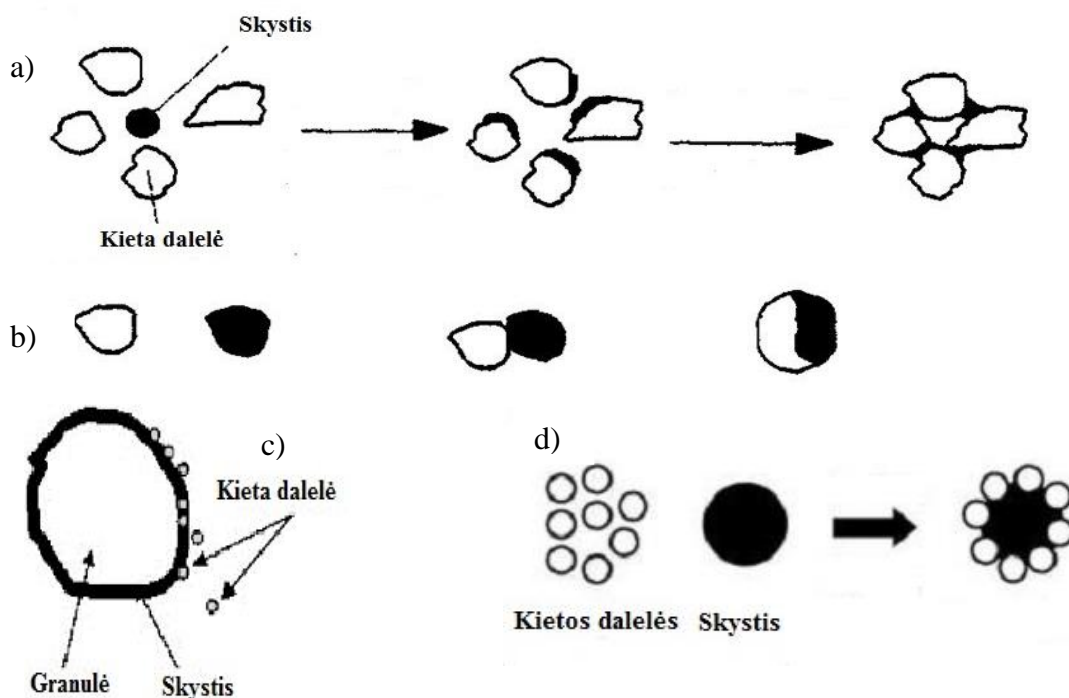
10 pav. Ekstruderis: 1 – elektros variklis, 2 – reduktorius, 3 – ašis, 4 – korpusas, 5 – filjerinė, užsklanda, 6 – praspaudimo galvutė, 7 – užraktas

Sudozuota medžiaga sraigtu ekstruduoja pro filjerinę užsklandą. Susiformavę šiaudeliai savaime lūžinėja ir krenta ant transporterio juostos. Toliau, suformuoti šiaudeliai patenka į džiovyklą. Pagrindinis ekstruderio trūkumas yra mažas gamybinis pajėgumas, tačiau su šio tipo aparatu galima gauti vamzdelio ar žiedo formos granules.

1.4. Granuliavimo mechanizmas

Granuliuotų trąšų naudojimas turi nemažai privalumų, lyginant su miltelių pavidalo trąšomis arba trąšų mišiniais, ne tik todėl, kad jos nesusiguli, nedulka, geriau pasiskirsto dirvoje, bet ir todėl, kad vienoje granulėje yra visos augalams reikalingos maisto medžiagos. Dažniausiai trąšų gamyboje naudojamas granuliavimo procesas – drėkinant trąšų komponentus skysčiu. Pradinė granuliavimo stadija yra aglomeracija – tai procesas, kurio metu mažos dalelės jungiasi į vieną didesnę dalelę – branduolį (aglomeratą). Toks procesas yra gana sudėtingas. Priklausomai nuo kietų dalelių dydžio ir skystosios fazės kiekio bei dispersiškumo laipsnio išskiriami keturi aglomeratų susidarymo ir granuliu augimo mechanizmai (11 pav.) [14].

Pirmasis mechanizmas – surišimas, sujungimas, kuris vyksta kai ant smulkių medžiagos dalelių patekęs skystis (rišiklis) jas sudrėkina. Esant pakankamam rišiklio kiekiui sudrėkintų dalelių skaičius didėja. Tarp sudrėkintų dalelių atsiranda skysčio jungtys – tilteliai. Didėjant jungčių skaičiui mažos dalelės sukimba tarpusavyje. Taip formuojasi vis didesnės dalelės – branduoliai.



11 pav. Granulių augimo mechanizmai: a) – surišimas (sujungimas), b) – suaugimas, c) – sluoksniavimas, d) - dengimas

Antrajame mechanizme – suaugime – vyksta dviejų, vienodo dydžio, susijungusių aglomeratų formavimasis į granulę. Trečiasis mechanizmas – sluoksniavimasis – vyksta kai ant sudrėkinto aglomerato sluoksniuojasi mažos kietos dalelės ir taip didina aglomeratą iki tam tikros ribos, nuo kurios prasideda atvirkštinis procesas – dilimas. Ketvirtajame mechanizme – dengimas – ant skysčio (rišiklio) lašelio sluoksniuojasi mažos kietos dalelės.

Kurio nors vieno 11 paveiksle pateikto granuliu augimo mechanizmo vyravimas granuliuavimo procese ypač priklauso nuo kietų dalelių ir skysčio (rišiklio) santykio ir prigimties [14]. Granuliuojamos medžiagos plastiškumui palaikyti ir geresnėms aglomeracijos sąlygoms sudaryti didelę įtaką turi skystoji fazė, kurią sudaro: tarpkristalinis tirpalas, higroskopinė drėgmė arba specialiai pridėti skysčiai (vanduo, druskų tirpalai, garai, klampios rišančiosios medžiagos).

Esant per mažai drėgmės granulėje tarp dalelių, jų sąlyčio vietoje, susidaro atskiros netvirtos jungtys – tilteliai, kurie lengvai suyra. Kai granulėje yra per daug drėgmės, skystis užpildo visas poras, apgaubia sausos medžiagos daleles ir gaunamas skysčio lašas su jame pakibusia kieta faze. Abiem minėtais atvejais pasireiškia kapiliarinės jėgos, kurios lemia nepakankamą granulės stiprumą. Šias jėgas sąlygoja paviršiaus įtempimas ir kapiliarinis slėgis, veikiantys skystuose tilteliuose. Jeigu skystis visiškai apgaubia granulę, tuomet gaunama mechaniškai netvirta, lipni granuliuota medžiaga, o jeigu jo trūksta per sausa, biri medžiaga.

Pagamintos granulės tvirtumas priklauso nuo adhezijos ir kohezijos jėgų. Skystis neleidžia granulei suirti. Ją deformuojant pakankamo stiprumo ir elastingumo skysti tilteliai pakeičia savo padėtį, bet neplyšta. Jėgos neleidžiančios granulei suirti labiausiai pasireiškia, didėjant rišančio skysčio klampai [13].

Kieti tilteliai tarp granuliuojamos medžiagos dalelių susidaro kristalizuojantis medžiagai iš skystosios fazės ir jai džiūstant. Kieti tilteliai gali susidaryti ir vykstant cheminėms reakcijoms tarp miltelių pavidalo medžiagos ir pridėto priedo. Polimorfiniai medžiagos virsmai keičiantis temperatūrai, tokie kaip – sukepimas, klijuojančių priedų džiūvimas, taip pat turi įtakos šių tiltelių atsiradimui. Paprastai granulės gaunamos poringesnės ir silpnesnės kai granuliuojamoje medžiagoje yra didelis drėgmės kiekis. Optimalus skystosios fazės kiekis yra 3–18 %, tačiau jis priklauso nuo fizikinių ir cheminių medžiagos savybių, atskirų jos dalelių dydžių ir granuliuavimo būdo. Drėgmės reikia mažiau jeigu granuliuojamą mišinį sudarančių druskų tirpumas yra didelis. Keliant temperatūrą daugelio druskų tirpumas didėja, todėl stengiamasi granuliuavimo procesą vykdyti aukštesnėje temperatūroje taip siekiant sumažinti reikalingos drėgmės kiekį.

2. Metodinė dalis

2.1. Naudotos medžiagos

Grikių lukštų pelenų analizei, granuliavimui bei NPK 10–13–18 markės trąšų granuliavimui buvo naudojamos šios medžiagos:

1. Grikių lukštų pelenai naudojami iš įmonės UAB „Ekofrisa“, kuri gamina grikių, miežines, kvietines, perlines, žirnių kruopas. Pelenų dalelių dydis < 1 mm.

2. Azoto rūgštis (HNO_3). Tyrimams buvo naudojama 65 % koncentracijos rūgštis. Švarumo klasė – švari analizei.

3. Druskos rūgštis (HCl). Tyrimams buvo naudojama 35 % koncentracijos rūgštis. Švarumo klasė – chemiškai švari.

4. Karališkasis vanduo. Azoto ir druskos rūgščių mišinys. Karališkas vanduo gaunamas rūgštis sumaišius (HNO_3) 1:3 (HCl) santykiu.

5. Fosforo rūgštis (H_3PO_4). Tyrimams buvo naudojama ekstrakcinė 85 % koncentracijos rūgštis. Švarumo klasė – chemiškai švari.

6. Polivinilo acetatas (PVA) – tai klampus baltos ar gelsvos spalvos skystis be pašalinių mechaninių priemaišų ir kietų dalelių. PVA dinaminė klampa yra 2–18 Pa·s, pH vertė 4–6 [15].

7. Vandentiekio vanduo.

8. Amonio sulfatas (AS) (NH_4)₂SO₄. Tai smulkūs balti su pilkai rausvu, žalsvu arba kitokiu atspalviu kristalai. Amonio sulfate yra 20,5–21,2 % azoto ir 23–24 % sieros. Tyrimui naudojamas amonio sulfatas yra iš Novopolocko.

9. Amonio hidrofosfatas (DAP) (NH_4)₂HPO₄. Amonio hidrofosfatas yra granuluota gelsvai pilkos spalvos medžiaga. 1–4 mm frakcijos granulės sudaro apie 90 %. Šioje žaliavoje yra 16–18 % azoto ir 46–48 % fosforo. Tyrimams naudojamas amonio hidrofosfatas yra iš Kėdainių.

10. Kalio sulfatas (SOP) K₂SO₄. Tai balta arba baltai gelsva, nehigroskopiška kristalinė medžiaga, turinti 45–52 % K₂O ir 18 % S. Kalio sulfatas buvo naudojamas iš Ačinsko.

11. Natrio nitritas (NaNO_2) – tai balti arba gelsvi kristaliniai milteliai. Natrio nitrito tirpumas vandenyje yra apie 49 %. Virš sotaus NaNO_2 tirpalo 25 °C temperatūroje laikosi pastovi apie 75 % drėgmė.

12. Grynos analizei druskos: $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{aq}$ naudotos mikroelementų gradavimo grafikams sudaryti, nustatant jų koncentraciją pelenuose.

2.2. Analizės metodai

2.2.1. Skaidymo metodika

Norint nustatyti grikių lukštų pelenų cheminę sudėtį, jie prieš analizę buvo tirpinami karališkame vandenyje. Tyrimams paimta 1 g pelenų, ant kurių buvo užpilta 50 ml karališko vandens. Pelenai periodiškai, stikline lazdele, maišomi iki reakcijos pabaigos. Po to, paliekami maždaug parai, kad visos tirpios medžiagos gerai ištirptų. Praėjus nurodytam laikui tirpalas filtruojamas. Surinktas filtratas perpilamas į 500 ml talpos kolbą ir praskiedžiamas iki žymos. Paruoštas tirpalas naudojamas tolimesniems tyrimams.

2.2.2. Liepsnos fotometrinė analizė

Kalcio (Ca), natrio (Na) ir kalio (K) elementų analizė tirpale buvo atliekama liepsnos fotometriniu metodu naudojant liepsnos fotometrą PFP-7. Deginant gamtinių dujų ir oro mišinį palaikoma 1500–2000 °C temperatūra. Elementų koncentracija nustatoma esant skirtingiems bangos ilgiams: Ca – 622 nm; Na – 589 nm; K – 766 nm. Iš gautų rezultatų sudaromas gradavimo grafikas ir apskaičiuojama elemento koncentracija pelenuose [16].

2.2.3. Fotokolorimetrinė analizė

Fosforo kiekio nustatymas atliktas fotokolorimetriniu metodu, pagal geltonos spalvos fosforo – molibdeno – vanadžio komplekso susidarymą, naudojant spektrofotometrą T70/T80 UV-VIS, kai bangos ilgis $\lambda = 440$ nm, o kiuvetės storis $l = 10$ mm [17]. Duomenys pateikiami perskaičiavus į fosforo pentoksidą (P_2O_5).

2.2.4. Atominė absorbcinė spektrinė analizė

Kitiems elementams tokiems kaip geležis (Fe), varis (Cu), cinkas (Zn), manganas (Mn), kobaltas (Co) bei tas pats kalcis (Ca) nustatyti, taikytas atominės absorbcijos spektrometrinis metodas. Spektrometras – Aanalyst 400. Liepsnai gauti buvo deginamos acetileno dujos (C_2H_2), o nustatinėjant molibdeną – N_2O dujos. Naudoti bangų ilgiai elementams nustatyti: Fe – 248,3 nm; Cu – 324,7 nm; Zn – 213,8 nm; Mn – 279,4 nm; Co – 240,7 nm; Mo – 313,2 ir Ca – 422,6 nm [18].

2.2.5. Rentgeno difrakcinė analizė

Rentgeno difrakcinė analizė atlikta difraktometru D8 Advance. Naudota spinduliuotė – Cu $K\alpha$, Ni filtras, detektoriaus judėjimo žingsnis $0,02^\circ$, intensyvumo matavimo trukmė žingsnyje – 0,5 s, anodinė įtampa $U_a = 40$ kV, srovės stipris $I = 40$ mA. Difraktogramų šifravimas atliktas naudojant Diffract.EVA programą [19].

2.2.6. Rentgeno fluorescencinė analizė

Rentgeno fluorescencinė analizė atlikta rentgeno spinduliuotės fluorescenciniu spektrometru Bruker X-ray S8 Tiger WD. Naudotas rodžio (Rh) vamzdelis, anodinė įtampa U_a iki 60 kV,

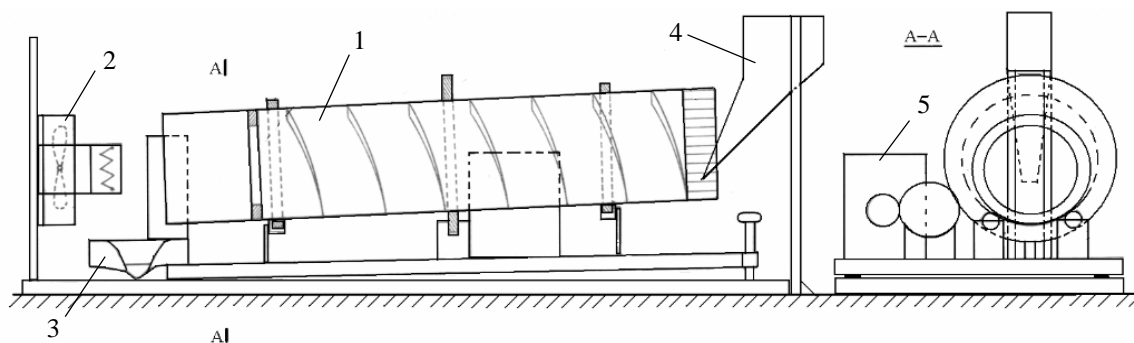
srovės stipris I iki 130 mA. Supresuoti bandiniai matuoti helio atmosferoje. Matavimai atlikti naudojant SPECTRA Plus QUANT EXPRESS metodą.

2.2.7. Infraraudonojo spektro molekulinė absorbcinė spektrinė analizė

Infraraudonojo spektro molekulinė absorbcinė spektrinė analizė buvo atlikta spektrometru Spectrum GX. Bandinys gamintas presuojant tabletes iš grikių lukštų pelenų ir optiškai gryno išdžiovinto KBr. Tabletė paruošiama sumaišant 1 mg tiriamos medžiagos ir 200 mg kalio bromido [20].

2.3. Granuliavimo metodika

Grikių lukštų pelenai ir NPK 10–13–18 markės trąšos buvo granuliuojamos laboratoriniu būgniniu granulatoriumi-džiovykla (12 pav.). Granulatoriaus posvyrio kampas su horizontu 3° , o sukimosi greitis – 26 aps/min. Granuliuojant pelenus būgniniame granulatoriuje-džiovykloje palaikoma apie 60°C , o granuliuojant NPK trąšas palaikoma apie 70°C temperatūra. Granulėms džiovinti ir užsiduotai temperatūrai palaikyti orapūte pučiamas karštas oras. Granuliatorių – džiovyklų būgno užpildymo laipsnis granuliuojama medžiaga siekia 15 %, o grikių lukštų pelenai yra labai lengvi, jų piltninis tankis tik 341 kg/m^3 . Pelenams sudrėkinti reikia didelio vandens kiekio, todėl atsižvelgiant į šiuos parametrus buvo ruošiami 100 g grikių lukštų pelenų bandiniai.



12 pav. Būgninis granulatorius-džiovykla: 1 – granulatoriaus būgnas; 2 – orapūtė; 3 – produkto surinkimo talpa; 4 – dozavimo latakas; 5 – elektros variklis su pavara

2.4. Fizikiniai cheminiai metodai

Sugranuliuotų pelenų ir NPK trąšų tyrimams atlikti buvo naudoti įvairūs fizikiniai ir cheminiai metodai.

1. Trąšų drėgmė. Po džiovinimo drėgmės kiekiui granuliuotuose pelenuose ir NPK trąšose nustatyti buvo naudojamas automatinis KERN MSL drėgnomatis. Drėgnomačio svarstyklių tikslumas 0,001 g. Pasverta tam tikra, fiksuota bandinio masė buvo džiovinama 65°C temperatūroje iki pastovios masės.

2. Granulimetrinė trąšų sudėtis. Ji nusako trąšų skirtingo dydžio frakcijų kiekį ir santykį. Granulimetrinė sudėtis nustatyta RETCH firmos pintaais sietais DIN-ISO 3310/1. Procentinė frakcijų sudėtis nustatyta kiekvieną frakciją sveriant WPS 210/C KERN ABJ svarstyklėmis, kurių tikslumas 0,001 g [21].

3. pH. Vandenilio jonų koncentracija nustatyta pH-metru Hanna Instruments pH 211. pH vertei nustatyti buvo gaminamas 10 % tirpalas. Reikiamas pelenų ar trąšų kiekis sveriamas WPS 210/C KERN ABJ svarstyklėmis. Pagamintas tirpalas filtruojamas ir nustatoma pH vertė.

4. Laisvai supiltų ir sutankintų granuliu piltinis tankis. Laisvai supiltų granuliu piltinis tankis – tai medžiagos laisvai supiltos į konteinerį, masė tūrio vienetu. Laisvai supiltas piltinis tankis buvo nustatomas pasveriant cilindrą į kurį supiltas tam tikras tūris bandinio produkcinės frakcijos granuliu. Sutankintas piltinis tankis buvo nustatomas prieš tai pasvertą cilindrą su trąšomis supurčius iki tol kol trąšų tūris nebemažėja. Pripylus granuliu iki prieš tai pasirinktos žymos cilindras vėl pasveriamas ir taip gaunamas sutankintų granuliu piltinis tankis [22].

5. Granuliu statinis stipris. Jis nusakomas jėga, kuri reikalinga sutrupinti atskiras granules. Statinis granuliu stipris buvo nustatomas ИИГ–2 prietaisu. Jo matavimų ribos 5–200 N, ribinė paklaida ± 2 % nuo viršutinės matavimo ribos, kai temperatūra 20 ± 5 °C. Stipris nustatytas traiškant iš kiekvieno bandinio po 10 produkcinės frakcijos granuliu, kiek įmanoma labiausiai sferinės formos ir apskaičiuojant jų stiprio verčių aritmetinį vidurkį [23].

6. Higroskopiškumas – tai medžiagos savybė iš oro sugerti drėgmę. Sugranuliuotų grikių lukštų pelenų higroskopiškumui įvertinti buvo gaminamas sotus NaNO_2 tirpalas. Pasvertas reikiamas granuliu kiekis buvo laikomas dvi savaites, eksikatoriuose, virš sotaus NaNO_2 tirpalo, palaikant 70–75 % drėgmę ir 20–25 °C temperatūrą.

3. Rezultatai ir jų aptarimas

3.1. Žaliavų analizė

Grikių lukštų pelenų sudėtis ir juos sudarančių elementų koncentracija buvo nustatyta įvairiais analizės metodais. Rezultatai gauti naudojant rentgeno spinduliuotės fluorescencinę ir atominę absorbcinę spektrinę analizę pateikti 5 lentelėje.

5 lentelė. Pagrindinių ir antrinių maisto medžiagų bei mikroelementų koncentracija pelenuose

Pagrindinės ir antrinės maisto medžiagos, %					
K ₂ O	P ₂ O ₅	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O
25,4	9,5	16,1–21,7	12,4	3,5	0,07
Mikroelementai, mg/kg					
Zn	Mn	Cu	Fe	Co	Mo
441–659	2500–3949	124–293	5969–7850	7,6	9,3

Kalio (K), natrio (Na) ir kalcio (Ca) paprastai pelenuose būna daug, todėl jų koncentracijoms nustatyti buvo naudojama liepsnos fotometrinių analizė. Gauti elementų kiekiai yra: K₂O – 26,5 %, Na₂O – 0,03 % CaO – 20,3 %.

Fosforo kiekis pelenuose buvo nustatytas naudojant fotokolorimetrinį analizės metodą. Grikių lukštų pelenuose esantis fosforas tirpus vandenyje – 0,05 %, o tirpus citrate – 5,3 %.

Kadangi pelenus naudoti, kaip trąšas galima tik tuo atveju, jeigu juose nėra augalams, gyvūnams ir žmonėms kenksmingų sunkiųjų metalų. Agrocheminių tyrimų centre buvo atlikta kai kurių metalų analizė. Sunkiųjų metalų ir kitų elementų koncentracijos pelenuose pateiktos 6 lentelėje.

6 lentelė. Sunkiųjų metalų ir kitų elementų koncentracija pelenuose

Elemento pavadinimas	Kiekis, mg/kg
Kadmis (Cd)	1,80
Selenas (Se)	1,27
Chromas (Cr)	18,3
Nikelis (Ni)	15,7
Švinas (Pb)	< 2,5
Gyvsidabris (Hg)	0,013
Aliuminis (Al)	1943
Silicis (Si)	8025
Stroncis (Sr)	584
Titanas (Ti)	258
Rubidis (Rb)	335

Iš literatūros duomenų žinoma, kad vieni pelenai granuliuojasi blogai, todėl buvo pridėta stipri rišančioji medžiaga – polivinilo acetatas (PVA) [15], kuri pagal kenksmingų medžiagų

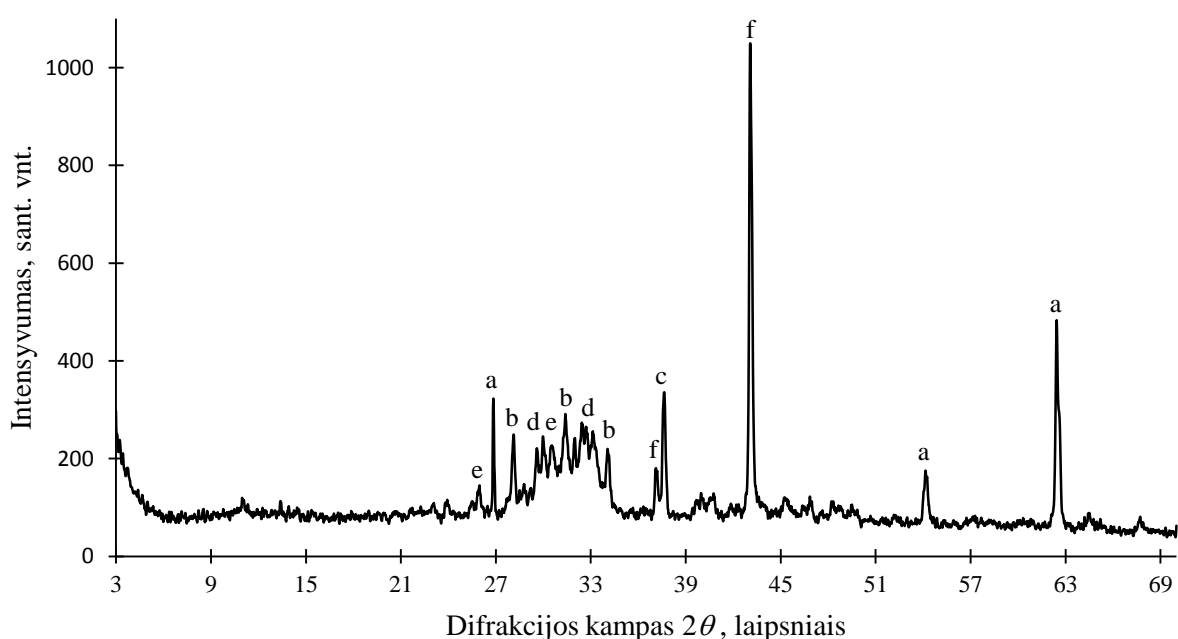
klasifikaciją nėra klasifikuojama kaip pavojinga medžiaga. Vertinant granuliuvimui paimtas medžiagas buvo ištirtos kai kurios jų savybės (7 lentelė).

7 lentelė. Kai kurios grikių lukštų pelenų ir PVA savybės

Pelenai		PVA			
10 % tirpalo pH	11,40	Koncentracija, %	10	20	30
Laisvai supiltų pelenų piltnis tankis, kg/m ³	341,0	10 % tirpalo pH	5,21	4,42	5,05
Sutankintų pelenų piltnis tankis, kg/m ³	503,2	Tankis, kg/m ³	1,004	1,012	1,020

Pelenai buvo tiriami infraraudonojo spektro molekulinės absorbcinės spektrinės analizės (IR) metodu. Gauti rezultatai pateikti 1 priede. IR spektre 3100–2800 cm⁻¹ dažnių srityje matoma plati absorbcinė juosta, kuri priskirtina CH grupei. 2400–1700 cm⁻¹ srityje matomi virpesiai būdingi CO grupei. CO₃⁻² funkcinei grupei priskiriama 1500–1200 cm⁻¹ srityje esantiems virpesiams. Dar viena plati absorbcinė juosta 1150–950 cm⁻¹ srityje priskiriama PO₄⁻³ funkcinei grupei. Taip pat 900–800 cm⁻¹ ir 400–500 cm⁻¹ srityse esančius virpesius galime priskirti CO₃⁻² funkcinei grupei, o virpesius 500–650 cm⁻¹ dažnių srityje – PO₄⁻³ funkcinei grupei.

Siekiant patvirtinti ir patikslinti grikių lukštų pelenų cheminę sudėtį buvo atlikta rentgeno difrakcinė analizė. Gauti rezultatai pateikti 13 paveiksle.



13 pav. Grikių lukštų pelenų rentgeno difrakcinė kreivė: a – K₂CO₃, b – CaCO₃, c – CaO, d – K₃PO₄, Ca₃(PO₄)₂, e – Mg₃(PO₄)₂, f – MgO,

3.2. Grikių lukštų pelenų granuliavimas

Įvertinus gautus grikių lukštų pelenų cheminės analizės duomenis (3.1. skyrius) galima daryti išvadą, kad šie pelenai yra tinkami kaip žaliava trąšoms gaminti, nes juose yra daug pagrindinių ir antrinių maisto medžiagų bei mikroelementų ir labai mažai sunkiųjų metalų.

Kadangi grikių lukštų pelenai surinkti iš ciklono, jie yra labai lengvi. Didžiausią šių pelenų dalį sudaro dalelės, kurių dydis neviršija 1 mm. Naudoti tokius pelenus kaip trąšas yra labai sudėtinga, nes tokių pelenų dulketumas labai didelis, o pelenų išbarstymas laukuose, siekiant tolygiai paskirstyti juos ant dirvos, beveik neįmanomas. Atsižvelgiant į šias priežastis, vienintelis būdas pagerinti pelenų naudojimą tręšimui yra jų granuliavimas.

Pradžioje eksperimento buvo pasverta 100 g pelenų, kurie prieš granuliavimą pašildyti iki 60 °C temperatūros. Granuliavimo proceso vykdymui be sausos reikia ir skystos fazės, todėl paruošta 50 ml 1 % H_3PO_4 rūgšties tirpalas, kuris taip pat pašildytas iki 60 °C temperatūros. Žaliavos sumaišomos ir sudozuojamos į būgninį granuliatorių-džiovyklą, kuriame palaikoma apie 70 °C temperatūra. Granulėms džiovinti į būgninį granuliatorių-džiovyklą orapūte pučiamas karštas oras. Po granuliavimo gautų dalelių rodikliai neatitiko norimų rezultatų, todėl palaikant tokias pat granuliavimo sąlygas nuosekliai, kas 10 ml buvo didinamas į pelenus įpilamo 1 % H_3PO_4 rūgšties tirpalo kiekis. Pasiėkus 90 ml 1 % koncentracijos H_3PO_4 rūgšties tirpalo kiekį pelenuose, rezultatai beveik nepasikeitė. Po granuliavimo išdžiovinus pelenų granules nustatyta, kad 2–5 mm produkcinės frakcijos išėiga ir granulių statinis stipris labai maži, granulės greitai subyra nuo nedidelės išorinės jėgos poveikio. Esant tokiems rezultatams akivaizdu, kad 1 % H_3PO_4 rūgšties tirpalo teigiama įtaka granuliavimui yra labai nedidelė, todėl siekiant padidinti pelenų produkcinės frakcijos išėigą ir granulių statinį stiprį buvo pasirinkta kita žaliavų plastiškumą gerinanti ir adhezijos jėgas didinanti medžiaga polivinilo acetatas (PVA). Tęsiant eksperimentą kiekvienam bandiniui buvo sveriamas po 100 g pelenų ir ruošiamas 10 % PVA tirpalas. Abu komponentai pašildomi iki 60 °C temperatūros, sumaišomi ir sudozuojami į būgninį granuliatorių-džiovyklą. Čia palaikoma apie 60 °C temperatūra. Siekiant nustatyti geriausias granuliavimo sąlygas pirmasis šios serijos bandinys buvo pradėtas granuliuoti į pelenus įpilant 70 ml 10 % PVA tirpalo. Vėliau PVA tirpalo kiekis buvo nuosekliai didinamas kas 10 ml iki 110 ml, o pasiekus 110 ml tūrį, jo kiekis buvo didinamas kas 5 ml iki 130 ml. Skystos fazės kiekis sunaudotas grikių lukštų pelenams granuliuoti buvo perskaičiuotas į procentus. Po granuliavimo gautas produktas išdžiovinamas 70 °C temperatūroje iki ne didesnės kaip 2 % drėgmės, išfrakcionuotas į > 5; 3–5; 2–3; 1–2; < 1 mm frakcijas, išmatuotas kiekvieno bandinio pH, nustatytas produkcinės 2–5 mm granulių frakcijos statinis stipris, laisvai supiltų ir sutankintų granulių piltinis tankis. Siekiant gauti gerenį produktą granuliavimas buvo vykdomas naudojant 20 % ir 30 % koncentracijos PVA tirpalus. Gauti rezultatai pateikti 8 lentelėje.

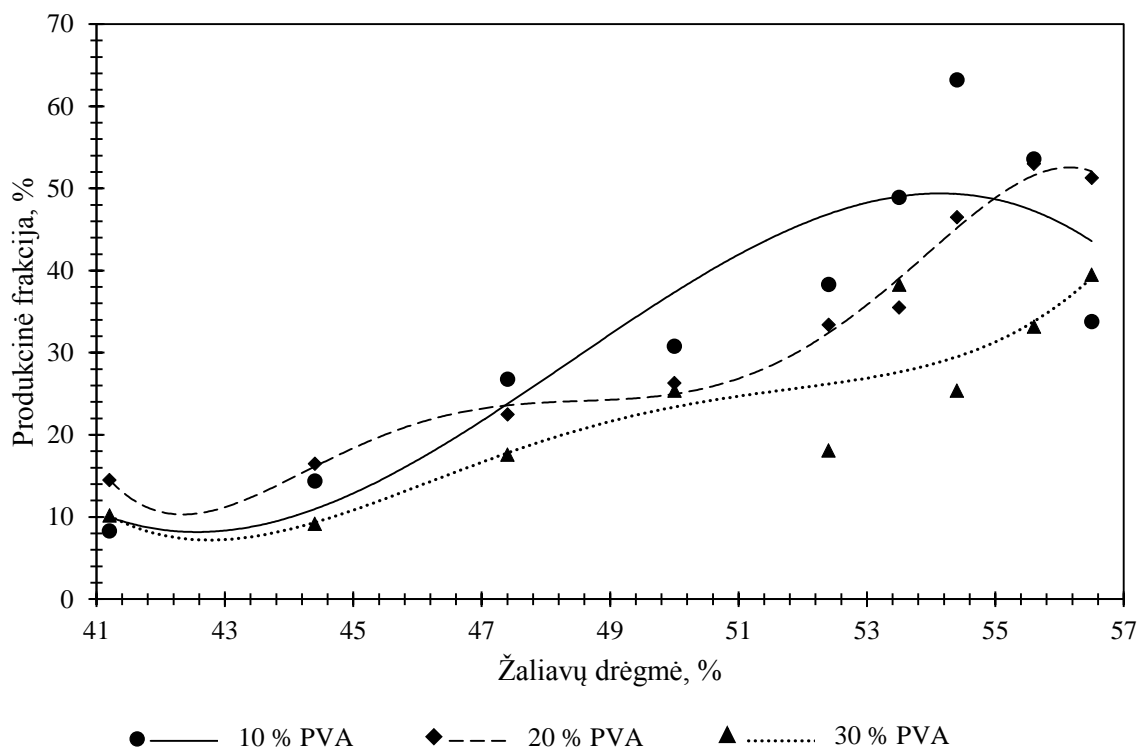
8 lentelė. Grikių lukštų pelenų granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai

Band. Nr.	Žaliavų drėgmė, %	PVA, %	Granulimetrinė sudėtis, %					Produkto drėgmė, %	10 % tirpalo pH	Laisvai supiltų granulių piltinis tankis, kg/m ³	Sutankintų granulių piltinis tankis, kg/m ³
			> 5 mm	3–5 mm	2–3 mm	1–2 mm	< 1 mm				
1	41,2	10	8,9	5,1	3,2	44,7	38,1	1,7	11,52	288,8	304,0
2	44,4	10	2,2	5,9	8,5	35,3	48,2	1,9	11,21	352,1	379,4
3	47,4	10	10,0	12,8	14,0	18,8	44,3	1,7	11,11	402,0	418,2
4	50,0	10	16,6	15,4	15,4	21,9	30,7	1,9	11,02	408,5	424,1
5	52,4	10	10,0	16,0	22,3	39,2	12,4	1,5	11,95	476,4	500,5
6	53,5	10	16,1	24,3	24,6	29,7	5,4	1,7	11,60	485,6	514,0
7	54,4	10	27,0	33,4	29,8	8,1	1,6	1,9	12,10	424,8	449,6
8	55,6	10	30,6	29,3	24,3	12,8	3,0	1,7	11,29	481,5	494,6
9	56,5	10	64,4	29,4	4,4	1,0	0,7	2,0	11,80	451,0	482,7
10	41,2	20	17,8	7,9	6,6	40,7	27,1	1,9	11,05	351,9	383,0
11	44,4	20	21,2	9,5	7,0	24,6	37,7	1,9	10,92	393,0	412,0
12	47,4	20	23,7	13,5	9,0	15,2	38,7	1,9	11,05	405,0	423,0
13	50,0	20	26,0	15,6	10,7	17,9	29,8	1,5	11,52	432,0	466,5
14	52,4	20	25,0	18,4	15,0	23,6	17,9	1,7	11,40	451,0	475,0
15	53,5	20	23,9	19,3	16,2	21,7	18,9	1,2	11,39	417,2	441,6
16	54,4	20	33,7	26,2	20,3	17,8	2,1	2,0	11,85	479,5	512,0
17	55,6	20	42,2	34,7	18,3	4,3	0,6	2,0	11,69	466,0	501,5
18	56,5	20	42,6	33,0	18,3	5,1	1,0	2,0	11,63	468,5	508,0
19	41,2	30	27,7	6,2	4,0	42,6	19,4	2,0	10,77	381,2	402,0
20	44,4	30	32,9	5,5	3,7	36,3	21,6	1,7	10,65	377,0	392,0
21	47,4	30	29,8	11,6	6,0	20,5	32,1	2,0	10,87	414,0	430,7
22	50,0	30	33,0	17,2	8,2	15,3	26,4	1,7	10,75	411,5	441,0
23	52,4	30	41,1	11,2	6,9	17,5	23,4	1,4	11,10	412,0	434,0
24	53,5	30	30,3	22,7	15,6	19,3	12,0	1,7	11,46	432,8	455,2
25	54,4	30	38,2	16,2	9,2	17,3	19,2	2,0	11,50	428,5	456,0
26	55,6	30	45,5	20,2	13,0	18,5	2,9	1,5	11,23	463,0	494,5
27	56,5	30	38,2	24,2	15,3	18,2	4,0	1,2	11,35	457,0	513,0

Iš lentelėje pateiktų granulimetrinės sudėties duomenų matyti, kad produkto granulių dydis labai priklauso nuo pelenų drėkinimui sunaudoto PVA vandeninio tirpalo tūrio ir nuo jo koncentracijos. Didinant skystosios fazės kiekį nuo 41,2 % iki 56,5 %, kai naudojamas 10 % PVA tirpalas stambiosios frakcijos (> 5mm) kiekis padidėja nuo 8,9 % iki 64,4 %. Tuo atveju, kai naudojamas toks pat 20 % PVA tirpalo tūris, stambiosios frakcijos pokytis yra nuo 17,8 % iki 42,6 %. Panaši tendencija matoma ir 30 % PVA atveju. Stambiosios frakcijos susidarymas nėra pageidautinas, nes apsunkina granuliuojimo procesą – reikalauja papildomo smulkinimo ir sijojimo.

Suprantama, kad didėjant didesnių granulių kiekiui, atitinkamai mažėja smulkiosios frakcijos (< 1 mm), kuri granuliuojimo procesui gali turėti teigiamą poveikį, nes paprastai smulčiausia frakcija trašų granuliuojimo technologijoje grąžinama kaip returas, siekiant pagerinti granuliuojimo procesą bei produkto rodiklius. Todėl labai svarbu parinkti tinkamą santykį tarp šių dviejų frakcijų ir kartu įvertinti susidarančios produkcinės frakcijos kiekį.

Iš 8 lentelėje pateiktų duomenų sudarius produkcinės frakcijos priklausomybės nuo žaliavų drėgmės grafiką (14 pav.) matyti kaip kinta 2–5 mm frakcijos granulių kiekis didėjant žaliavų drėgmei.



14 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės

Iš grafiko matyti, kad didėjantis drėgmės kiekis žaliavose daro teigiamą įtaką produkcinės frakcijos išėjimui. Bandinių serijoje nuo 41,2 % iki 56,5 % drėgmės žaliavose, esant 10 % PVA

koncentracijai geriausias rezultatas (63,2 %) gaunamas kai žaliavų drėgmė yra 54,4 %. Iki šio taško produkcinės frakcijos kiekis pamažu didėja, o pasiekus minėtą ribą – sumažėja, nes dar didesnis drėgmės kiekis žaliavose iššaukia spartesnę > 5 mm granulių susidarymą.

Bandiniuose su 20 % koncentracija PVA tirpalu produkcinės frakcijos priklausomybė nuo žaliavų drėgmės labai panaši kaip ir bandiniuose su 10 % PVA tirpalu. Produkcinės frakcijos kiekis laipsniškai didėja, kol pasiekiami 55,6 % drėgmės žaliavose riba. Nuo šios vertės produkcinės frakcijos kiekis mažėja, didesnių kaip 5 mm granulių frakcijos kiekis didėja, o granulių mažesnių kaip 2 mm beveik nebelieka.

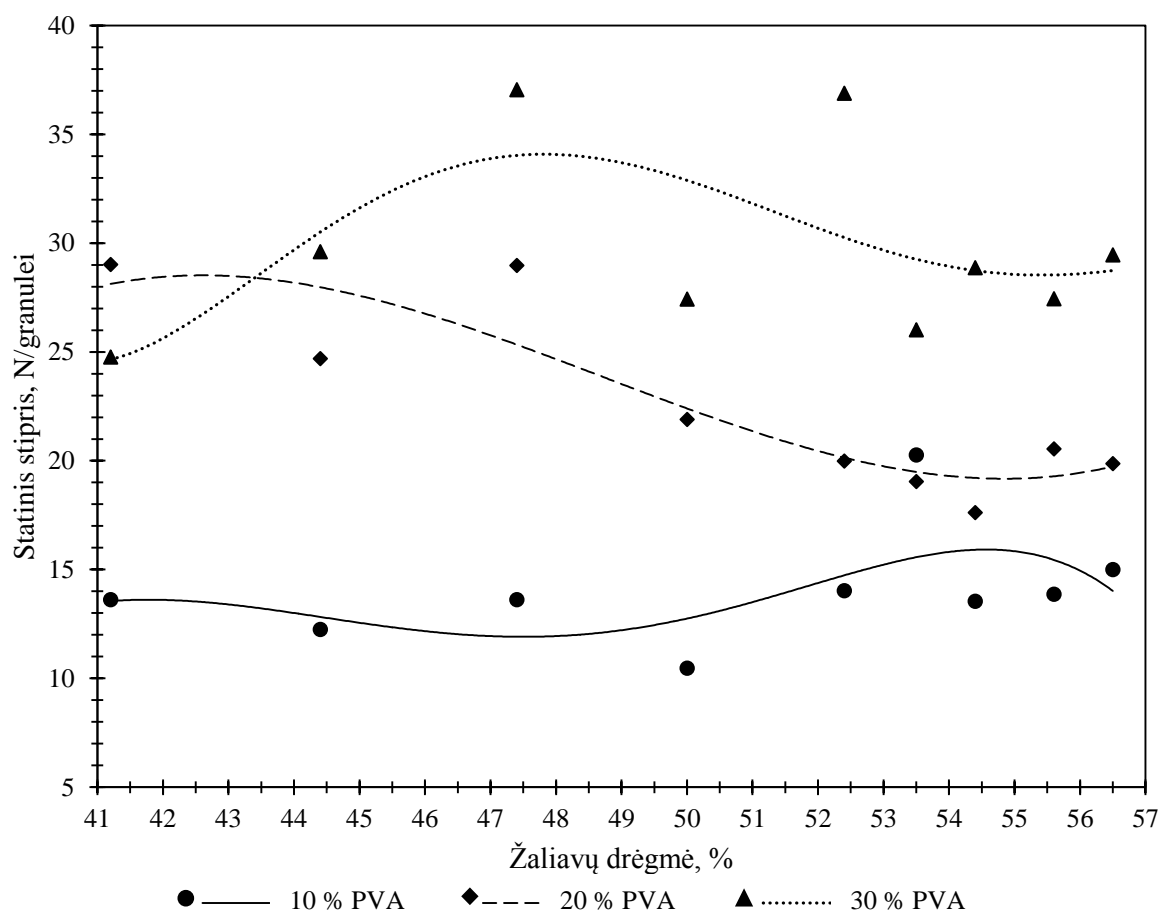
30 % PVA tirpalo naudojimo atveju 2–5 mm frakcijos granulių kiekis taip pat pamažu didėja, didėjant žaliavų drėgmei, kaip ir anksčiau aptartuose bandiniuose. Didžiausia vertė (39,5 %) pasiekiami esant 56,5 % žaliavų drėgmei. Paveiksle matyti, kad kreivė nuolat kyla į viršų, tačiau daugiau didinti žaliavų drėgmę netikslinga, nes dar didesnė žaliavų drėgmė ir 30 % koncentracijos PVA tirpalas labai apsunkina žaliavų sumaišymą ir mažina 2–5 mm granulių kiekį. Apibendrinant galima teigti, kad didžiausias produkcijos kiekis gautas su 10 % PVA koncentracijos tirpalu, todėl didesnės koncentracijos PVA tirpalų naudojimas pagal šį rodiklį netikslingas.

15 paveiksle pateikta 2–5 mm granulių statinio stiprio grafinė priklausomybė nuo žaliavų drėgmės, kai pelenų drėkinimui naudojami 10 %, 20 % ir 30 % koncentracijos PVA vandeniniai tirpalai.

Iš 15 paveiksle pateiktų duomenų matyti, kad tarp drėgmės kiekio ir statinio stiprio nėra tiesioginės priklausomybės. Mažiausia drėgmės įtaka statiniam granulių stipriui pastebima bandiniuose kai naudojamas 10 % koncentracijos PVA tirpalas, tačiau šių bandinių produkcinės frakcijos granulių statinis stipris, lyginant su kitais bandiniais yra pats mažiausias.

20 % koncentracijos PVA tirpalo kreivės pobūdis leidžia daryti prielaidą, kad didėjantis tokios koncentracijos PVA tirpalo kiekis žaliavose mažina granulių statinį stiprį. Lyginant šių bandinių vertes su 10 % koncentracijos PVA tirpalo bandinių vertėmis matyti, kad didinant PVA koncentraciją didėja produkcinės frakcijos granulių stipris. Nuo 11–14 N/granulei padidėja iki 17–19 N/granulei.

Bandiniai, kurie gauti granuliuojant su 30 % koncentracijos PVA tirpalu pasižymi didžiausiu statiniu stipriu. Granulių statinis stipris pamažu didėja iki 37 N/granulei, didėjant žaliavų drėgmei, tačiau pasiekus 53,5 % drėgmę sumažėja ir išlieka beveik pastovus (26–29 N/granulei).

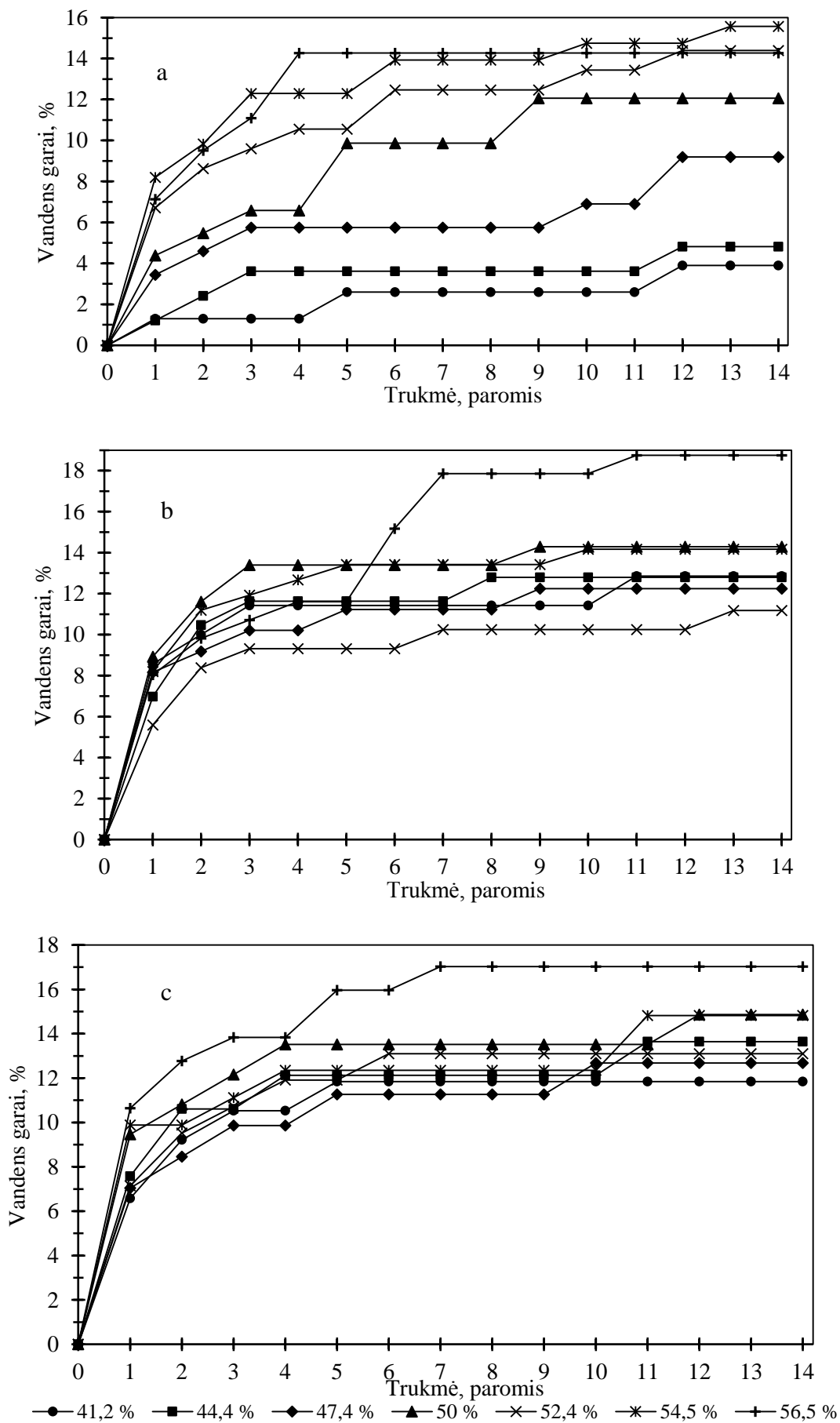


15 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės

Analizuojant 8 lentelėje esančius piltinio tankio duomenis nustatyta, kad didėjant žaliavų drėgmei laisvai supiltų granulių, o tuo pačiu ir sutankintų granulių piltinis tankis, didėja. Tokia priklausomybė nustatyta bandiniuose su visų koncentracijų (10 %, 20 %, 30 %) PVA tirpalais. Pastebėta, kad piltinio tankio vertės didėja netolygiai (yra keletas verčių, kurios yra mažesnės už prieš tai esančias vertes), tačiau žvelgiant į visą bandinių seriją matomas granulių piltinio tankio didėjimas, didėjant skystosios fazės kiekiui. Visuose bandiniuose sutankintų granulių piltinio tankio vertės yra didesnės už laisvai supiltų granulių piltinio tankio vertes.

Lyginant bandinius pagal PVA koncentraciją matyti, kad granulių, kurios gautos naudojant 10 % PVA tirpalą piltiniai tankiai yra mažesni nei granulių gautų naudojant 20 % ir 30 % koncentracijos PVA tirpalus.

Siekiant nustatyti grikių lukštų pelenų granulių higroskopiškumą buvo tiriama produkcinė frakcija, gauta naudojant 41,2 %–56,5 % drėgmės žaliavose (analizuota po 7 bandinius su 10 %, 20 % ir 30 % PVA tirpalu). Visi bandiniai sudėti į eksikatorius virš sotaus NaNO_2 tirpalo. Eksikatoriuose dvi savaites buvo palaikoma 70–75 % drėgmė ir 20–25 °C temperatūra. Rezultatai pateikti 16 paveiksle.



16 pav. Adsorbuoto vandens garų kiekio priklausomybė nuo trukmės ir žaliavų drėgmės: 1 – 41,2 %, 2 – 44,4 %, 3 – 47,4 %, 4 – 50 %, 5 – 52,4 %, 6 – 54,5 %, 7 – 56,5 % esant skirtingai PVA tirpalo koncentracijai (%): a – 10, b – 20, c – 30

Tiriant grikių lukštų pelenų, sugranuliuotų su 10 % koncentracijos PVA vandeniniu tirpalu (16 a pav.), higroskopiškumą gauti duomenys rodo, kad iš aplinkos adsorbuotas vandens kiekis bandiniuose didėja, didėjant žaliavų drėgmei. Granuliuotų bandinių, kuriuose žaliavų drėgmė sudaro 41,2 % ir 44,4 %, adsorbuotas vandens kiekis yra nedidelis, nes granulių masė padidėja apie 4–5 %. Trečiojo bandinio granulės adsorbavo 9,2 % vandens. Skirtumas tarp antrojo ir trečiojo bandinio yra apie 4,4 %. Kitas, šiek tiek mažesnis, adsorbuoto vandens kiekio pokytis (2,9 %) yra tarp trečiojo ir ketvirtojo bandinio. Trijų paskutiniųjų bandinių atveju, kai granuliuojant žaliavų drėgmė didžiausia (52,4 %, 54,5 %, 56,5 %) adsorbuotas vandens kiekis, taip pat yra didžiausias (iki 14–16 %). Pagal kreivių pobūdį galima teigti, kad granulių masės didėjimas dėl vandens adsorbcijos vyksta netolygiai, o tam tikrais etapais. Per pirmas 3–5 paras padidėjusi granulių masė kurį laiką (5–7 paras) nesikeičia, o po to vėl padidėja ir vėl nesikeičia.

Bandiniuose, kuriuose granuliuojant pelenus buvo naudoti 20 % koncentracijos PVA tirpalai (16 b pav.) priešingai nei bandiniuose su 10 % koncentracijos PVA tirpalu (16 a pav.), adsorbuotas vandens kiekis kinta netolygiai. Mažiausią vandens kiekį (11,2 %) adsorbavo bandinys, kurio žaliavose buvo 52,4 % drėgmės. Didžiausią vandens kiekį (18,7 %) adsorbavo produktas, kuris sugranuliuotas žaliavose, esant 56,5 % drėgmės. Lyginant šiuos duomenis su produkto, gauto pelenus granuliuojant su 10 % PVA tirpalu duomenimis matyti, kad daugeliu atvejų adsorbuotas vandens kiekis yra didesnis, todėl galime teigti, kad didėjanti PVA tirpalo koncentracija didina pelenų granulių higroskopiškumą.

Granuliuotų pelenų produkcinės frakcijos granulių, gautų naudojant 30 % koncentracijos PVA tirpalą vandens adsorbcijos priklausomybė nuo trukmės pateikta 16 c paveiksle, kuriame, kaip ir 16 b paveiksle, adsorbcijos kreivės taškai išsidėstę nenuosekliai. Tačiau iš pateiktų duomenų matyti, kad mažiausią vandens kiekį (11,8 %) adsorbavo bandinys, kuriame yra produktas gautas granuliuojant su mažiausiu naudotu skystosios fazės kiekiu (41,2 %), o didžiausią (17,0 %) – su didžiausiu (56,5 %) skystosios fazės kiekiu. Kitais atvejais adsorbuotas vandens kiekis kinta nuo 12,7 % iki 14,9 %.

Atlikti vandens iš aplinkos adsorbcijos tyrimai parodė, kad tirtomis sąlygomis (70–75 % drėgmė ir 20–25 °C temperatūra) didėjant žaliavų drėgmei granuliuojamame mišinyje, didėja šių bandinių higroskopiškumas. Tokia tendencija labiausiai matoma 16 a ir 16 b paveiksluose, kuriuose pateikti duomenys, kai produktas gautas naudojant 10 % ir 20 % koncentracijos PVA tirpalus. Taip pat galima teigti, kad didėjanti PVA koncentracija skatina vandens adsorbciją. Tokia PVA įtaka mažai pastebima tarp bandinių, kuriuose granulės gautos su 20 % ir 30 % koncentracijomis PVA tirpalais, tačiau palyginus juos su 10 % koncentracijos PVA tirpalais matomas žymus skirtumas. Nustatyta, kad daugeliu atvejų didžiausias vandens kiekis (iki 15 %) adsorbuojamas per pirmas 3–4 paras, vėliau kiekviename bandinyje adsorbcijos procesas vyko

skirtingai. Vienuose adsorbicija įvyko per pirmąsias paras ir nusistovėjo pusiausvyra, kituose adsorbuotas vandens kiekis didėjo laipsniškai, kol taip pat pasiekė pusiausvyrą.

Be anksčiau minėtų savybių buvo matuojamas gauto produkto 10 % tirpalo pH. Iš 8 lentelėje pateiktų duomenų matyti. Kad nepriklausomai nuo pelenų drėkinimui naudoto PVA tirpalo kiekio ir jo koncentracijos, granuliuotų pelenų 10 % tirpalo pH yra stipriai šarminis ir pH vertė svyruoja intervale nuo 10,65 iki 12,10.

Įvertinus šiuos duomenis buvo nuspręsta sumažinti granuliuoto produkto pH vertę iki optimalesnės 7–8 vandenilio jonų koncentracijos vertės. Šiam tikslui pasirinkti 8 bandiniai, kuriuose buvo gautas didžiausias produkcinės frakcijos kiekis: trys bandiniai sugranuliuoti su 10 % koncentracija PVA tirpalu, trys su 20 % ir du su 30 % koncentracijos PVA tirpalu. Šiuo tyrimu buvo siekiama ne tik sumažinti pH vertę, bet ir nustatyti kokią įtaką pH mažėjimas turi produkcinės frakcijos savybėms.

Norint sumažinti pH vertę buvo paruoštas 30 % H_3PO_4 tirpalas, kuris naudojamas PVA tirpalams gaminti. Kitos granuliavimo sąlygos buvo išlaikomos tokios pačios kaip ir ankstesniais atvejais. Pelenai ir skirtingų koncentracijų PVA tirpalai pašildyti iki 60 °C temperatūros, sumaišyti bei sudozuoti į būgninį granuliatorių. Būgniniame granuliuotuvyje-džiovykloje palaikoma 60 °C temperatūra. Sugranuliuoti bandiniai buvo džiovinami 70 °C temperatūroje iki ne didesnės kaip 2 % drėgmės, po to frakcionuojama, nustatoma granuliuotinė sudėtis, 10 % tirpalo pH, 2–5 mm granuliuotų stipris, laisvai supiltų ir sutankintų granuliuotų piltinis tankis. Gauti rezultatai pateikti 9 lentelėje.

9 lentelė. Granuliuotų, naudojant 30 % H_3PO_4 tirpalą, grikių lukštų pelenų parametrai

Bandinio Nr.	R-6	R-7	R-8	R-16	R-17	R-18	R-26	R-27	
Žaliavų drėgmė, %	53,5	54,4	55,6	54,4	55,6	56,5	55,6	56,5	
PVA, %	10	10	10	20	20	20	30	30	
Granuliuotinė sudėtis, %	> 5 mm	12,3	18,7	18,4	18,5	20,7	20,2	27,3	25,5
	5–3 mm	12,7	13,7	14,1	15,4	14,8	17,1	14,2	14,8
	3–2 mm	12,5	11,8	12,2	12,7	12,2	13,0	11,1	12,5
	2–1 mm	17,3	16,7	17,1	14,1	15,3	16,1	12,0	12,9
	< 1 mm	45,2	39,1	38,1	39,3	37,0	33,7	35,4	34,3
Produkto drėgmė, %	2,0	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	2,0	1,7	
pH	7,85	7,80	7,95	8,10	8,15	7,95	7,62	7,40	
Statinis stipris, N/granulei	-	-	-	12,0	11,3	13,2	15,4	12,5	
Laisvai supiltų granuliuotų piltinis tankis, kg/m ³	365,0	342,0	364,0	316,0	355,5	324,0	296,0	315,5	
Sutankintų granuliuotų piltinis tankis, kg/m ³	386,6	362,5	395,0	346,0	373,0	344,0	322,5	331,0	

Kaip matyti iš 9 lentelės, šių bandinių pH vertės sumažėjo iki 7,40–8,15 ir yra pakankamos norint tręšti rūgštinę dirvą. Tačiau analizuojant kitus pelenų granuliu parametrus nustatyta, kad jie yra blogesni lyginant su analogiškų bandinių be 30 % H_3PO_4 tirpalo parametrais.

Lyginant frakcijų procentinę sudėtį matyti, kad šiuo atveju didžiausią granuliu dalį sudaro mažesnės nei 1 mm dalelės. Toks pasiskirstymas vyrauja visuose bandiniuose. Didžiausias produkcinės frakcijos kiekis (30,1 %) buvo gautas naudojant 20 % koncentracijos PVA tirpalą. Kitų bandinių 2–5 mm frakcijos kiekis mažesnis, tačiau skirtumas labai mažas. Vizualiai vertinant, granulės nebuvo sferinės formos, beveik visos granulės pailgos, o kai kurios sulipusios viena su kita.

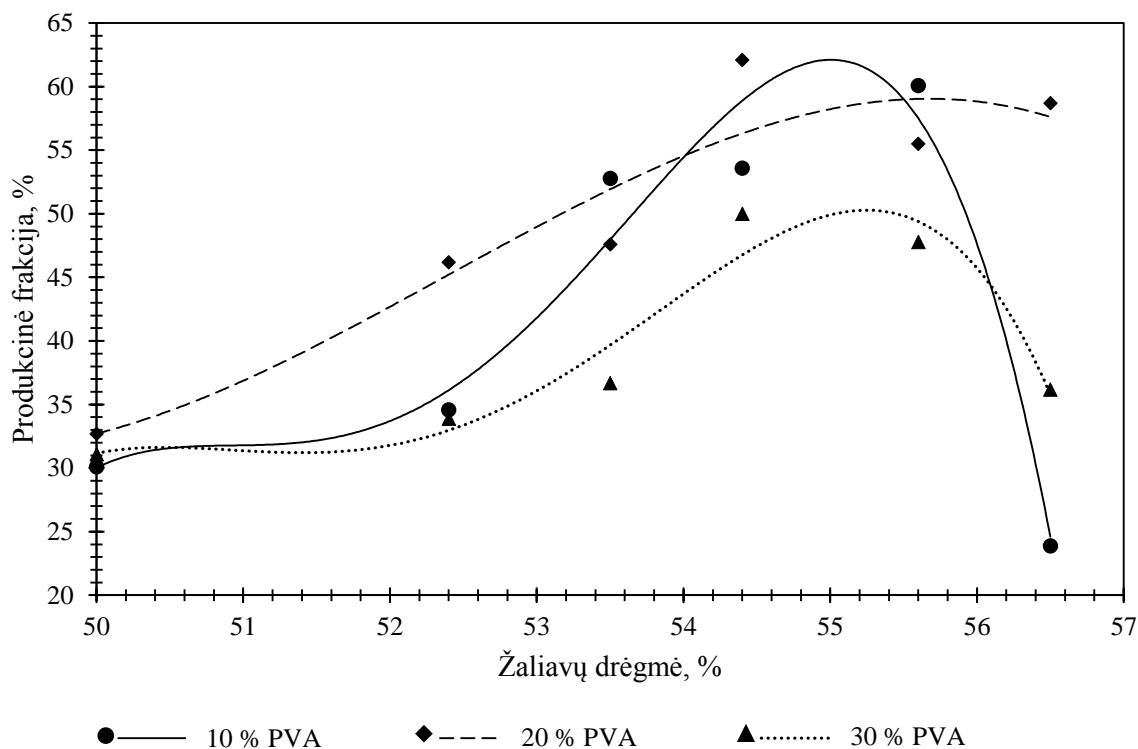
Matuojant produkcinės frakcijos granuliu statinį stiprį nustatyta, kad granulės žymiai silpnesnės, nes vertės neviršijo 16 N/granulei. Granuliu, kurios buvo gautos naudojant 10 % koncentracijos PVA tirpalą, statinio stiprio nustatyti nepavyko, nes granulės subirdavo paveikus jas minimalia išorine jėga. Galime teigti, kad didinant PVA koncentraciją granuliu statinis stipris didėja. Tačiau didinti PVA tirpalu koncentraciją būtų netikslinga, nes blogėja žaliavų sumaišymas, o ypač ruošiant 30 % koncentracijos PVA tirpalą su 30 % fosforo rūgštimi, PVA pasiskirsto mišinyje netolygiai.

Analizuojant laisvai supiltų ir sutankintų granuliu piltinių tankių vertes matyti, kad didžiausios reikšmės gaunamos kai naudojama 10 %, mažesnės – 20 % ir mažiausios – 30 % koncentracijos PVA tirpalai. Taip pat matyti, kad didėjant įpilamam 30 % H_3PO_4 tirpalo kiekiui piltinių tankių vertės mažėja. Tikėtina, kad didėjantis fosforo rūgšties kiekis pelenuose daro neigiamą įtaką, nes maišant žaliavas su 30 % H_3PO_4 tirpalu ir esant 30 % PVA koncentracijai vyko intensyvi neutralizacijos reakcija, o besiskiriančios dujos padidino granuliu porėtumą. Tai reiškia, kad padidinus fosforo rūgšties kiekį granuliuotų pelenų savybės blogėja.

Granulimetrinėje sudėtyje vyrauja mažesnės kaip 1 mm dydžio granulės, kurias galima vadinti returu. Statinio stiprio vertės sumažėjo iki tokios vertės, kad kai kurių bandinių verčių nustatyti nebuvo įmanoma. Piltinių tankių reikšmės sumažėjo apie 100–150 kg/m^3 .

Siekiant nustatyti optimalias grikių lukštų pelenų granuliuavimo sąlygas ir gauti didžiausias produkcinės frakcijos ir statinio stiprio vertes, tiriama returo (mažesnių kaip 2 mm dalelių, 20 % ir 40 %) įtaka. Šiam produkto kokybės tyrimui iš 8 lentelės buvo pasirinkti geromis savybėmis pasižymintys bandiniai, kurių žaliavų drėgmė nuo 50,0 % iki 56,5 %. Reikiamas returo kiekis buvo imamas iš anksčiau išfrakcionuotų bandinių ir maišomas su atitinkamu pelenų kiekiu. Returas buvo parenkamas pagal atitinkamą PVA tirpalo koncentraciją t.y. jei žaliavų drėkinimui naudojama 10 % koncentracijos PVA tirpalas, tai ir returas naudojamas iš anksčiau tokiomis pačiomis sąlygomis sugranuliuotų bandinių. Granuliuavimo proceso sąlygos palaikomos tokios pačios kaip ir anksčiau. Sugranuliuotas produktas džiovinamas ir analizuojamas, o gauti išsamūs

rezultatai pateikiami 2 priede, produkcinės frakcijos priklausomybės grafikas nuo žaliavų drėgmės – 17 paveiksle, statinio stiprio priklausomybė – 18 paveiksle.



17 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 20 % returo)

Analizuojant bandinius su 20 % returo, esant 10 % PVA tirpalo koncentracijai (17 pav.), matomas produkcinės frakcijos kiekio didėjimas. Didėjant žaliavų drėgmei nuo 50,0 % iki 55,6 %, 2–5 mm granuliu frakcijos kiekis didėja palaipsniui, kol pasiekama didžiausia (60,1 %) vertė. Padidinus žaliavų drėgmę iki 56,5 % produkcinės frakcijos kiekis ženkliai sumažėja (iki 23,9 %). Šio bandinio didžiausią granulimetrinės sudėties dalį sudaro granulės didesnės kaip 5 mm, o produkcinės frakcija siekia tik 23,9 % (2 priedas).

Bandinių serijoje kai granuliuojant naudojamas 20 % koncentracijos PVA tirpalas matoma tokia pati priklausomybė kaip ir naudojant 10 % PVA tirpalą. Nuo 50,0 % iki 54,4 % didėjant žaliavų drėgmei, laipsniškai didėja ir produkcinės frakcijos kiekis (nuo 32,7 % iki 62,1 %). Tačiau lyginant šiuos rezultatus su tais kurie gauti naudojant 10 % koncentracijos PVA tirpalą didžiausias (62,1 %) produkcinės frakcijos kiekis pasiekiamas esant mažesnei (54,4 %) žaliavų drėgmei. Toliau didėjanti žaliavų drėgmė apsunkina mišinio išmaišymą, didėja stambesnių granuliu dalis, sumažėja produkcinės frakcijos kiekis (iki 55,5 %).

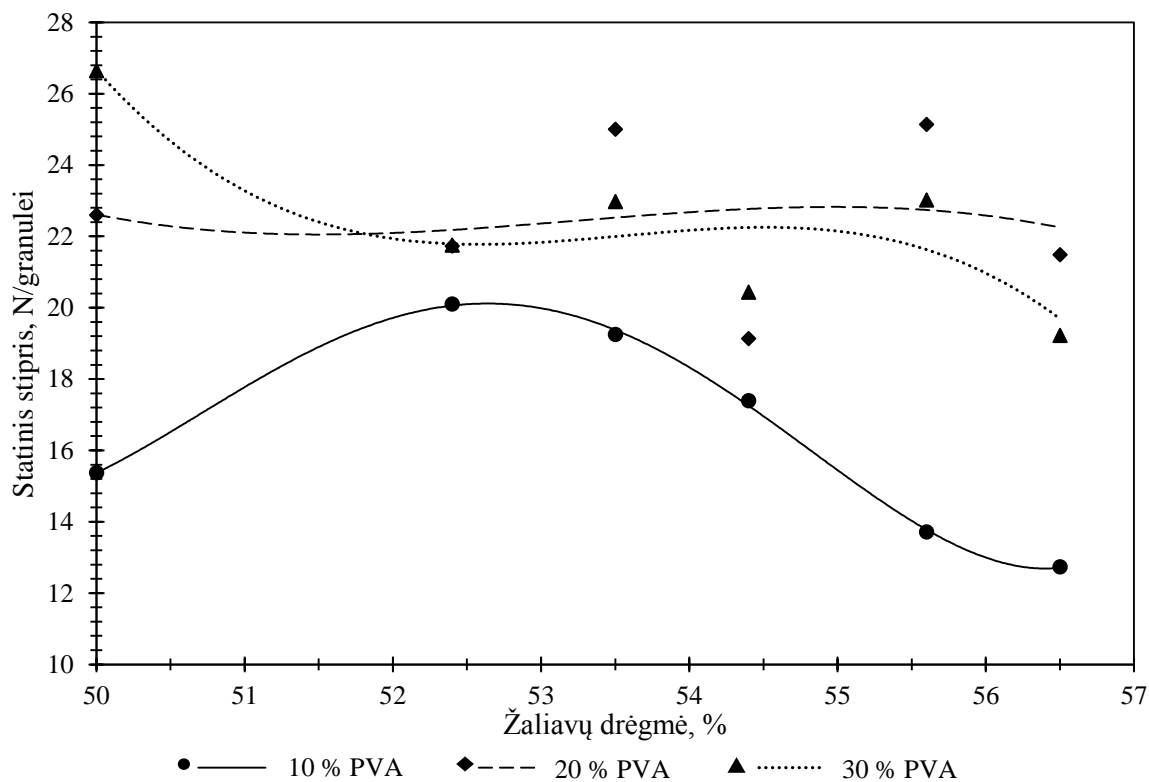
Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės rezultatai kai granuliuojant naudojama 30 % koncentracijos PVA tirpalas niekuo nesiskiria nuo anksčiau aptartų.

Produkcinės frakcijos kiekis nuosekliai didėja, o pasiekusi 54,4 % žaliavų drėgmę palaipsniui mažėja. Šiomis sąlygoms pasiekama didžiausia produkcinės frakcijos išeiga sudaro 50 %.

Lyginant bandinius pagal PVA tirpalo koncentraciją matyti, kad didžiausia produkcinės frakcijos išeiga (62,1 %) gauta naudojant 20 % koncentracijos PVA tirpalą. O truputį mažesnė 60,1 % – 10 % tirpalą. Bandiniuose, kurie sugrąžinti su 30 % koncentracijos PVA tirpalu, didžiausias produkcinės frakcijos kiekis tesiekė 50 %. Taip yra todėl, kad didėjant žaliavų drėgmei ir PVA koncentracijai žaliavos blogiau išsimaišo. Žaliavų mišinys būna šlapias, limpa prie sumaišymo indo, dozatoriaus ir granulatoriaus sienelių, greitai formuojasi stambios frakcijos granulės. Apibendrinant galima daryti išvadą, kad didžiausias produkcinės frakcijos kiekis gaunamas esant 20 % PVA koncentracijai, o skystoji fazė sudaro 54–55 % žaliavų mišinio.

Iš 2 priede pateiktų rezultatų buvo sudaryta 2–5 mm granulių, gautų su 20 % returo statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (18 pav.).

Iš 18 paveikslo matyti, kad tarp žaliavų drėgmės kiekio ir statinio granulių stiprio nėra tiesioginės priklausomybės. Labiausiai tai pasireiškia bandiniuose, gautuose su 10 % PVA tirpalu. Čia statinio stiprio vertės iš pradžių (iki 52,4 %) didėja (iki 20 N/granulei), o po to mažėja. Kaip matyti iš 18 paveikslo šiuo atveju statinio granulių stiprio vertės yra pačios mažiausios lyginant su 20 % PVA ir 30 % PVA tirpalais. Didžiausia gauta stiprio vertė – 20 N/granulei.



18 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 20 % returo)

Granulių statinio stiprio, kai naudotas 20 % PVA tirpalas, kreivėje esantys taškai išsidėstę netolygiai. Kreivė, išvesta tarp taškų yra beveik horizontalioje padėtyje, tai reiškia, kad didėjantis žaliavų drėgmės kiekis daro skirtingą įtaką kiekvienam bandiniui atskirai ir nustatyti dėsningos priklausomybės tarp šių parametrų negalima. Tačiau, šiuo atveju statinio stiprio vertės didesnės nei naudojant 10 % PVA tirpalą. Didžiausia gauta vertė šiuose bandiniuose yra 25 N/granulei.

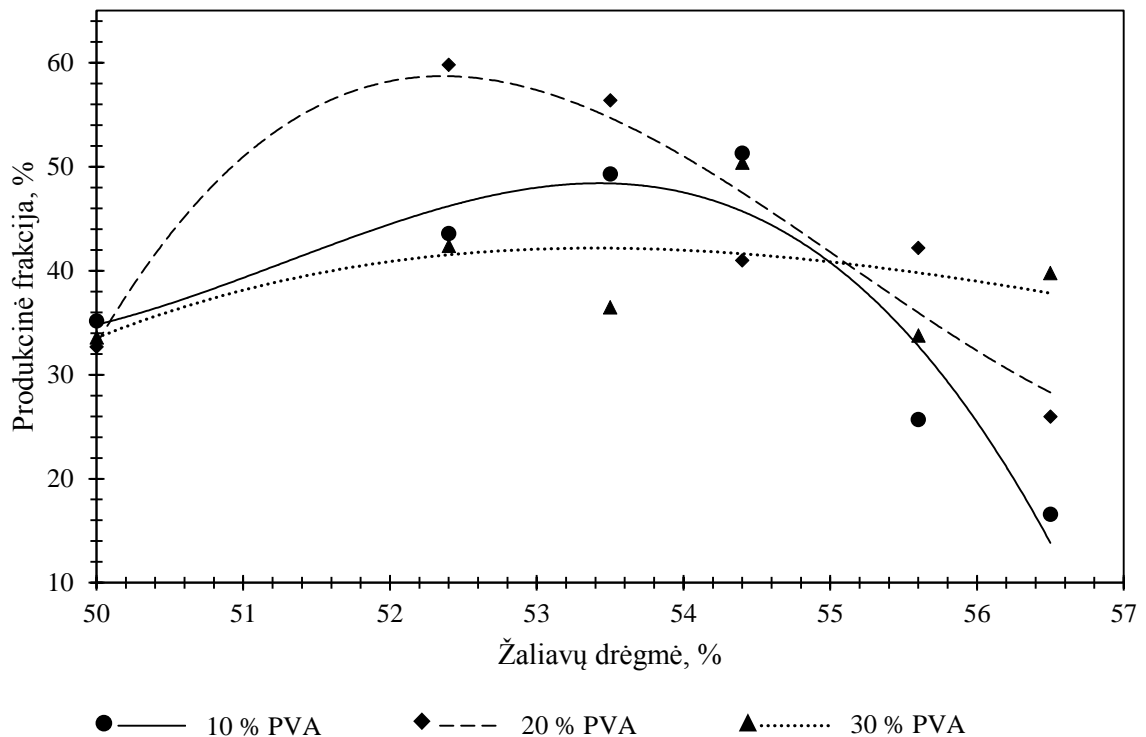
30 % koncentracijos PVA tirpalo granuliuojant pelenus atveju granulių statinio stiprio priklausomybės nuo žaliavų drėgmės kreivės pobūdis aiškiai parodo statinio stiprio mažėjimą didėjant drėgmės kiekiui. Didžiausia stiprio reikšmė (27 N/granulei) gauta pačioje pradžioje kai žaliavų drėgmė yra 50 %. Toliau vertės pamažu mažėja kol pasiekama 19 N/granulei, esant 56,5 % žaliavų drėgmei.

Iš 18 paveiksle pateiktų duomenų matyti, kad didžiausią įtaką didėjanti žaliavų drėgmė daro bandiniams granuliuotiems su 10 % PVA koncentracijos tirpalu. Kitais atvejais pastebima mažesnė drėgmės įtaka. Nors didžiausia statinio stiprio vertė gauta kai PVA koncentracija 30 %, tačiau dauguma didesnio statinio stiprio granulių gauta, kai PVA koncentracija buvo 20 %. Todėl galime daryti išvadą, kad geriausi produkcinės frakcijos granulių statinio stiprio rezultatai gauti bandiniuose, sugranuliuotuose naudojant 20 % PVA vandeninį tirpalą.

Kaip granulių gautų be returo taip ir šių laisvai supiltų bei sutankintų granulių piltiniai tankiai buvo nustatyti pagal tą pačią metodiką (2 priedas). Mažiausios laisvai supiltų ir sutankintų granulių piltinių tankių reikšmės buvo gautos granulėse su 10 % koncentracijos PVA tirpalu. Sugranuliuotuose bandiniuose su 20 % ir 30 % koncentracijų PVA vandeniniais tirpalais piltinių tankių vertės gautos didesnės. Granulių piltinių tankių vertės su 20 % ir 30 % koncentracijos PVA tirpalais, tarpusavyje mažai skiriasi.

Sugranuliuotų bandinių 10 % tirpalo pH naudojant 10 % koncentracijos PVA tirpalą vertės gautos didžiausios, lyginant su tų pačių sugranuliuotų bandinių su 20 % ir 30 % koncentracijų PVA vandeniniais tirpalais, pH vertėmis (2 priedas).

Kadangi trąšų technologijoje naudojamo returo kiekis gali būti keičiamas gana plačiose ribose (nuo 20 % iki 80 %), tęsiant šį eksperimentą returo kiekis buvo padidintas iki 40 %. Gauti rezultatai pateikti 3 priede. Produkcinės frakcijos priklausomybė nuo žaliavų drėgmės grafiniu pavidalu pateikta 19 paveiksle, o statinio stiprio – 20 paveiksle.



19 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 40 % returo)

Kaip matyti 19 paveiksle bandinių, gautų naudojant 10 % PVA tirpalą produkcinės frakcijos kiekio kreivė didėjant žaliavų drėgmei tolygiai kyla į viršų, kol pasiekia didžiausią vertę, toliau didėjant žaliavų drėgmės kiekiui, leidžiasi žemyn. Nuosekliai didėjantis produkcinės frakcijos kiekis pasiekia didžiausią 51,3 % vertę, esant 54,4 % žaliavų drėgmei.

Padidinus pelenų drėkinimui naudojamame tirpale PVA koncentraciją iki 20 % produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė išlieka tokia pati. Didžiausia 2–5 mm granuliu frakcijos vertė (59,8 %) pasiekama esant 52,4 % žaliavų drėgmei. Toliau didėjanti žaliavų drėgmė neigiamai veikia produkcinės frakcijos granuliu susidarymą, nes ima vyrauti didesnės kaip 5 mm granulės.

Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės, naudojant 30 % koncentracijos PVA tirpalą nėra aiškiai išreikšta. Produkcinės frakcijos kiekis mažai priklauso nuo žaliavų drėgmės ir svyruoja gana siaurame intervale: nuo 33,6 % iki 50,4 %. Didžiausia 2–5 mm frakcijos vertė (50,4 %) pasiekama kai žaliavų drėgmė yra 54,4 %. Toliau didėjanti žaliavų drėgmė skatina stambios frakcijos granuliu susidarymą.

Iš 19 paveiksle ir 3 priede pateiktų duomenų galima teigti, jog geriausi produkcinės frakcijos rezultatai naudojant 40 % returo buvo gauti skystojoje fazėje esant 20 % PVA.

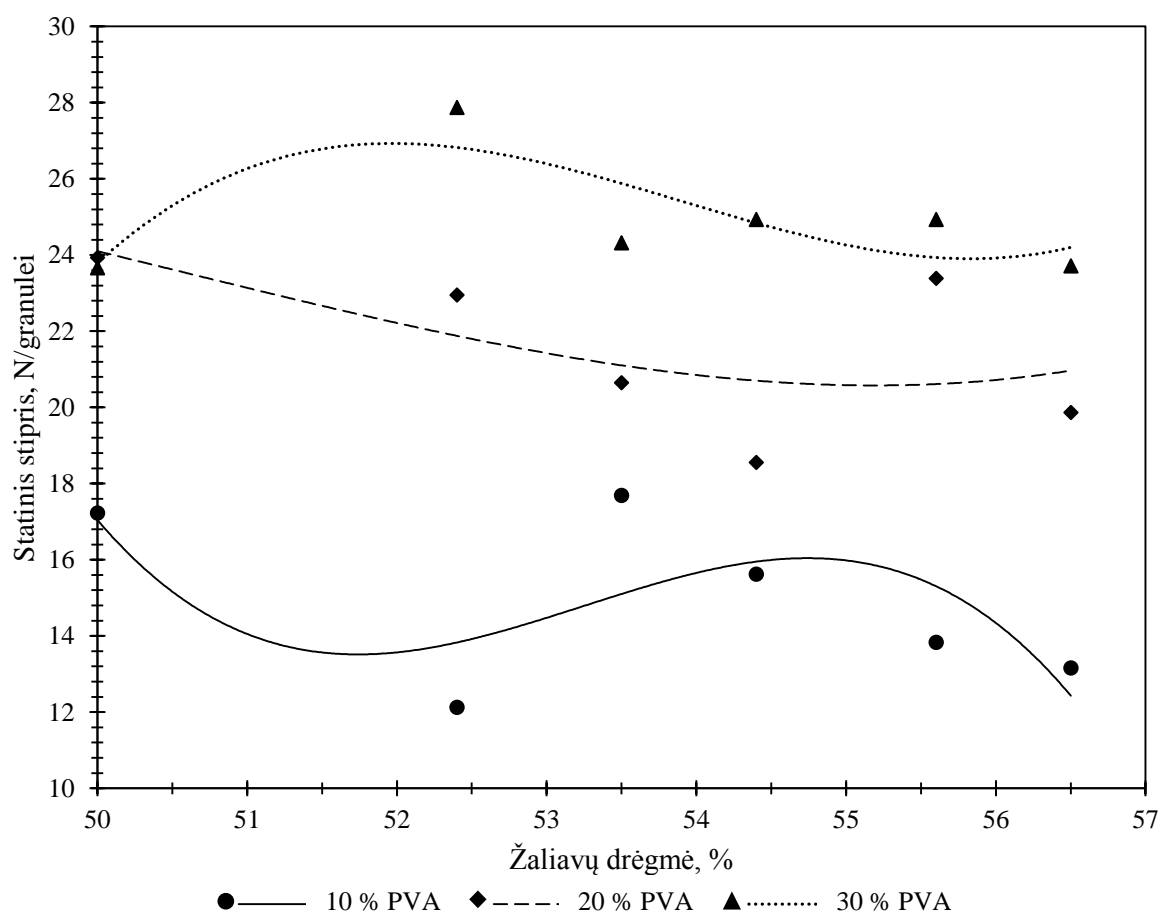
Analizuojant 20 paveiksle pateiktus duomenis matyti, kad kaip ir visais kitais atvejais mažiausios, produkcinės frakcijos granuliu statinio stiprio vertės nustatytos bandiniuose, granuliuotuose su 10 % PVA tirpalu. Didžiausia šių bandinių granuliu statinio stiprio vertė – 18 N/granulei. Pagal kreivės pobūdį nuosekliai mažėjimo nėra, tačiau

apžvelgiant visą bandinių, kuriuose naudota 10 % PVA tirpalas seriją didėjant žaliavų drėgmei statinio stiprio vertės dažniausiai sumažėja.

Žaliavose esant 20 % koncentracijos PVA tirpalui, granulių statinio stiprio kreivė leidžiasi žemyn didėjant žaliavų drėgmei. Šioje kreivėje didžiausia statinio stiprio vertė siekia 24 N/granulei, esant 50 % žaliavų drėgmei. Toliau didėjant žaliavų drėgmei granulių statinis stipris mažėja iki 19–20 N/granulei. Čia, kaip ir ankstesniais atvejais didėjant žaliavų drėgmei išlieka statinio granulių stiprio verčių mažėjimo tendencija.

Pelenus granuliuojant su 30 % koncentracijos PVA tirpalu, granulių statinio stiprio kreivės taškai išsidėstę šiek tiek kitaip: iš pradžių statinis stipris didėja, o po to palaipsniui mažėja. Didžiausia gauta statinio stiprio vertė – 28 N/granulei, esant 52,4 % drėgmei.

Iš 20 paveikslu matyti, jog didžiausiu statiniu stipriu pasižymi bandinių, gautų su 30 % koncentracijos PVA tirpalu granulės, po to – su 20 % ir galiausiai – su 10 %. Tai patvirtina prielaidą, kad didėjanti PVA koncentracija pelenuose didina granulių statinio stiprio vertes, o didėjantis žaliavų drėgmės kiekis mažina produkcinės frakcijos granulių statinį stiprį.



20 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 40 % returo)

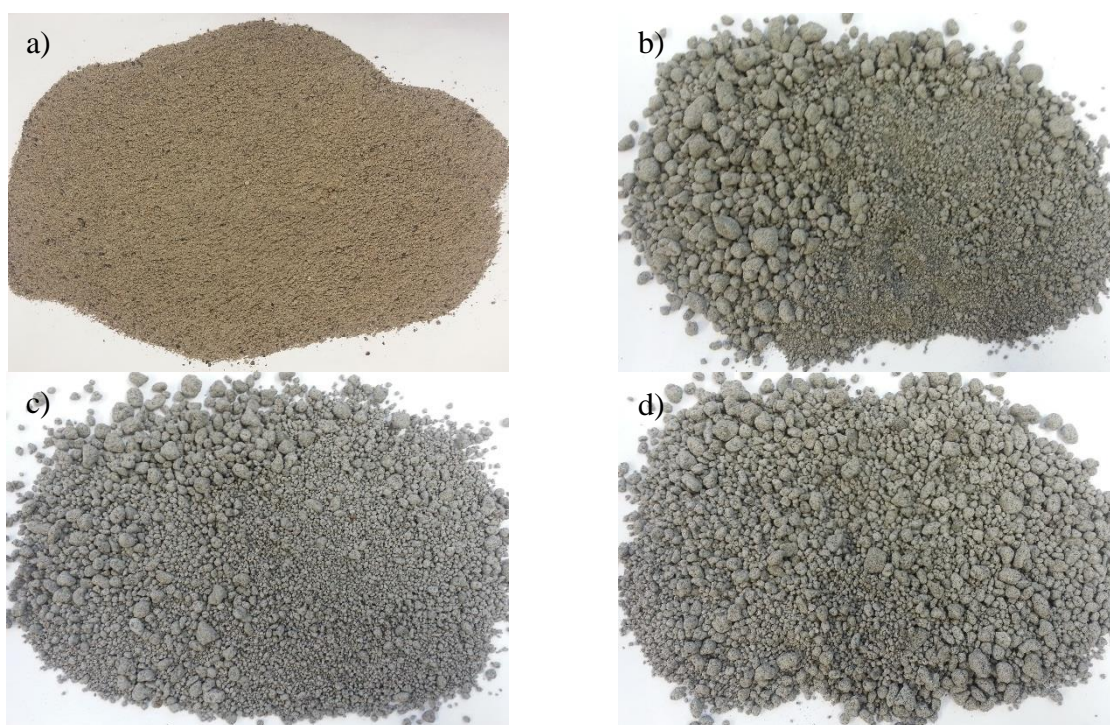
Kaip ir anksčiau nagrinėtuose bandiniuose laisvai supiltų ir sutankintų granulių piltinio tankio mažiausios reikšmės gautos granuliuojant su 10 % koncentracijai PVA tirpalu. Gauti duomenys rodo, kad piltinių tankių vertės mažai priklauso nuo žaliavų drėgmės kiekio. Vertinant laisvai supiltų ir sutankintų granulių piltinių tankių vertes pagal PVA koncentraciją matyti, kad didėjant PVA tirpalo koncentracijai granulių piltinių tankių vertės didėja. Įvertinus sugranuliuotų pelenų bandinių 10 % tirpalo pH vertes galima teigti, kad didėjant PVA koncentracijai pH vertės mažėja. Aptartų sugranuliuotų pelenų, naudojant 40 % returo ir įvairios koncentracijos PVA tirpalus, piltinių tankių ir 10 % tirpalo pH vertės pateiktos 3 priede.

Norint tiksliau įvertinti returo bei PVA koncentracijos įtaką produkcinės frakcijos kiekiui ir granulių statiniam stipriui buvo sudarytos priklausomybės, esant skirtingai PVA tirpalų koncentracijai ir diagramų pavidale pateiktos 4 ir 5 priede.

Iš 4 priede pateiktų duomenų matyti, kad į žaliavų mišinį pridėdant returo, produkcinės frakcijos kiekis didėja. PVA vandeninio tirpalo įtaką produkcinės frakcijos kiekiui įvertinti sunku, tačiau geriausi rezultatai gauti granuliuojant pelenus su 20 % koncentracijos PVA tirpalu.

Analizuojant returo ir PVA koncentracijos įtaką granulių statiniam stipriui (5 priedas) matyti, kad didėjant PVA vandeninio tirpalo koncentracijai žaliavų mišinyje, granulių statinio stiprio vertės didėja. Returo įtaka granulių statiniam stipriui, esant skirtingoms PVA tirpalo koncentracijoms yra skirtinga, todėl tiesioginę returo įtaką granulių stipriui įvertinti sudėtinga.

Nesugranuliuoti pelenai, sugranuliuoti pelenai be returo, su 20 % ir 40 % returo pateikti 21 paveiksle.



21 pav. Grikių lukštų pelenai ($PK\ 0-9,5-25,9+18,9CaO+12,4MgO$): a) – negranuliuoti; b) – granuliuoti; c) – sugranuliuoti su 20 % returo; d) – sugranuliuoti su 40 % returo

Įvertinus grafikuose ir lentelėse pateiktus duomenis galime daryti išvadą, kad geriausiai rodikliais pasižymintys granuliuoti pelenai buvo gauti, esant nuo 54,4 % iki 56,5 % drėgmės kiekiui žaliavų mišinyje, 20 % koncentracijos PVA tirpalui ir 20 % returo kiekiui. Šiuose bandiniuose produkcinės frakcijos kiekis ir granulių statinio stiprio vertės buvo didžiausios. Produkcinė frakcijos kiekiai, esant 54,4 %, 55,6 % ir 56,5 % drėgmei žaliavų mišinyje: 62,1 %, 55,5 % ir 58,7 %, o granulių statinio stiprio vertės atitinkamai – 19 N/granulei, 25 N/granulei ir 21 N/granulei. Sugranuliuotus pelenus gautas produktas – PK 0–9,5–25,9+18,9CaO+12,4MgO.

3.3. Sudėtinių trąšų granuliavimas naudojant grikių lukštų pelenus

Nustačius optimalias grikių lukštų pelenų granuliavimo sąlygas, kuriomis galima gauti kokybišką produktą, buvo bandoma šiuos pelenus panaudoti NPK trąšoms gaminti. Kadangi kalis pelenuose yra ne KCl druskos pavidalo, o K₂CO₃ pavidalo, tai tokie pelenai turėtų tikti bechlorių trąšų gamyboje. Tai sumažintų tręšimo kaštus ir turėtų teigiamą aplinkosauginį aspektą.

Įvertinus pelenuose esantį kalio kiekį, buvo pasirinkta NPK 10-13-18 trąšų markė, kurioje yra didesnis kalio kiekis, todėl į šias trąšas galima bandyti įdėti didesnę pelenų kiekį. Naudotos žaliavos ir jų kiekiai pateikti 10 lentelėje.

10 lentelė. Sudėtinių NPK 10-13-18 trąšų cheminė sudėtis

Žaliavos	Sudėtis, %			Kiekis, kg	Produkto sudėtis, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Amonio sulfatas (AS)	20,5			285,25	5,85		
Amonio hidrofosfatas (DAP)	18	46		230,70	4,15	10,61	
Kalio sulfatas (SOP)			50	231,90			11,60
Pelenai		9,5	25,4	252,15		2,39	6,40
			Σ	1000	10	13	18

10 lentelėje pateiktas žaliavų balansas 1t, tačiau įvertinant laboratorinio būgninio granulatoriaus-džiovyklos matmenis buvo imamas toks žaliavų kiekis, kad bendra mišinio masė sudarytų 200 g. Žaliavų mišiniui drėkinti buvo naudojamas 1 % H₃PO₄ rūgšties tirpalas, kuris prieš pilant į mišinį pašildomas iki 60 °C temperatūros. Žaliavos smulkinamos, gerai sumaišomos ir šildomos iki ~60 °C temperatūros. Drėgnas mišinys sudozuojamas į būgninį granuliatorių-džiovyklą, granuliuojama 15 minučių, palaikant ~70 °C temperatūrą.

Pirmasis bandinys sugranuliuotas, esant 20,0 % žaliavų drėgmei. Gauti duomenys neatitiko norimų rezultatų, todėl kitas bandinys buvo granuliuojamas esant 21,6 % žaliavų drėgmei. Toliau žaliavų drėgmė buvo didinama kas 0,3 %, siekiant rasti optimalų jos kiekį.

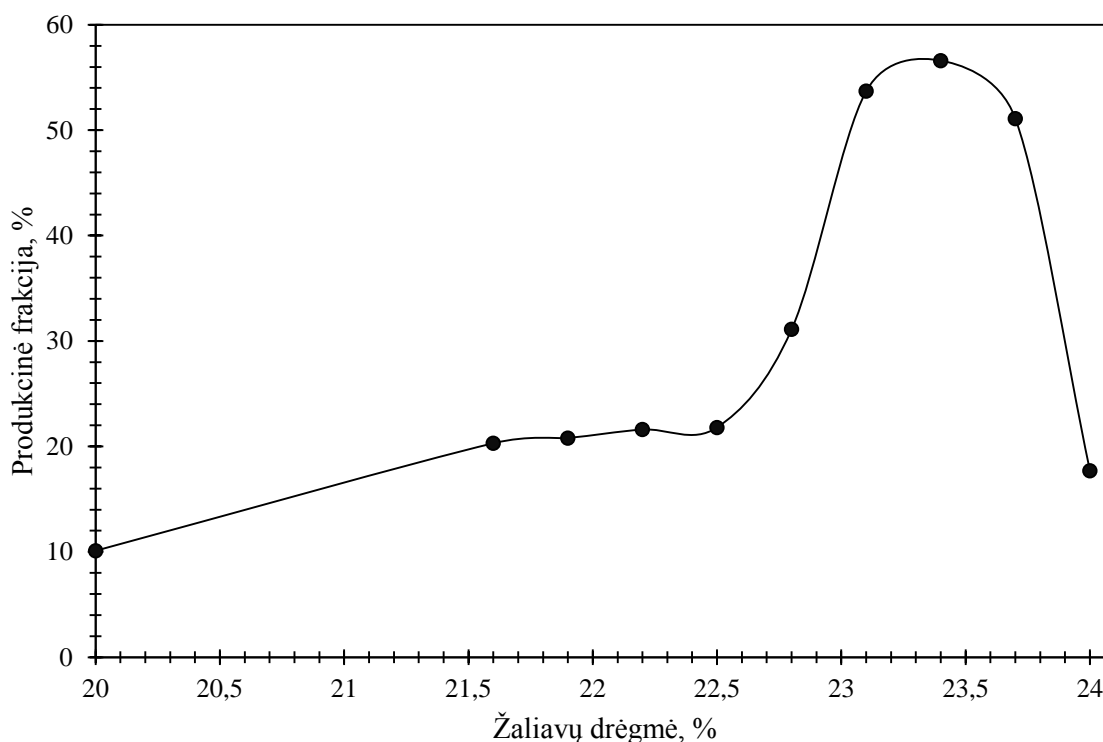
Sugranuliuoti bandiniai džiovinami 70 °C temperatūroje iki ne didesnės kaip 2 % drėgmės. Išdžiovinti bandiniai frakcionuojami, matuojama 10 % tirpalo pH, nustatomas laisvai supiltų ir

sutankintų granuliu piltinis tankis bei produkcinės frakcijos granuliu statinis stipris. Tyrimo rezultatai pateikti 11 lentelėje.

11 lentelė. NPK 10-13-18 trąšų su pelenais granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai

Band. Nr.	Žaliavų drėgmė, %	Granuliuometrinė sudėtis, %			Produkto drėgmė, %	10 % tirpalo pH	Granulių piltinis tankis, kg/m ³	
		> 5 mm	2–5 mm	< 2 mm			Laisvai supiltų	Sutankintų
NPK 1	20,0	7,3	10,1	82,6	0,9	6,98	543,2	568,0
NPK 2	21,6	13,8	20,3	65,9	1,7	7,51	596,0	619,2
NPK 3	21,9	19,0	20,8	60,2	1,2	7,35	600,8	622,0
NPK 4	22,2	11,1	21,6	67,3	1,0	7,10	593,2	620,8
NPK 5	22,5	8,5	21,8	69,7	1,2	7,21	566,4	608,0
NPK 6	22,8	15,2	31,1	53,7	0,9	7,25	649,2	680,0
NPK 7	23,1	33,4	53,7	12,9	1,5	6,95	692,8	712,8
NPK 8	23,4	34,0	56,6	9,4	1,9	7,02	693,6	719,2
NPK 9	23,7	35,6	51,1	13,3	1,3	6,98	692,4	724,4
NPK 10	24,0	81,3	17,7	1,0	1,4	7,34	695,2	714,0

Pagrindinių granules apibūdinančių savybių (produkcinės frakcijos kiekis ir granuliu statinis stiprio) priklausomybės nuo žaliavų mišinio drėgmės pateiktos 22 ir 23 paveiksluose.

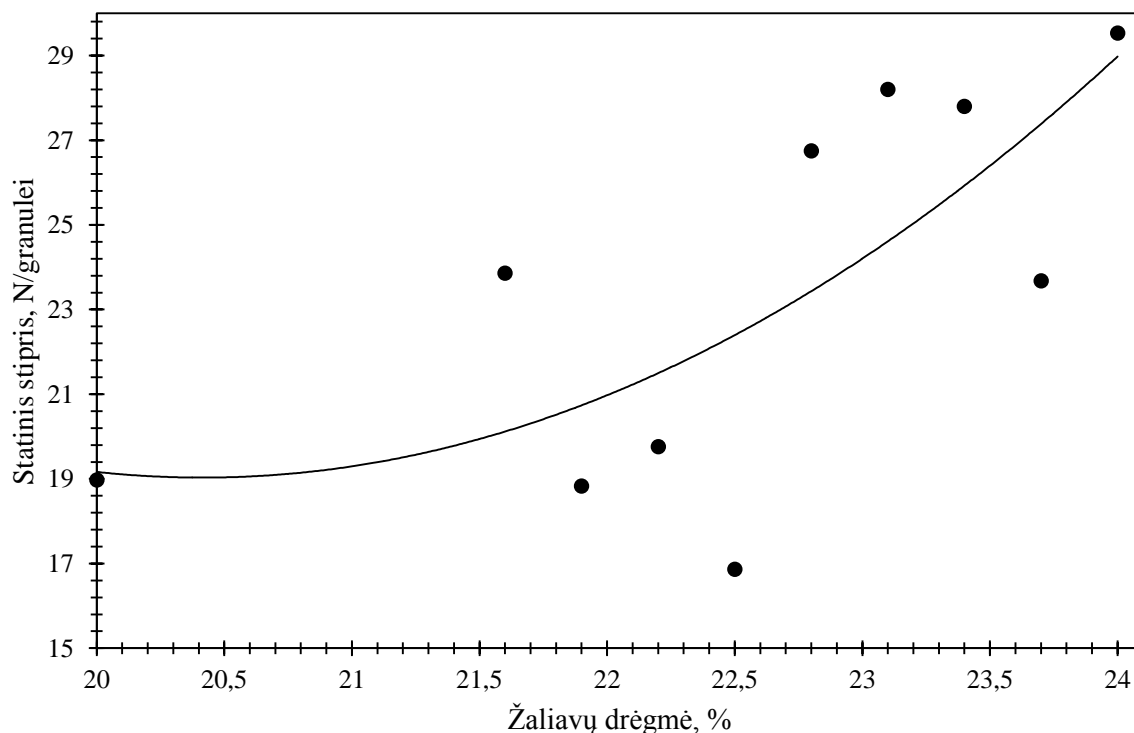


22 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės

Kaip matyti iš 22 paveiksle esančios kreivės didėjant žaliavų drėgmei produkcinės frakcijos granuliu kiekis didėja iki tam tikros ribos. Žaliavų drėgmei pasiekus 23,4 % gaunama didžiausia

produkcinės frakcijos išeiga 56,6 %. Toliau didėjant žaliavų drėgmei formuojasi stambios frakcijos granulės (11 lentelė), todėl produkcinės frakcijos kiekis palaipsniui mažėja.

Produkcinės frakcijos granulių statinio stiprio priklausomybės nuo žaliavų drėgmės kreivėje (23 pav.) matyti, kad taškai labai išsibarstę, nėra nuoseklaus granulių statinio stiprio verčių didėjimo. Tačiau galima teigti, kad kreivė kyla aukštyn ir didėjant žaliavų drėgmei statinis stipris pamažu įgauna vis didesnes reikšmes. Didžiausia šiomis sąlygomis nustatyta statinio stiprio reikšmė yra 29,5 N/granulei.



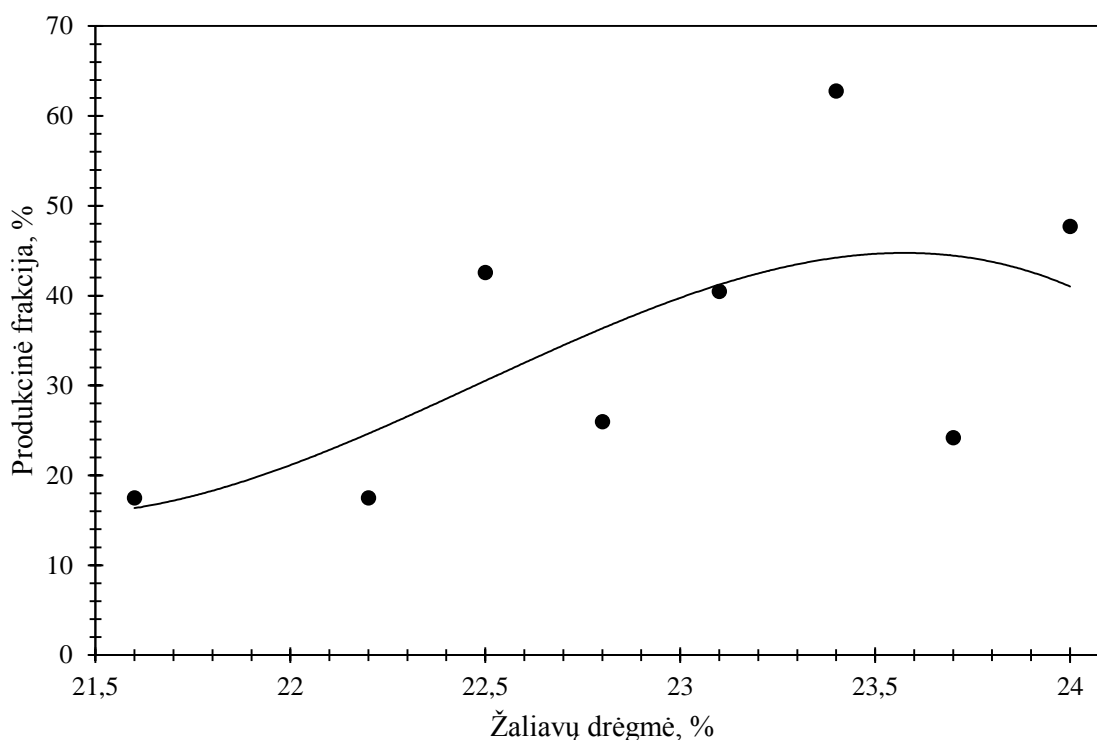
23 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės

Vertinant produkcinės frakcijos laisvai supiltų ir sutankintų granulių piltinio tankio duomenis, aiškios nustatytų šio parametro verčių priklausomybės tendencijos nuo žaliavų drėgmės nenustatyta (11 lentelė). Gauti rezultatai pasiskirstę nepriklausomai nuo žaliavų drėgmės kiekio. Mažiausia laisvai supiltų granulių piltinio tankio vertė yra $543,2 \text{ kg/m}^3$, o didžiausia – $695,2 \text{ kg/m}^3$. Atitinkamai žaliavų drėgmės kiekis buvo 20,0 % ir 24,0 %. Sutankintų granulių piltinio tankio mažiausia vertė – $568,0 \text{ kg/m}^3$, o didžiausia – $724,4 \text{ kg/m}^3$. Šios vertės gautos, esant atitinkamai 20,0 % ir 23,7 % žaliavų drėgmės kiekiams.

NPK trąšų gamybos technologijoje, kurioje pagrindinis įrenginys yra būgninis granulatorius arba būgninis granulatorius-džiovykla, trąšų gamyba negali vykti be minimalaus returo kiekio. Todėl buvo atlikti tyrimai į NPK 10–13–18 trąšas dedant 20 % ir 40 % returo. Reikiamas returo kiekis imamas iš prieš tai susidariusios smulkios frakcijos granuluojant NPK 10-13-18 trąšas.

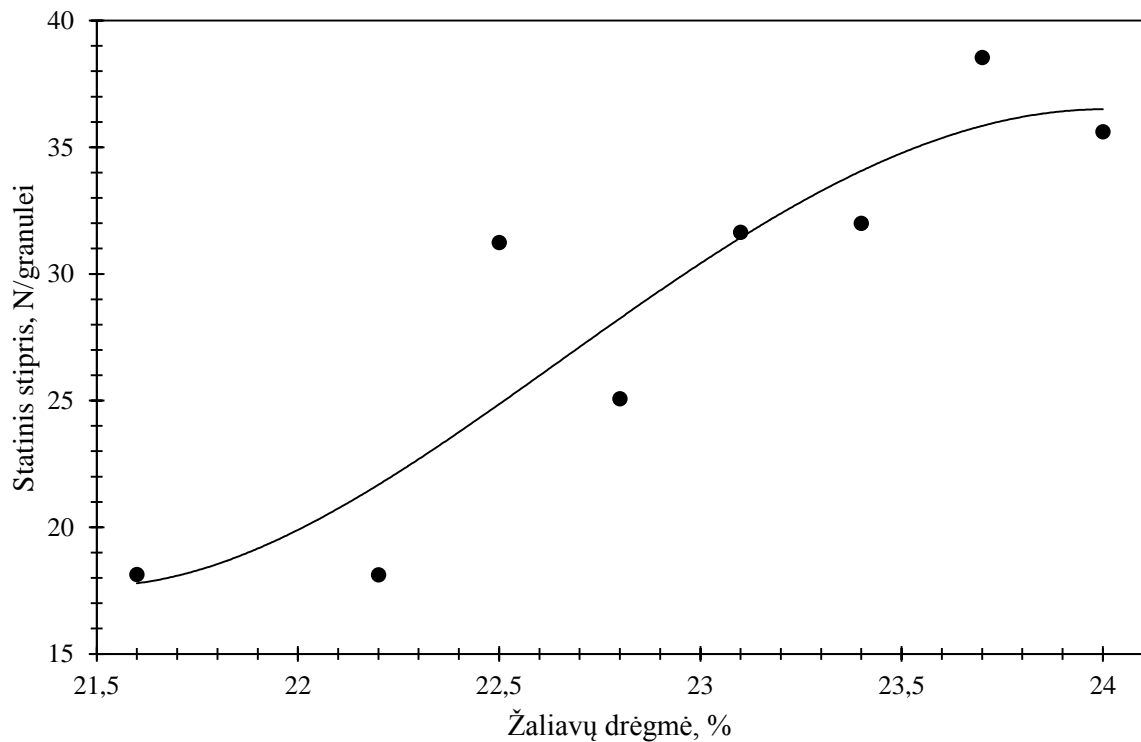
Buvo gaminama 200 g žaliavų mišinio, kuris šildomas iki ~60 °C temperatūros, sumaišomas su 20 % returo, 1 % H₃PO₄ rūgšties tirpalu ir sudozuojamas į būgninį granuliatorių-džiovyklą. Granuliavimas buvo pradėtas, esant 21,6 % žaliavų drėgmei. Nuo 22,2 % drėgmės kiekis nuosekliai didinamas kas 0,3 %, siekiant nustatyti optimalią jos vertę. Išdžiovinti bandiniai toliau analizuojami įprasta tvarka. Išsamūs rezultatai pateikti 6 priede, o produkcinės frakcijos ir statinio granulių stiprio grafinės priklausomybės nuo žaliavų drėgmės – 24 ir 25 paveiksluose.

Iš 24 paveiksle pateiktos NPK 10–13–18 markės trąšų produkcinės frakcijos priklausomybės nuo žaliavų drėgmės, kai granuliuojant naudojama 20 % returo negalima nustatyti tiesioginės priklausomybės tarp šių parametrų, tačiau išbrėžta kreivė tarp minėtų taškų vis dėlto rodo produkcinės frakcijos didėjimo tendenciją iki tam tikro drėgmės kiekio. Didžiausias 2–5 mm granulių frakcijos kiekis 62,8 % gautas, esant 23,4 % žaliavų drėgmei, o mažiausias – 17,5 %, esant 22,2 % drėgmei. Toliau didinant žaliavų drėgmę, kaip įprastai, didėja stambesnės frakcijos granulių kiekis, produkcinė frakcija mažėja, nes žaliavų sumaišymas ir žaliavų sudozavimas į būgninį granuliatorių-džiovyklą tampa sudėtingesnis.



24 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 20 % returo)

Analizuojant granulių statinio stiprio priklausomybę nuo žaliavų drėgmės (25 pav.) matyti gana aiškus granulių statinio stiprio didėjimas. Didžiausia statinio stiprio reikšmė yra 38,6 N/granulei, ir ji gauta esant 23,7 % žaliavų drėgmei.

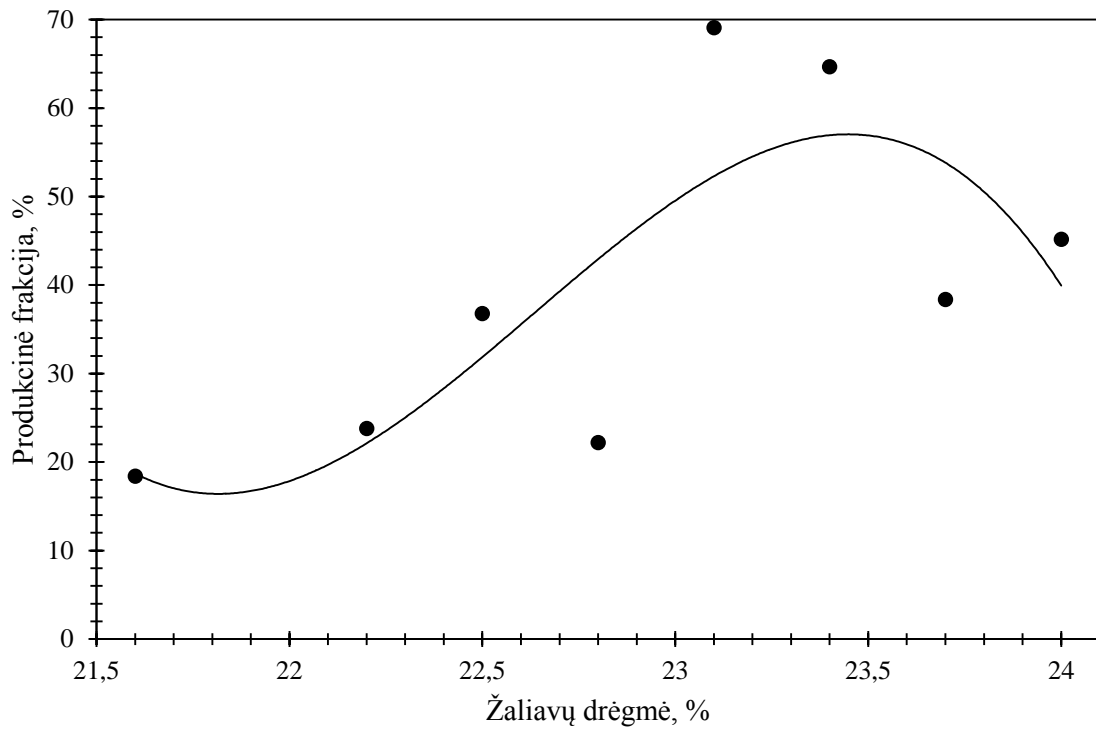


25 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 20 % returo)

Bandiniuose, kurie gauti granuliuojant su 20 % returo nuoseklios ir aiškios piltinių tankių priklausomybės nuo žaliavų drėgmės nepastebima. Mažiausia laisvai supiltų granulių piltinio tankio vertė – $590,0 \text{ kg/m}^3$, didžiausia – $729,6 \text{ kg/m}^3$. Atitinkamai žaliavų drėgmės buvo 22,2 % ir 23,7 %. Sutankinto granulių piltinio tankio mažiausia vertė yra $615,2 \text{ kg/m}^3$, o didžiausia – $759,2 \text{ kg/m}^3$ nustatytos, esant tokiai pačiai drėgmei kaip laisvai supiltų granulių piltinio tankio atveju. Lyginant šį parametą bandinių be returo ir bandinių, kuriuose yra 20 % returo atžvilgiu matyti, kad pastarųjų bandinių piltinių tankių vertės yra didesnės.

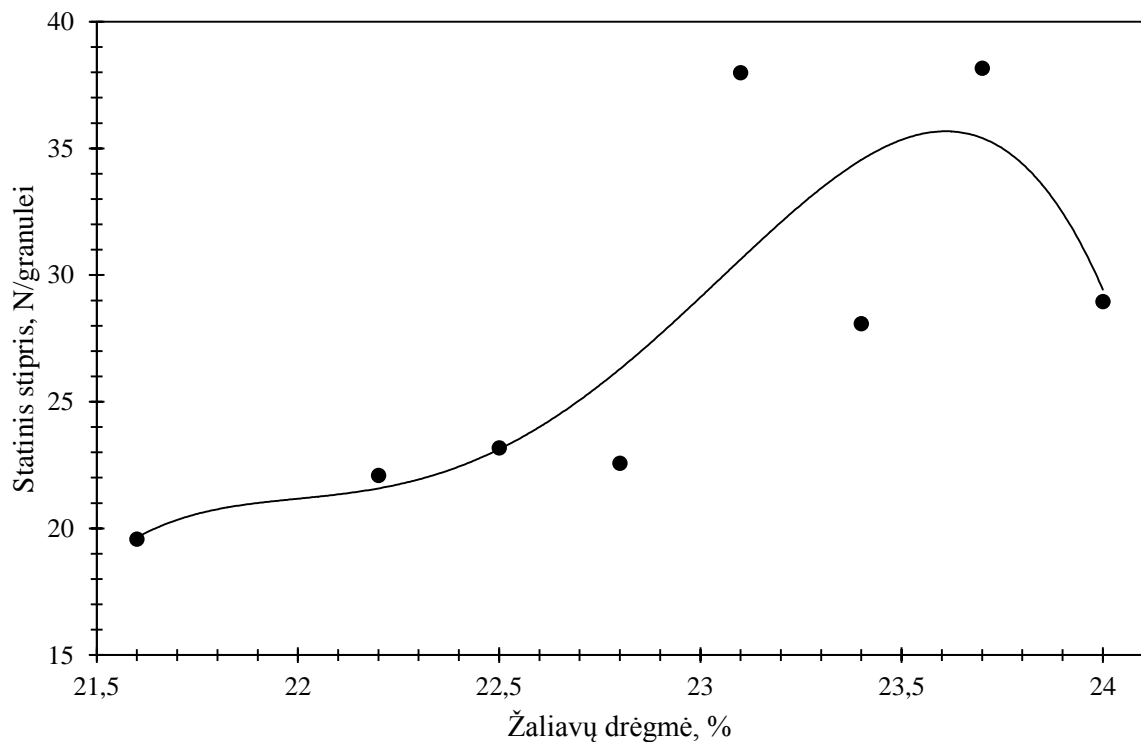
Granuliuojant NPK 10–13–18 markės trąšų bandinius kai žaliavų mišinyje yra 40 % returo, buvo laikomasi tų pačių sąlygų. Nustatytos tirtų parametų skaitinės vertės pateiktos 7 priede, o grafinės priklausomybės 26 ir 27 paveiksluose.

Iš produkcinės frakcijos priklausomybės nuo žaliavų drėgmės (26 pav.) matyti, kad tarp taškų išbrėžta kreivė rodo 2–5 mm granulių frakcijos procentinės dalies didėjimą, kai didėja žaliavų drėgmė. Pasiekus optimalią (23,1 %) žaliavų drėgmę produkcinės frakcijos kiekis mažėja. Didžiausias 2–5 mm granulių frakcijos kiekis 69,1 %.



26 pav. Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 40 % returo)

Analizuojant granulių statinio stiprio priklausomybę nuo žaliavų drėgmės (27 pav.) matyti, kad nuosekliai didėjant žaliavų drėgmei (iki 23,1 %) didėja produkcinės frakcijos granulių statinis stipris, o po to mažėja. Didžiausia statinio stiprio vertė yra 38,2 N/granulei.



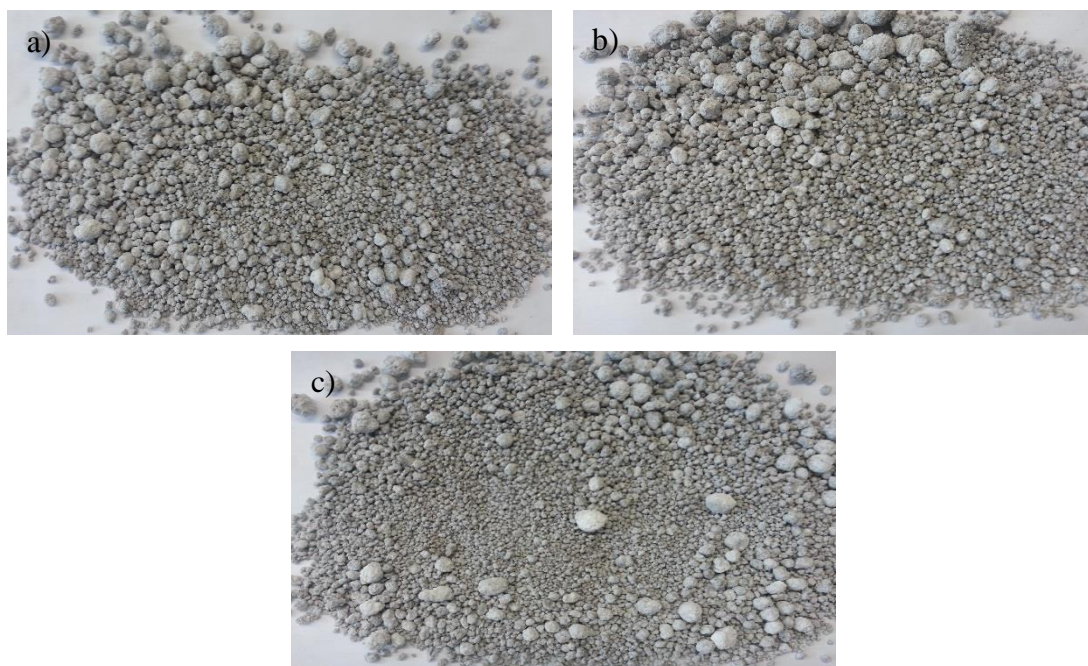
27 pav. Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės (su 40 % returo)

Bandinių, kurie gauti granuliuojant žaliavas su 40 % returo laisvai supiltų granulių piltinio tankio mažiausia vertė yra $629,2 \text{ kg/m}^3$, didžiausia – $749,2 \text{ kg/m}^3$. Sutankintų granulių piltinio tankio mažiausia vertė – $653,2 \text{ kg/m}^3$, o didžiausia – $772,8 \text{ kg/m}^3$. Abiejų rodiklių didžiausios bei mažiausios vertės buvo gautos, esant tai pačiai žaliavų drėgmei, atitinkamai: 21,6 % ir 23,7 %.

Vaizdesniam returo įtakos, granuliuoto produkto savybėms, pateikimui, NPK 10–13–18 markės trąšų pagrindiniai rodikliai pateikti diagramų pavidale (8 ir 9 priedas).

Iš diagramoje (8 priedas) pateiktų duomenų matyti, kad didėjant žaliavų mišinio drėgmei didėja ir produkcinės frakcijos vertės. Pasiekus tam tikrą žaliavų drėgmės vertę produkcinės frakcijos kiekis mažėja. Produkcinės frakcijos didėjimo ir mažėjimo tendencija kiekvienai bandinių serijai (be returo, su 20 % ir 40 % returo) yra skirtinga, todėl nustatyti vienodos priklausomybės negalima. Kitoje diagramoje (9 priedas) matyti, kad granulių statinio stiprio vertės didėja, didėjant žaliavų drėgmės kiekiui.

Analizuojant produkto pH vertės, matyti, kad NPK 10–13–18 markės 10 % trąšų tirpalo terpė yra švelniai šarminė ir labai tinka rūgščioms dirvoms tręšti. Paprastai NPK trąšų pH vertės svyruoja tarp 6 ir 7, o šiuo atveju pH vertės kinta ribose: 6,95–7,51 (be returo); 7,31–7,76 (su 20 % returo) ir 7,26–7,81 (su 40 % returo). Sugranuliuotas NPK 10–13–18 produktas be returo, su 20 % ir 40 % returo pateiktas 28 paveiksle.



28 pav. NPK 10-13-18 markės trąšos: a) – be returo, b) – su 20 % returo, c) – su 40 % returo

Įvertinus gautus rezultatus galima teigti, kad naudojant (AS, DAP, pelenai ir SOP) žaliavas, esant žaliavų mišinyje nuo 23,1 % iki 23,4 % drėgmės ir 40 % returo, gaunamas kokybiškas produktas, kurio produkcinės frakcijos išeiga 69,1–64,7 %, granulių statinis stipris – 37,9–28,1 N/granulei, 10 % tirpalo pH 7,69–7,44, o granulių drėgmė 1,3–1,4 %. Gautas produktas – NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S.

4. Technologinės rekomendacijos

4.1. Grikių lukštų granuliavimo technologinė schema

Įvertinus visus duomenis, kurie nustatyti granuliuojant grikių lukštų pelenus galima daryti išvadą, kad geriausi granuluoto produkto (PK 0–9,5–25,9+18,9CaO+12,4MgO) rodikliai gauti pelenus granuliuojant su 20 % koncentracijos PVA tirpalu ir naudojant 20 % returo. Šių bandinių serijos su skirtingu drėgmės kiekiu produkcinės frakcijos dalis buvo pats didžiausia: nuo 54,4 % iki 56,5 %. Visos serijos bandinių vertės yra labai panašios, todėl vertinant iš technologinės pusės, nežymiai pasikeitusi žaliavų drėgmė nepadarytų didelės neigiamos įtakos produkcinės frakcijos kiekiui. Kitaip tariant, esant tokioms sąlygoms (20 % koncentracijos PVA ir 20 % returo), pelenu granuliavimo procesą nebūtų sunku valdyti.

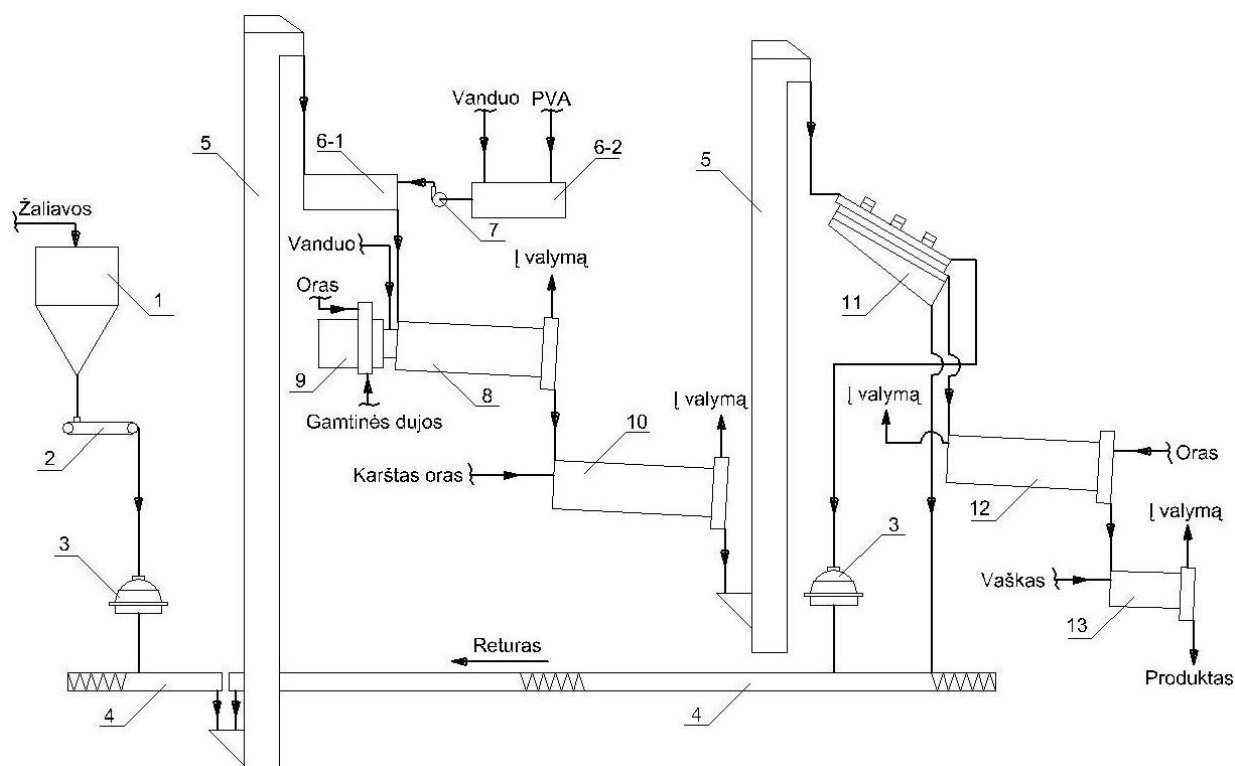
Analizuojant, minėtomis sąlygomis, granulių statinio stiprio reikšmę matyti, kad jos nėra pačios didžiausios. Kaip jau buvo minėta, didžiausios stiprio vertės gaunamos granuliuojant pelenus su 30 % koncentracijos PVA tirpalu, tačiau šios serijos produkcinės frakcijos kiekis yra itin mažas. Todėl optimaliausia išlieka 20 % PVA tirpalo koncentracija. Returo įtaka produkcinės frakcijos kiekio ir statinio stiprio vertėms nėra labai aiškiai išreikšta, tačiau dauguma atvejų geriausi rezultatai pelenuose gauti naudojant 20 % returo.

Visų bandinių pH ir piltinių tankių vertės yra labai panašios, todėl parinkti optimalias sąlygas pagal šiuos parametrus juos lyginti tarpusavyje – neverta. Išrinktų geriausių bandinių granuliavimo sąlygos bei produkto parametrai pateikti 12 lentelėje.

12 lentelė. Grikių lukštų pelenu optimalios granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai

Bandinio Nr.	13-1	14-1	15-1	16-1	17-1	18-1	
Žaliavų drėgmė, %	50,0	52,4	53,5	54,4	55,6	56,5	
PVA, %	20	20	20	20	20	20	
Returas, %	20	20	20	20	20	20	
Granulimetrinė sudėtis, %	> 5 mm	18,5	17,2	20,4	30,4	34,2	38,8
	3–5 mm	16,4	23,2	23,7	35,1	31,4	48,6
	2–3 mm	16,3	23,0	23,9	27,0	24,1	10,1
	1–2 mm	26,9	29,6	27,0	6,7	9,2	1,9
	< 1 mm	22,0	7,0	5,1	0,7	1,0	0,6
Produkto drėgmė, %	1,7	1,1	1,7	1,2	1,7	1,7	
pH	11,14	11,44	11,46	11,29	11,17	11,10	
Statinis stipris, N/granulei	22,6	21,7	25,0	19,1	25,1	21,5	
Laisvai supiltų granulių piltinis tankis, kg/m ³	406,0	445,2	440,8	441,2	437,6	466,4	
Sutankintų granulių piltinis tankis, kg/m ³	423,6	470,4	474,4	469,2	459,6	500,0	

Pagal tyrimais nustatytus geriausius grikių lukštų granulių rodiklius bei optimalias granuliavimo sąlygas rekomenduojama į pelenus įdėti ne mažiau kaip 20 %, mažesnių nei < 2 mm dydžio pelenų returo dalelių. Žaliavų mišinį apipurkšti 20 % koncentracijos PVA tirpalu, gerai sumaišyti ir granuliuoti būgniniame granuliuotuvyje-džiovykloje. Granuliuotuvyje-džiovykloje palaikyti apie 80–100 °C temperatūrą. Sugranuliuotą ir dalinai išdžiovintą produktą (PK 0–9,5–25,9+18,9CaO+12,4MgO) toliau džiovinti būgninėje džiovykloje palaikant 80–90 °C temperatūrą. Iš sugranuliuotų pelenų masės atskirti produkcinę 2–5 mm frakciją, ataušinti aušintuve ir apipurkšti kondicionavimo medžiagomis, o kitų frakcijų granules grąžinti kaip returą ir pradinę sumaišymo stadiją. Rekomenduojama technologinė schema pateikta 29 paveiksle.



29 pav. Grikių lukštų pelenų granuliavimo principinė schema: 1 – bunkeris, 2 – juostinis dozatorius – svarstyklės, 3 – malūnas, 4 – sraigtinis transporteris, 5 – kaušinis elevatorius, 6-1, 6-2 – sumaišytuvai, 7 – siurblys, 8 – būgninis granuliuotuvys-džiovykla, 9 – karšto oro generatorius, 10 – būgninė džiovykla, 11 – sietai, 12 – aušintuvas, 13 – apvėlimo būgnas

Grikių lukštų pelenai supilami į bunkerį, iš kurio patenka ant juostinio transporterio-svarstyklių. Juostiniam transporteriui besisukant nustatytu greičiu, reikiamas pelenų kiekis patenka į malūną ir jame sumalamas. Toliau sraigtinis transporteris ir kaušiniu elevatoriumi malti pelenai tiekiami į sumaišytuvą. Į šį sumaišytuvą kartu tiekiamas ir kitame sumaišytuve iš 60 °C temperatūros vandens ir PVA paruoštas 20 % koncentracijos PVA vandeninis tirpalas. Sumaišyta masė patenka į granuliuotuvį-džiovyklą. Granuliuotuvyje-džiovykloje tinkamai temperatūrai palaikyti karšto oro generatoriuje, deginant gamtinių dujų ir oro mišinį, pučiamas karštas oras. Sugranuliuotas produktas iki reikiamos drėgmės toliau džiovinamas būgninėje džiovykloje. Čia granulės visiškai išdžiūsta ir sutvirtėja. Į džiovyklą pučiamas 80–90 °C

temperatūros oras. Išdžiūvusios granulės sijojamos sietais. Didesnės kaip 5 mm granulės nubyrėjusios viršutiniu sietu sumalamos malūnu ir sraigtniu transporteriu, kaušiniu elevatoriumi grąžinamos į sumaišytuvą. Mažesnės kaip 2 mm granulės taip pat, kaip returas, grąžinamos į sumaišytuvą. Produkcinės 2–5 mm frakcijos granulės atvėsinaamos aušintuve iki 30–35 °C temperatūros ir apvėlimo būgne apipurkštos vašku patenka į sandėliavimo aruodą. Dulkes susidarančios įrengimuose (malūnuose, sraigtniuose transporteriuose, kaušiniuose elevatoriuose, granuliatoriuje, džiovykloje, aušintuve, apvėlimo būgne ir sietuose) valomos rankoviniuose filtruose, išmetant išvalytą orą į aplinką, o dulkes grąžinant į gamybą, kaip returą.

4.2. Sudėtinių NPK trąšų granuliavimo technologinė schema

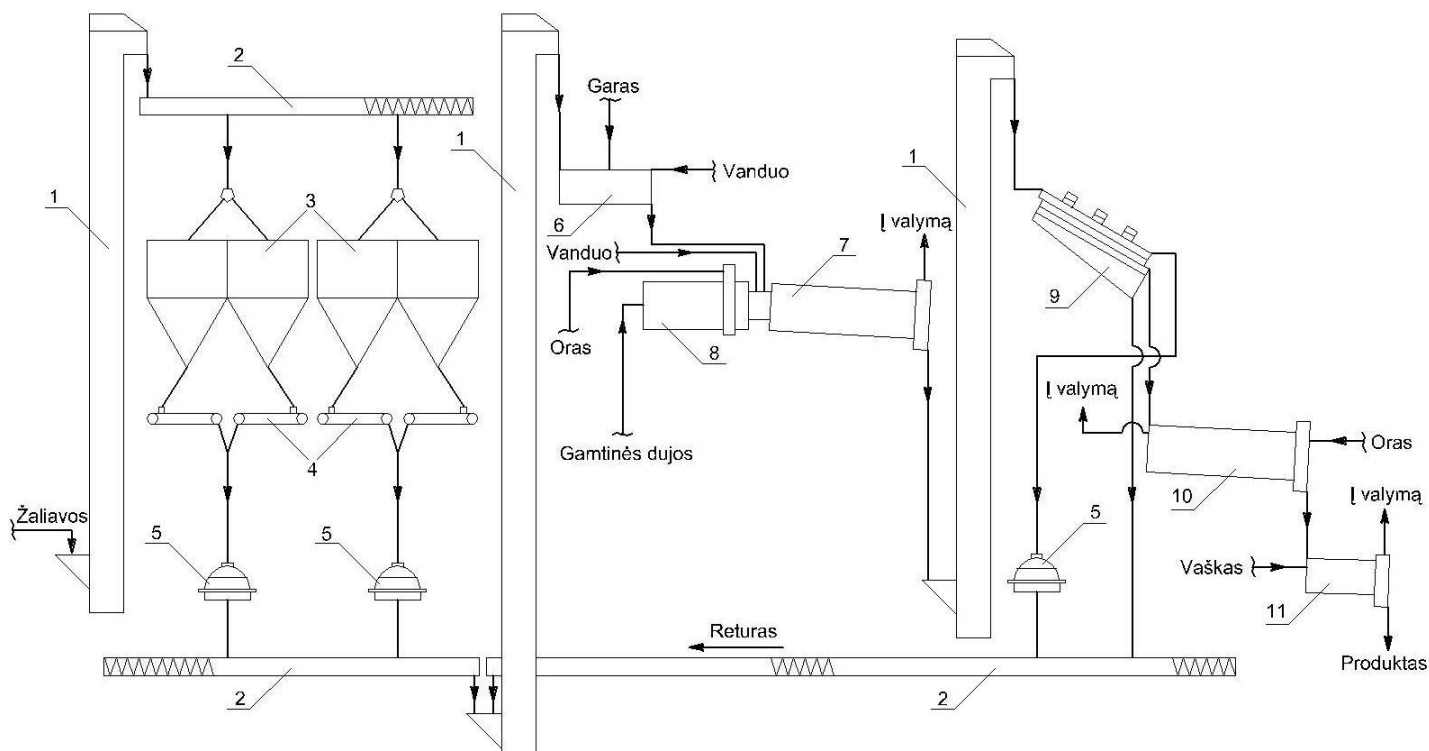
Įvertinus eksperimentinėje dalyje (3.3 skyrius) gautus rezultatus, nustatytos optimalios NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S markės trąšų su grikių lukštų pelenais granuliavimo sąlygos ir geriausi produkto rodikliai pateikta 13 lentelėje. Bandiniai buvo atrinkti, labiausiai atsižvelgiant į produkcinės frakcijos kiekį. NPK 7-2 bandinio produkcinė frakcija sudaro 69,1 %, o NPK 8-2 bandinio – 64,7 %. Šios produkcinės frakcijos kiekių vertės gautos, esant 23,1 % ir 23,4 % žaliavų drėgmei. Kaip matyti iš 13 lentelės, didžiausios 2–5 mm frakcijos vertės gautos kai naudojama 40 % returo. Granulių statinio stiprio, pH ir piltinių tankių vertės tarpusavyje mažai skiriasi nuo geriausių gautų bandinių be returo ir su 20 % returu, todėl įvertinę produkcinės frakcijos kiekį galime teigti, kad geriausi yra NPK 7-2 ir NPK 8-2 bandiniai.

13 lentelė. NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S markės trąšų su pelenais optimalios granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai

Bandymo Nr.		NPK 7-2	NPK 8-2
Žaliavų drėgmė, %		23,1	23,4
Returas, %		40	40
Granulimetrinė sudėtis, %	> 5 mm	27,8	24,0
	3–5 mm	44,7	27,5
	2–3 mm	24,4	37,2
	1–2 mm	2,9	10,7
	< 1 mm	0,2	0,6
Produkto drėgmė, %		1,3	1,4
pH		7,69	7,44
Statinis stipris, N/granulei		37,9	28,1
Laisvai supiltų granulių piltinis tankis, kg/m ³		748,8	713,2
Sutankintų granulių piltinis tankis, kg/m ³		772,0	742,0

Siekiant gauti didžiausią NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S markės trąšų produkcinę išėigą rekomenduojama į žaliavų mišinį įdėti ~40 % returo. Žaliavų mišinyje palaikyti apie 23,1–

23,4 % drėgmę. Drėkinimui naudoti 1 % koncentracijos H_3PO_4 tirpalą. Granuliuojant palaikyti apie 80–100 °C temperatūrą. Rekomenduojama NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S gamybos schema pateikta 30 paveiksle.



30 pav. NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S markės trąšų granuliavimo principinė schema: 1 – kaušinis elevatorius, 2 – sraigtinis transporteris, 3 – bunkeris, 4 – juostinis transporteris – svarstyklės, 5 – malūnas, 6 – sumaišytuvas, 7 – būgninis granulatorius-džiovykla, 8 – karšto oro generatorius, 9 – sietai, 10 – aušintuvas, 11 – apvėlimo būgnas

Kaušinių elevatoriumi ir sraigtinio transporteriu žaliavos transportuojamos į bunkerius. Kiekviena skirtinga žaliava tiekama į jai skirtą bunkerį. Toliau žaliavos byra ant juostinių transporterių – svarstyklių, kurioms sukantis dozuojamas reikiamas kiekvienos žaliavos kiekis. Prieš sumaišant žaliavas, jos sumalamos malūnuose ir tik po to, sraigtinio transporteriu ir kaušiniu elevatoriumi transportuojamos į sumaišytuvą. Sumaišytuve žaliavos sumaišomos, pašildomos garu (iki 70–80 °C temperatūros) ir sudrėkinamos parūgštintu vandeniu. Sumaišyta, pašildyta ir sudrėkinta žaliavų masė patenka į būgninį granuliatorių-džiovyklą, kuriame palaikant 80–100 °C temperatūrą vyksta granuliavimo ir džiovinimo procesas. Jei reikia didesnės žaliavų drėgmės, gali būti tiekimas vanduo ir į granuliatorių-džiovyklą. Sugrąžinuota žaliavų masė ir išdžiūvusios produkto granulės sijojamos sietais. Didesnės kaip 5 mm granulės malūnu sumalamos ir sraigtinio transporteriu bei kaušiniu elevatoriumi gražinamos į sumaišytuvą. Mažesnės kaip 2 mm granulės prabyrėję per sietus taip pat gražinamos į sumaišytuvą. Produkcinės 2–5 mm frakcijos granulės atvėsinau aušintuve iki 30–35 °C temperatūros. Atvėsusios granulės apvėlimo būgne apipurškiamos vašku ir transportuojamos į aruodą. Dulkės, susidaranti gamybos metu įrengimuose, išvalomos ciklone ir rankoviniuose filtruose.

Išvados

1. Nustatyta grikių lukštų pelenų cheminė sudėtis ir fizikinės cheminės savybės. Pelenuose yra pagrindinių maisto medžiagų: P_2O_5 – 9,5 % ir K_2O – 25,4–26,5 %, antrinių maisto medžiagų: CaO – 16,1–21,7 %; MgO – 12,4 %; Na_2O – 0,07 %; S – 1,3 % bei mikroelementų: Zn – 441–659 mg/kg; Mn – 2500–3949 mg/kg; Cu – 124–293 mg/kg; Fe – 5969–7850 mg/kg; Co – 7,6 mg/kg; Mo – 9,3 mg/kg. Pelenų 10 % tirpalo pH – 11,40, laisvai supiltų pelenų piltinis tankis – 341,0 kg/m³ ir sutankintų pelenų piltinis tankis – 503,2 kg/m³.

2. Keičiant granuliavimo sąlygas (žaliavų mišinio drėgmę, rišančiąją medžiagą ir returo kiekį) laboratoriniu būgniniu granulatoriumi-džiovykla sugranuliuoti grikių lukštų pelenai. Gauta trąšų markė – PK 0–9,5–25,9+18,9CaO+12,4MgO. Nustatytos granuliuoto produkto fizikinės cheminės savybės.

3. Nustatytos optimalios pelenų granuliavimo būgniniu granulatoriumi sąlygos (žaliavų mišinio drėgmė – nuo 50 iki 56,5 %, 20 % koncentracijos PVA tirpalas ir 20 % returo), kurioms esant gaunami geriausi produkto parametrai (produkcinės frakcijos kiekis 32,7–62,1 %, granulių statinis stipris – 19,1–25,1 N/granulei, 10 % tirpalo pH – 11,10–11,46).

4. Naudojant grikių lukštų pelenus ir kitas tradicines trąšų žaliavas (amonio sulfatas, amonio hidrofosfatas, kalio sulfatas) sudarytas medžiagų balansas ir būgniniu granulatoriumi-džiovykla sugranuliuotos sudėtinės bechlorės NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S markės trąšos.

5. Nustatyta, kad sudėtinių NPK 10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S markės trąšų geriausi kokybiniai rodikliai (produkcinės frakcijos kiekis – 69,1–64,7 %, granulių statinis stipris – 37,9–28,1 N/granulei, 10 % tirpalo pH – 7,69–7,44) gauti esant: 23,1–23,4 % žaliavų mišinio drėgmei kai žaliavos drėkinamos 1 % koncentracijos H_3PO_4 tirpalu ir 40 % returo.

6. Sukurta biomasės pelenų (PK 0–9,5–25,9+18,9CaO+12,4MgO) ir sudėtinių bechlorių NPK trąšų su pelenais (10–13–18+4,8CaO+3,4MgO+12S) principinė technologinė schema.

Literatūra

1. Feeding houseplants [internete] [žiūrėta 2015-05-23]. Prieiga per internetą: <http://www.lovethegarden.com/gardening-growing/feeding-houseplants>.
2. Paleckienė R., Sviklas A. M. Trąšų agrochemija. VU chemijos fakultetas, 2012.
3. LINAS AGRO. Pasėlių priežiūros aktualijos [interaktyvus] [žiūrėta 2015-05-09]. Prieiga per internetą: http://www.linasagro.lt/index.php?mact=News,cntnt01,detail,0&cntnt01articleid=769&cntnt01origid=180&cntnt01lang=lt_LT&cntnt01returnid=180
4. ASU. Kobalto trąšos [interaktyvus] [žiūrėta 2015-05-09]. Prieiga per internetą: <http://www.asu.lt/nm/1-projektas/augalu-mityba/62.htm>
5. Povilaitis V., Tilvikienė V., Lazauskas S., Kadžiulienė Ž. Javų bioenergetinis potencialas vidurio Lietuvoje. *Ekonomika ir vadyba: aktualijos ir perspektyvos*. 2010, 3(19), 103–09
6. KAUNO KOLEGIJA. Pelenai – ne tik vertinga trąša. [interaktyvus] [žiūrėta 2015-05-09]. Prieiga per internetą: <http://www.zak.lt/pelenai-ne-tik-vertinga-trasa/>
7. Valuntienė I., Paškauskaitė Ž. Pelenų, susidarančių šilumos tiekimo įmonėse deginant medieną, panaudojimas. (Ataskaita). Vilnius, 2007
8. Demeyer A., Voundi Nkana J. C., Verloo M. G. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. *Bioresource Technology*. 2001, 77, 287–295
9. Paleckienė R., Sviklas A. M., Šlinkšienė R., Štreimikis V. Processing of Rape Straw Ash into Compound Fertilizers Using Sugar Factory Waste. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2012, 21(4), 993–999
10. Paleckienė R., Sviklas A. M., Šlinkšienė R., Štreimikis V. Complex Fertilizers Produced from the Sunflower Husk Ash. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2010, 19(5), 973–979
11. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS APSAUGOS MINISTERIJA. Medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklės. Vilnius, 2014, Nr. D1 – 572
12. Valiulis G. Extended Simulation Models for Granulation of Fertilizers. (Daktaro disertacija). Kaunas, 2010
13. Sviklas A. M., Paleckienė R., Šlinkšienė R. Sudėtinės trąšos. Vilnius, 2008
14. Tardos I. G., Khan I. M., Mort R. P. Critical parameters and limiting conditions in binder granulation of fine powders. *Powder Technology*. 1997, 94, 245–258
15. AICHEMA. Polivinilo acetato dispersija (PVAD) [interaktyvus] [žiūrėta 2015-05-09]. Prieiga per internetą: <http://www.achema.lt/polivinilo-acetato-dispersija-pvad>
16. Dukštienė N., Dabrilaitė – Kudžmienė G., Paleckienė R. Fizikocheminės analizės laboratoriniai darbai. Kaunas, 2011

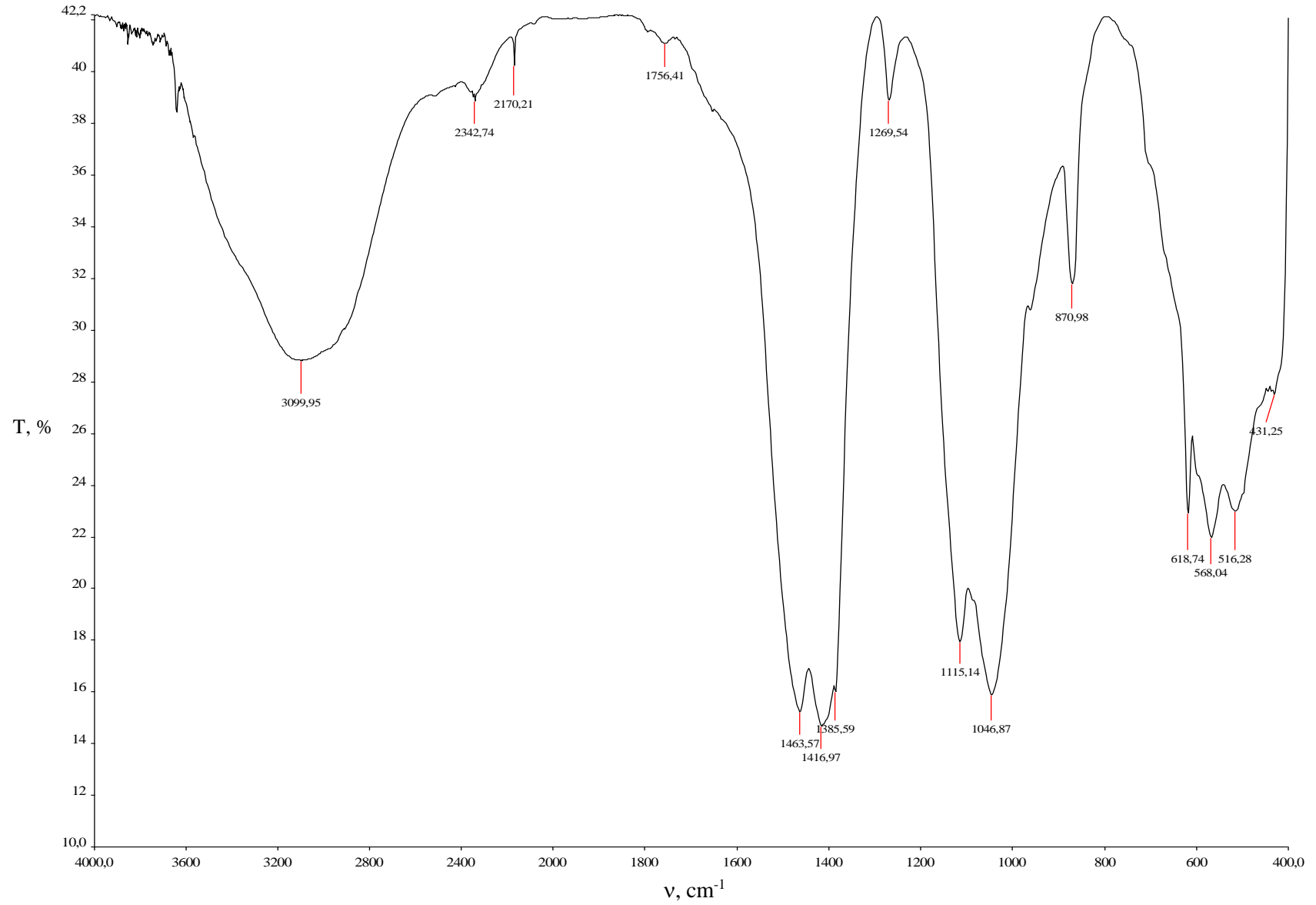
17. Золотова А. Ю. Основы аналитической химии. Москва, 2001
18. Mickevičius D. Cheminės analizės metodai. 1 dalis. Vilnius, 1998
19. Šiaučiūnas R., Baltakys K., Baltušnikas A. Silikatinių medžiagų instrumentinė analizė. Kaunas, 2007
20. Накамото К. ИК спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. Москва, 1991
21. LR standartas LST EN 1235:2002. Kietosios trąšos. Trąšų granulimetrinės sudėties nustatymas sijoiant
22. LR standartai: LST EN 1236:2002 (Trąšos. Laisvai supiltų trąšų piltinio tankio nustatymas) ir LST EN 1237:2002 (Trąšos. Sutankintų trąšų piltinio tankio nustatymas)
23. LR standartas LST CR 12333:2006. Trąšos. Trąšų granuliu stiprio nustatymas

Gyvenimo aprašymas

Vardas, pavardė: Evaldas Griškaitis
Gimimo data: 1990-09-02, Vilkaviškis
Adresas, tel. nr.: Liepų. g., Aistiškiai. +37062592930
El. Paštas: Evaldas.griskaitis@gmail.com
Išsilavinimas Aukštasis universitetinis
Mokymosi įstaigos:
1997 – 2002 Aistiškių pradinė mokykla
2002 – 2009 Gražiškių vidurinė mokykla
2009 – 2013 Kauno technologijos universitetas. Cheminė technologija ir inžinerija. Bakalauro dieninės studijos
2013 – iki šiol Kauno technologijos universitetas. Chemijos inžinerija. Magistro dieninės studijos

Priedai

Grikių lukštų pelenų IR spektras



Grikių lukštų pelenų granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai (su 20 % returo)

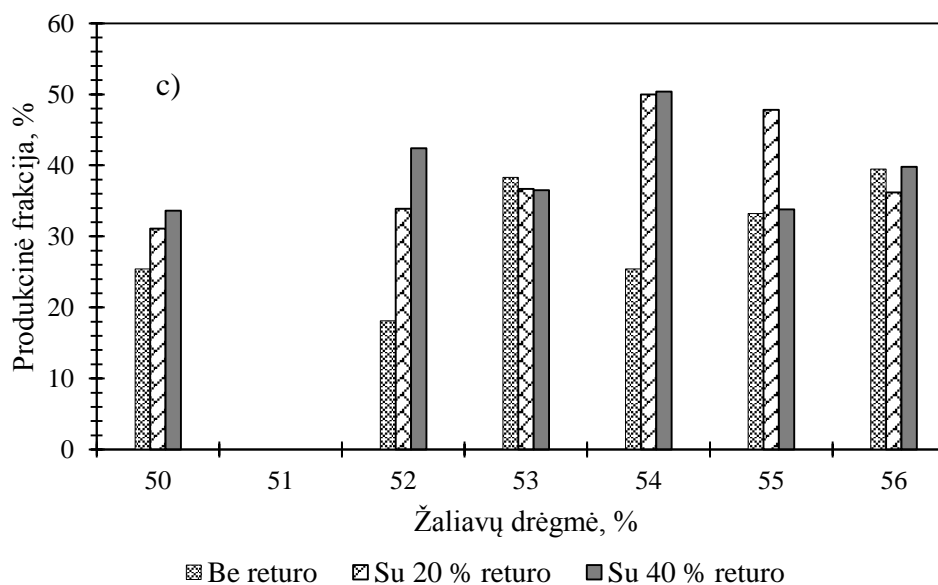
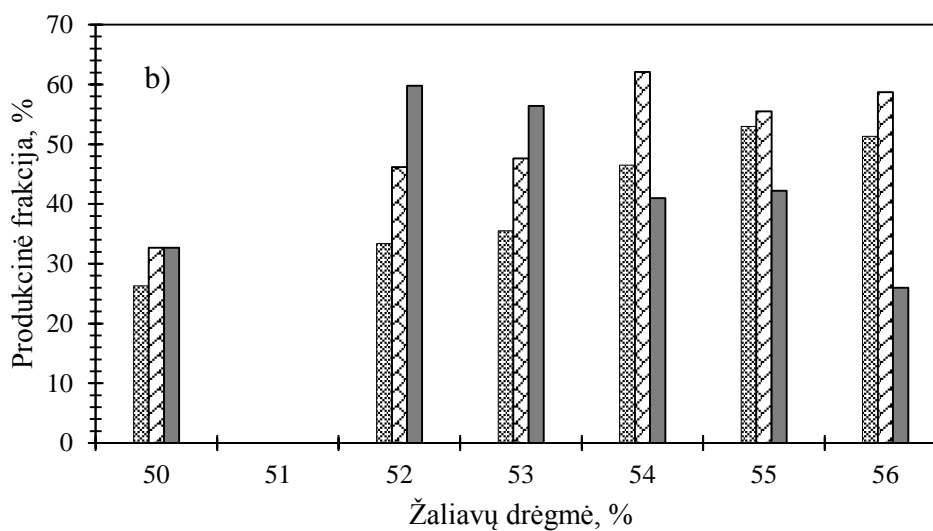
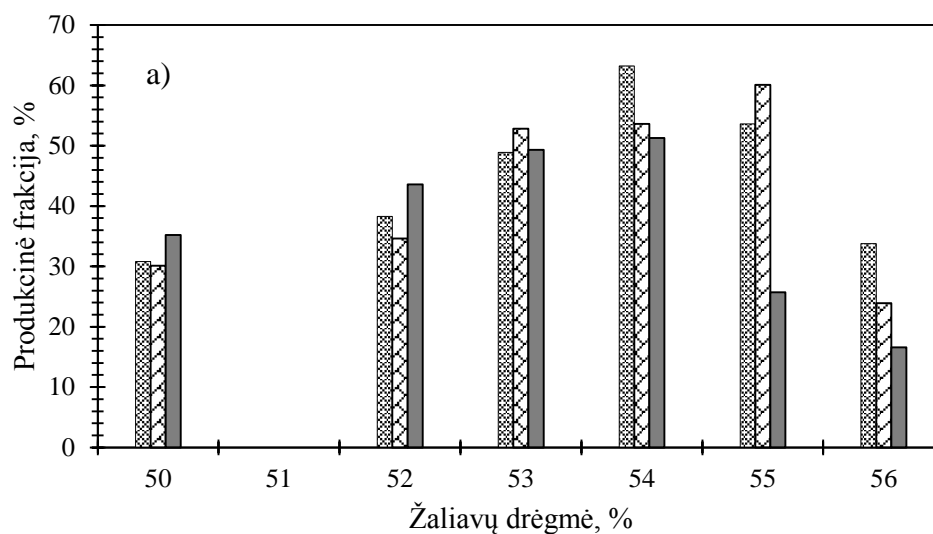
Band. Nr.	Žaliavų drėgmė, %	PVA, %	Granulimetrinė sudėtis, %					Produkto drėgmė, %	10 % tirpalo pH	Laisvai supiltų granulių piltinis tankis, kg/m ³	Sutankintų granulių piltinis tankis, kg/m ³
			> 5 mm	3 – 5 mm	2 – 3 mm	1 – 2 mm	< 1 mm				
1-1	41,2	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-1	44,4	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-1	47,4	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-1	50,0	10	14,9	13,6	16,5	33,2	21,7	1,7	11,40	382,0	410,0
5-1	52,4	10	15,7	17,4	17,2	32,8	17,0	1,5	11,95	408,0	425,2
6-1	53,5	10	22,3	22,8	30,0	21,2	3,6	1,4	11,61	434,8	467,6
7-1	54,4	10	30,8	28,2	25,4	11,8	3,9	1,2	11,64	410,0	434,0
8-1	55,6	10	30,4	31,0	29,1	8,5	1,0	1,7	11,59	392,4	411,2
9-1	56,5	10	74,0	21,2	2,7	1,2	1,0	1,2	11,67	438,4	454,0
10-1	41,2	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11-1	44,4	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-1	47,4	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13-1	50,0	20	18,5	16,4	16,3	26,9	22,0	1,7	11,14	406,0	423,6
14-1	52,4	20	17,2	23,2	23,0	29,6	7,0	1,1	11,44	445,2	470,4
15-1	53,5	20	20,4	23,7	23,9	27,0	5,1	1,7	11,46	440,8	474,4
16-1	54,4	20	30,4	35,1	27,0	6,7	0,7	1,2	11,29	441,2	469,2
17-1	55,6	20	34,2	31,4	24,1	9,2	1,0	1,7	11,17	437,6	459,6
18-1	56,5	20	38,8	48,6	10,1	1,9	0,6	1,7	11,10	466,4	500,0
19-1	41,2	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20-1	44,4	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21-1	47,4	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22-1	50,0	30	29,9	18,7	12,4	18,3	20,7	1,5	11,14	406,0	436,0
23-1	52,4	30	34,0	20,5	13,4	19,4	12,7	1,8	11,41	439,2	456,0
24-1	53,5	30	34,7	21,6	15,1	20,7	7,8	1,7	11,20	441,2	469,2
25-1	54,4	30	33,8	28,1	21,9	14,7	1,4	2,0	10,87	441,6	470,4
26-1	55,6	30	48,5	34,3	13,5	2,9	0,7	2,0	11,08	441,6	468,4
27-1	56,5	30	62,7	31,9	4,3	0,7	0,4	2,0	11,07	452,4	468,4

3 priedas

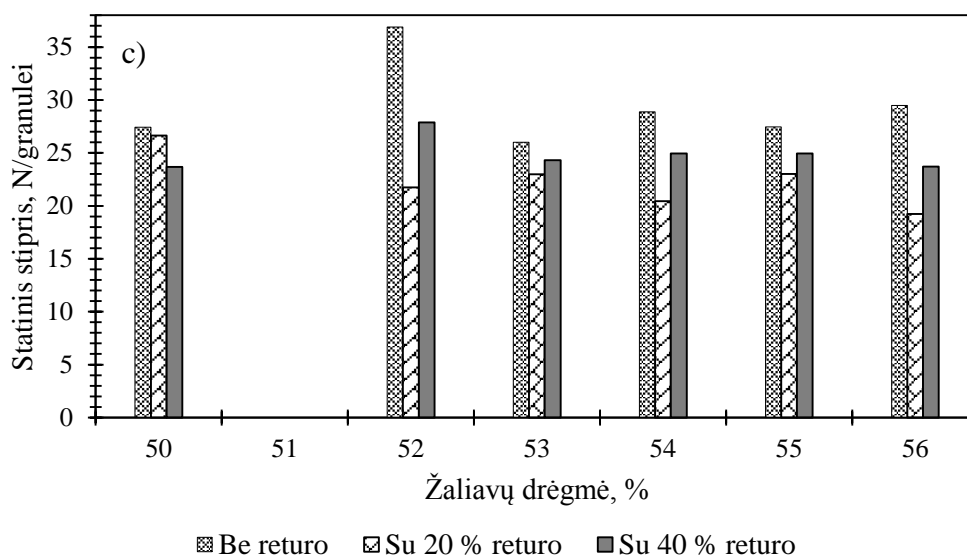
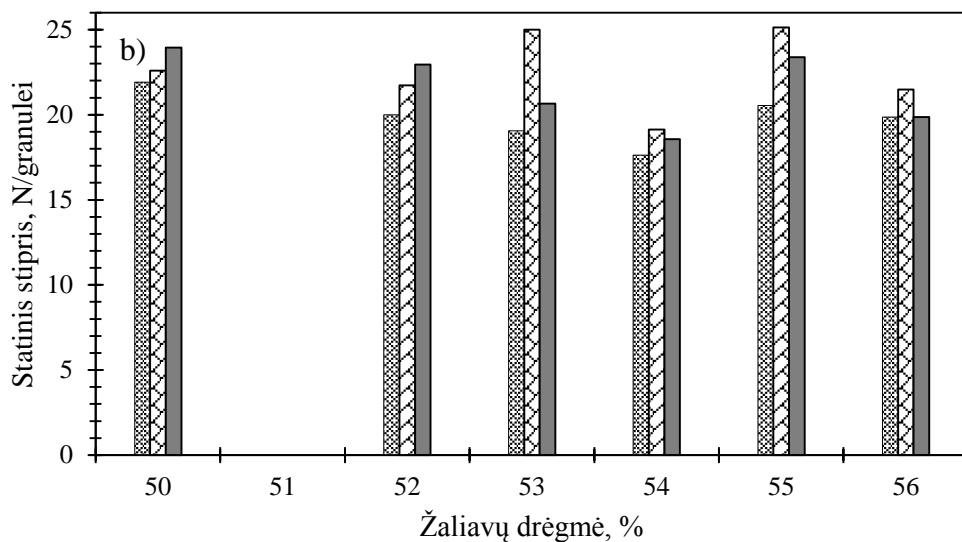
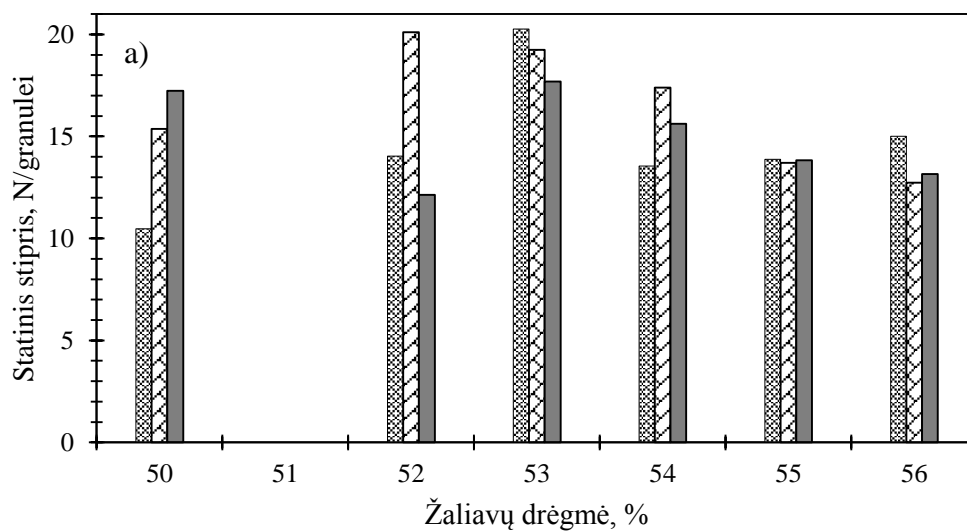
Grikių lukštų pelenų granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai (su 40 % returo)

Band. Nr.	Žaliavų drėgmė, %	PVA, %	Granulimetrinė sudėtis, %					Produkto drėgmė, %	10 % tirpalo pH	Laisvai supiltų granulių piltinis tankis, kg/m ³	Sutankintų granulių piltinis tankis, kg/m ³
			> 5 mm	3 – 5 mm	2 – 3 mm	1 – 2 mm	< 1 mm				
1-2	41,2	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2-2	44,4	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3-2	47,4	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4-2	50,0	10	11,5	10,6	24,6	41,8	11,6	1,8	11,06	420,0	437,6
5-2	52,4	10	17,0	18,2	25,4	32,2	7,2	1,5	11,54	419,2	441,6
6-2	53,5	10	45,3	42,7	6,6	3,3	2,2	1,4	11,32	439,2	456,0
7-2	54,4	10	41,9	41,7	9,6	3,9	3,0	1,3	11,63	396,4	416,0
8-2	55,6	10	71,6	23,6	2,1	1,4	1,2	1,8	11,49	379,2	395,6
9-2	56,5	10	81,1	14,9	1,7	1,5	0,8	1,7	11,61	437,6	465,6
10-2	41,2	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11-2	44,4	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12-2	47,4	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13-2	50,0	20	20,9	16,3	16,4	31,4	15,0	1,7	11,09	424,0	446,4
14-2	52,4	20	21,1	31,6	28,2	15,4	3,7	1,7	11,19	431,6	473,6
15-2	53,5	20	29,4	32,1	24,3	10,7	3,5	2,0	11,41	443,6	462,8
16-2	54,4	20	56,1	36,1	4,9	1,6	0,7	1,2	11,19	374,0	424,0
17-2	55,6	20	55,4	35,1	7,1	1,7	0,7	1,9	11,11	414,4	459,6
18-2	56,5	20	71,9	23,3	2,7	1,5	0,5	2,0	11,32	422,4	448,4
19-2	41,2	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20-2	44,4	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21-2	47,4	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22-2	50,0	30	30,6	20,2	13,4	24,2	11,6	1,2	11,04	401,2	431,6
23-2	52,4	30	33,7	24,7	17,7	19,8	4,1	1,7	11,11	448,4	479,2
24-2	53,5	30	50,6	21,9	14,6	10,8	2,1	1,6	11,10	472,0	494,0
25-2	54,4	30	37,0	30,5	19,9	11,0	1,6	1,2	10,91	455,2	474,4
26-2	55,6	30	64,5	29,4	4,4	1,1	0,6	1,9	11,01	454,4	474,4
27-2	56,5	30	57,6	33,8	6,0	1,9	0,7	1,4	11,00	433,6	462,8

Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės ir returo kiekio, esant: a – 10 %, b – 20 %, c – 30 % PVA koncentracijai tirpale



Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės ir returo kiekio, esant: a – 10 %, b – 20 %, c – 30 % PVA koncentracijai tirpale



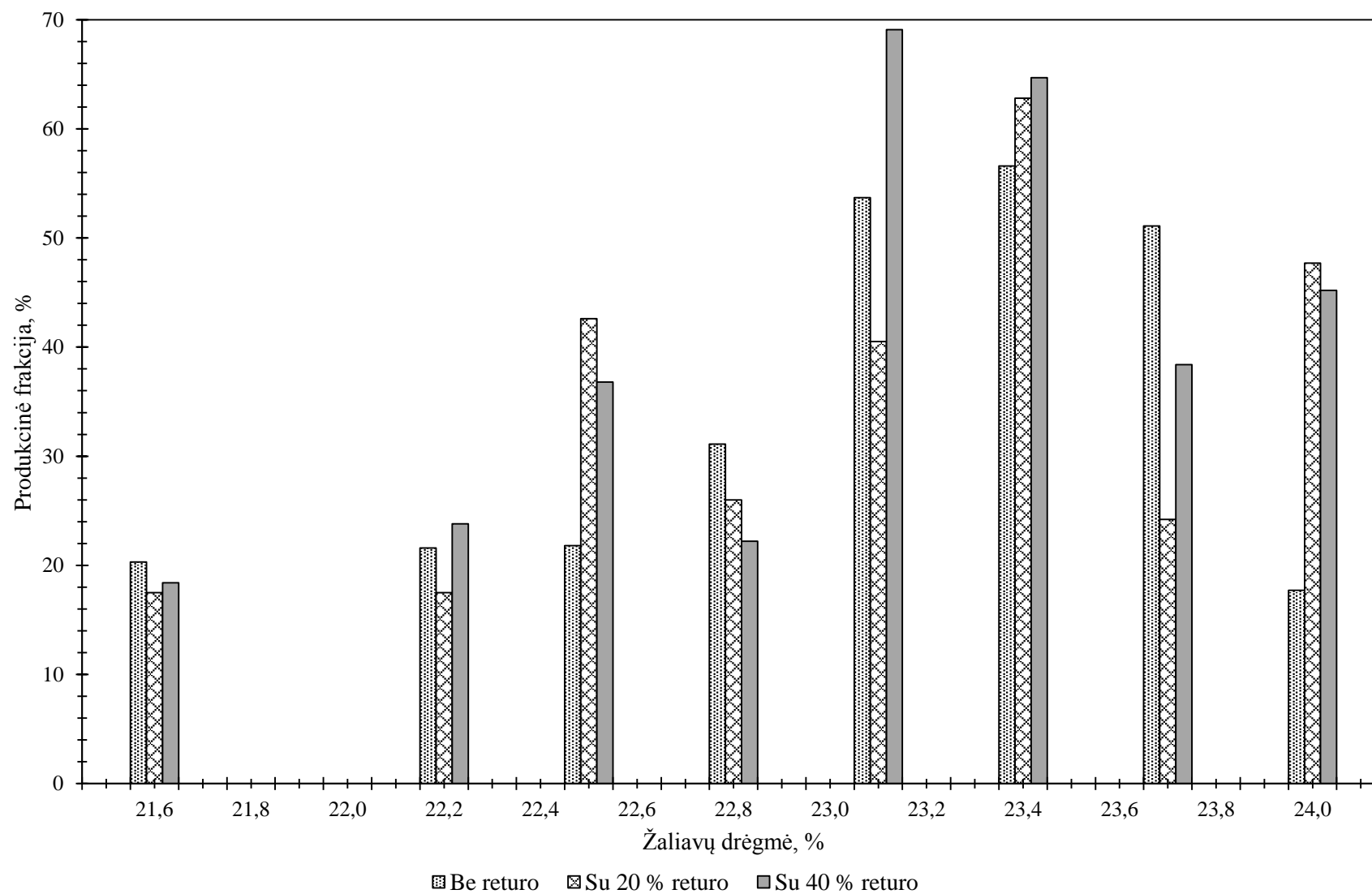
NPK 10–13–18 trąšų su pelenais granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai (su 20 % returo)

Band. Nr.	Žaliavų drėgmė, %	Granulimetrinė sudėtis, %					Produkto drėgmė, %	10 % tirpalo pH	Laisvai supiltų granulių piltinis tankis, kg/m ³	Sutankintų granulių piltinis tankis, kg/m ³
		> 5 mm	3 – 5 mm	2 – 3 mm	1 – 2 mm	< 1 mm				
NPK 1-1	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK 2-1	21,6	14,0	6,3	11,2	39,4	29,1	1,6	7,71	608,8	640,4
NPK 3-1	21,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK 4-1	22,2	8,1	7,6	9,9	35,4	39,1	2,0	7,46	590,0	615,2
NPK 5-1	22,5	21,4	17,8	24,8	30,9	5,1	1,0	7,58	676,0	710,0
NPK 6-1	22,8	14,5	11,5	14,5	40,6	18,9	1,6	7,82	656,0	680,0
NPK 7-1	23,1	58,9	35,0	5,5	0,5	0,2	1,1	7,75	720,8	750,8
NPK 8-1	23,4	34,6	38,4	24,4	2,4	0,3	1,5	7,69	708,4	736,4
NPK 9-1	23,7	75,4	21,5	2,7	0,3	0,2	1,2	7,76	729,6	759,2
NPK 10-1	24,0	48,0	32,3	15,4	3,8	0,5	1,4	7,31	709,2	735,6

NPK 10–13–18 trąšų su pelenais granuliavimo sąlygos ir produkto parametrai (su 40 % returo)

Band. Nr.	Žaliavų drėgmė, %	Granulimetrinė sudėtis, %					Produkto drėgmė, %	10 % tirpalo pH	Laisvai supiltų granulių piltinis tankis, kg/m ³	Sutankintų granulių piltinis tankis, kg/m ³
		> 5 mm	3 – 5 mm	2 – 3 mm	1 – 2 mm	< 1 mm				
NPK 1-2	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK 2-2	21,6	3,8	4,5	13,9	47,6	30,1	1,7	7,26	629,2	653,2
NPK 3-2	21,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NPK 4-2	22,2	6,7	6,7	17,1	52,3	17,3	1,7	7,45	640,8	664,8
NPK 5-2	22,5	12,5	12,1	24,7	41,1	9,6	1,0	7,50	656,0	694,8
NPK 6-2	22,8	6,5	6,1	16,1	48,4	23,0	1,8	7,76	659,6	680,8
NPK 7-2	23,1	27,8	44,7	24,4	2,9	0,2	1,3	7,69	748,8	772,0
NPK 8-2	23,4	24,0	27,5	37,2	10,7	0,6	1,4	7,44	713,2	742,0
NPK 9-2	23,7	61,1	33,3	5,1	0,3	0,2	1,0	7,81	749,2	772,8
NPK 10-2	24,0	53,2	33,9	11,3	1,3	0,3	1,7	7,46	720,4	749,6

Produkcinės frakcijos kiekio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės ir returo kiekio



Granulių statinio stiprio priklausomybė nuo žaliavų drėgmės ir returo kiekio

