



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

**Sudėtinių biriųjų trąšų praturtinimas huminėmis
medžiagomis ir jų savybių tyrimas**

Baigiamasis magistro projektas

Domantas Kailius

Projekto autorius

Doc. dr. Rasa Šlinkšienė

Vadovė

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Sudėtinių biriųjų trąšų praturtinimas huminėmis medžiagomis ir jų savybių tyrimas

Magistro baigiamasis projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Domantas Kailius

Projekto autorius

Doc. dr. Rasa Šlinkšienė

Vadovė

Doc. dr. Neringa Petrašauskienė

Recenzentė

Kaunas, 2026



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Domantas Kailius

Sudėtinių biriųjų trąšų praturtinimas huminėmis medžiagomis ir jų savybių tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

1. baigiamąjį projektą parengiau savarankiškai ir sąžiningai, nepažeisdama(s) kitų asmenų autoriaus ar kitų teisių, laikydamasi(s) Lietuvos Respublikos autorių teisių ir gretutinių teisių įstatymo nuostatų, Kauno technologijos universiteto (toliau – Universitetas) intelektinės nuosavybės valdymo ir perdavimo nuostatų bei Universiteto akademinės etikos kodekse nustatytų etikos reikalavimų;
2. baigiamajame projekte visi pateikti duomenys ir tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti teisėtai, nei viena šio projekto dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar elektroninių šaltinių, visos baigiamojo projekto tekste pateiktos citatos ir nuorodos yra nurodytos literatūros sąrašė;
3. įstatymų nenumatytų piniginių sumų už baigiamąjį projektą ar jo dalis niekam nesu mokėjęs (-usi);
4. suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo ar kitų asmenų teisių pažeidimo faktui, man bus taikomos akademinės nuobaudos pagal Universitete galiojančią tvarką ir būsiu pašalinta(s) iš Universiteto, o baigiamasis projektas gali būti pateiktas Akademinės etikos ir procedūrų kontrolieriaus tarnybai nagrinėjant galimą akademinės etikos pažeidimą.

Domantas Kailius

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:

Cheminės technologijos fakulteto dekanė

Prof. dr. Vaida Kitrytė Syrpa

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

Suderinta:

Fizikinės ir neorganinės chemijos katedros

vedėja doc. dr. Kristina Kantminienė

2026 m. vasario mėn. 03 d.

Magistro baigiamojo projekto užduotis

Projekto tema Sudėtinių biriųjų trąšų praturtinimas huminėmis medžiagomis ir jų savybių tyrimas

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – įterpti humines medžiagas į granuliuotas biriąsias trąšas ir ištirti jų įtaką biriųjų trąšų savybėms.

Darbo uždaviniai:

1. Apžvelgti literatūrą apie augalams reikalingų medžiagų poveikį ir parinkti humines medžiagas, tinkamas sudėtinių trąšų sudėčiai pagerinti.
2. Parinkus tinkamas žaliavas laboratorinėmis sąlygomis sugranuliuoti NPK 5-15-30+S+Zn markės trąšas su huminių medžiagų priedu ir be jo bei nustatyti preliminarias granuliavimo sąlygas ir granuliuoto produkto savybes.
3. Pramoninėmis sąlygomis sugranuliuoti NPK 5-15-30+S+Zn markės trąšas su huminių medžiagų priedu ir atsižvelgiant į gauto produkto savybes parinkti geriausius granuliavimo proceso parametrus.
4. Pateikti NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su huminių medžiagų priedu technologinės linijos schemą, aprašą ir rekomendacijas, skirtas stabiliam granuliavimo procesui užtikrinti.

Reikalavimai ir sąlygos

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

Vadovė

Doc. dr. Rasa Šlinkšienė

2026-02-03

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau:

Domantas Kailius

2026-02-03

(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Domantas Kailius. Sudėtinių biriųjų trąšų praturtinimas huminėmis medžiagomis ir jų savybių tyrimas. Baigiamasis magistro projektas vadovė doc. Rasa Šlinkšienė; Kauno technologijos universitetas, cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: trąšos, huminės medžiagos, granuliavimas, technologija, savybės.

Kaunas, 2026. 49 p.

Santrauka

Magistro baigiamajame darbe nagrinėjamas kompleksinių granuliuotų trąšų praturtinimas huminėmis medžiagomis. Darbo aktualumas siejamas su poreikiu kurti efektyvesnes trąšas, kurios ne tik aprūpintų augalus pagrindiniais maisto elementais, bet ir pagerintų jų įsisavinimą iš dirvožemio. Darbe analizuojamos sudėtinių trąšų savybės, huminių rūgščių poveikis dirvožemiui bei granuliavimo proceso technologiniai ypatumai. Taip pat tiriama huminių rūgščių įtaka granulimetrinei sudėčiai, produkto drėgmei, birumui, higroskopiškumui, granuliuotųjų trąšų stipriui ir trąšų cheminei sudėčiai. Atliktas palyginimas kaip skiriasi trąšos be ir su huminėmis rūgštimis, įvertinant jų technologines, fizikines bei chemines savybes. Darbe taip pat aptariami pagrindiniai pavojai darbuotojams bei įvardijama kokių saugumo reikalavimų reikia laikytis, kad jų išvengtų.

Domantas Kailius. Enrichment of Compound Bulk Fertilizers with Humic Substances and Study of their Properties. Master's thesis supervisor Assoc. Prof. Rasa Šlinkšienė; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: fertilizers, humic substances, granulation, technology, characteristics.

Kaunas, 2026. 49 pages.

Summary

This master's thesis examines the enrichment of complex granular fertilizers with humic additives. The relevance of this work stems from the need to develop more effective fertilizers that not only supply plants with essential nutrients but also improve their uptake in the soil. The thesis analyzes the properties of compound fertilizers, the effect of humic acids on the soil, and the technological characteristics of the granulation process. The study also examines the influence of humates on particle size distribution, product moisture content, bulk density, hygroscopicity, granule strength, and potential effects on the chemical composition of the fertilizer. A comparison was made of the differences between fertilizers with and without humic acids, evaluating their technological, physical, and chemical properties. The paper also discusses the main occupational and employee safety hazards and the safety requirements that must be followed.

Lentelių sąrašas.....	8
Paveikslų sąrašas.....	9
Įvadas	10
1. Literatūros analizė	11
1.1. Sudėtinės biriosios trąšos.....	11
1.2. Bakterijos, mikroorganizmai	14
1.3. Huminės rūgštys.....	14
1.4. Trąšų granuliavimas ir jo veikimo principas	16
2. Tiriamoji dalis	19
2.1. Medžiagos ir metodai	19
2.1.1. Naudotos medžiagos.....	20
3 lentelė. „LifeForce“ tirpaus kalio humato	21
2.1.2. Tyrimo metodai.....	21
2.1.3. Trąšų cheminės sudėties analizės metodai	22
2.1.4. Trąšų fizikinių-cheminių savybių nustatymo metodai	22
2.2. Huminių medžiagų priedo „LifeForce tirpus kalio humatas“ dozavimas ir kokybės vertinimas.	22
2.2.1. Huminių medžiagų priedo „LifeForce“ įterpimo į NPK 5-15-30+S+Zn trąšas metodika	23
2.3. Skaičiavimų ir rezultatų apdorojimo metodika.....	24
2.4. NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su huminių medžiagų priedu LifeForce granuliavimo metodika ..	24
2.5. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas.....	25
2.5.1. Granuliuotų NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su huminių medžiagų priedu LifeForce gavimas ir savybės	25
2.6. Granuliavimo bandymai	26
2.6.1. Granuliavimas be returo	26
2.6.2. Granuliavimas žaliavose naudojant 20 % returo.....	27
2.6.3. Granuliavimas žaliavose naudojant 40 % returo.....	28
2.6.4. Granuliavimas žaliavose naudojant 60 % returo.....	29
2.7. Cheminė sudėtis ir fizikiniai trąšų rodikliai.....	30
2.8. Huminių medžiagų pasiskirstymo ir padengimo tolygumo vertinimas	31
2.9. Tyrimo rezultatų apibendrinimas	32
3. Inžinerinė dalis	33
3.1. NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su huminių medžiagų priedu LifeForce gamybos procesas.....	33
3.2. Medžiagų balansas	38
3.3. Gamybinės technologinės linijos aprašas	39
4. Darbo ir darbuotojų sauga	41
Išvados.....	46
Priedai	47
1. priedas. „Lifeforce“ tirpaus kalio humato SDL.....	47
2. priedas. Direktorius sutikimas.....	48
Literatūros sąrašas.....	49

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Tyrimo eiga	19
2 lentelė. Naudotų medžiagų paskirtis	20
3 lentelė. „LifeForce“ tirpaus kalio humato charakteristika	21
4 lentelė. Pagrindinės savybės, kurios buvo analizuojamos eksperimento metu	21
5 lentelė. Galimi humatų įterpimo būdai	24
6 lentelė. Pagrindinių rodiklių skaičiavimas	24
7 lentelė. Pagaminto produkto fizikinės savybės	26
8 lentelė. Granuliavimo be returo granulometrinė sudėtis	26
9 lentelė. Granuliavimo su 20 % returo granulometrinė sudėtis	27
10 lentelė. Granuliavimo su 40 % returo granulometrinė sudėtis	28
11 lentelė. Granuliavimo su 60 % returo granulometrinė sudėtis	29
12 lentelė. NPK 5-15-30+S+Zn trąšų cheminės sudėtis ir fizikinės savybės	31
13 lentelė. Technologiniai proceso parametrai	36
14 lentelė. Pagrindinės eksperimentų su huminėmis rūgštimis fizikiniai ir cheminiai rodikliai	36
15 lentelė. Palyginamieji NPK 5-15-30+S+Zn trąšų fizikiniai ir cheminiai rodikliai	37
16 lentelė. Medžiagų balansas 1 tonai NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su humatiniu priedu	38
17 lentelė. Dažniausiai naudojamų mineralinių trąšų degumo ir pavojingumo charakteristikos	43
18 lentelė. Naudojamų žaliavų pavojingumo frazės	45

Paveikslų sąrašas

1 pav. Trąšų evoliucija.....	12
2 pav. Suderinamumo schema.....	13
3 pav. Mikroelementai trąšose	13
4 pav. Augalo augimo efektyvumas su huminėmis rūgštimis	15
5 pav. Dalelių aglomeracija granuliavimo procese.	16
6 pav. Biriųjų trąšų gamyboje naudojamų granuliatorių tipai	17
7 pav. Huminių medžiagų įterpimo vieta granuliavimo sistemoje.....	23
8 pav. Granuliavimo be returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės	27
9 pav. Granuliavimo su 20 % returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės	28
10 pav. Granuliavimo su 40 % returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės	29
11 pav. Granuliavimo su 60 % returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės	30
12 pav. Blokinė gamybos schema	33
13 pav. Proceso stabilumą charakterizuojantys gamybos parametrai, nustatytais laiko intervalais .	35
14 pav. Granuliuotų sudėtinių trąšų gamybinės technologinės linijos principinė schema	39

Įvadas

Biriosios mineralinės granuliuotos sudėtinės (NPK) trąšos gaunamos smulkintas reikalingas trąšų žaliavas drėkinant garais (arba kitu rišikliu) ir granuliuojant būgniniame granuliatoriuje. NPK trąšos gali būti įvairios sudėties, nes jų sudėtis priklauso nuo to, kokios ir kokiais kiekiais sumaišomos žaliavos. Biriosios sudėtinės trąšos savo sudėtyje turi įvairiausių elementų, kurie skirstomi į:

- pagrindinius – azotas, fosforas, kalis
- antrinius – kalcis, magnis, siera, natris
- mikroelementus – boras, chloras, varis, geležis, manganas, molibdenas, cinkas ir kt.

Kadangi šių trąšų cheminė sudėtis pakeičiama nesudėtingai, jų asortimentas labai platus ir tinkamas naudoti įvairioms augalų rūšims. Visame pasaulyje NPK trąšos yra labai paplitusios bei toliau populiarėja jų naudojimas, nes jose yra subalansuotas makro- ir mikro- elementų kiekis. Be to, kadangi visos augalams reikalingos maisto medžiagos yra vienoje granulėje, tręšiant NPK trąšomis galima sutaupyti laiko, darbo ir lėšų.

Tačiau tobulėjant technologijoms, atsiranda galimybė NPK trąšas praturtinti įvairiaisiais priedais, kurie ne tik pagerina trąšų kokybę, bet ir padidina trąšų poveikį augalams. Todėl šio baigiamojo projekto tikslas – įterpti humines medžiagas į granuliuotas biriąsias trąšas ir ištirti jų įtaką biriųjų trąšų savybėms.

1. Literatūros analizė

1.1. Sudėtinės biriosios trąšos

Nuo labai ankstyvų laikų žemdirbystė buvo viena iš pagrindinių žmonijos veiklos sričių. Bėgant metams žmonės ieškojo būdų, kaip pagerinti dirvožemio kokybę, kad būtų galima išauginti gausesnę ir kokybiškesnę derlių. Žmonės dirvožemį tręšdavo tokiomis medžiagomis kaip upių dumblas, organinės atliekos (gyvūnų palaikai, pelenai). Viena pirmųjų civilizacijų Egipte naudojo šias medžiagas, įskaitant upių dumblą, organines atliekas ir net žmogaus išmatas, siekdamas padidinti dirvožemio derlingumą. Jie suprato, kad dirvožemio gerinimas prisideda prie geresnio derliaus. Nors jie ir neturėjo technologijų ištirti dirvožemio cheminę sudėtį ir augalams reikalingus konkrečius maisto elementus, bet buvo akivaizdu, kad papildomas tręšimas teigiamai veikia derlių. O žemės ūkio ir dirvožemio derlingumo svarba išlieka aktuali ir šiais laikais [3].

Bėgant metams toliau buvo taikomi dirvožemio kokybės gerinimo metodai. Po gamtos mokslų pažangos, mokslininkai ėmė giliau tirti augalų mitybos principus ir nustatė augalų augimui būtinus cheminius elementus. Buvo nustatytas azoto, fosforo, kalio, deguonies ir sieros poveikis augalų sveikatai. XX a. pradžioje įvyko reikšmingas mokslinis proveržis – buvo susintetinti azoto junginiai. Pradėta didelio masto azoto rūgšties gamyba, o kiek vėliau ir sukurtas amoniako sintezės metodas. Tuo pačiu metu pastebėta, kad tam tikri gamtiniai produktai, iš pradžių naudoti kitoms reikmėms, taip pat gali būti naudojami kaip trąšos. Pavyzdžiui, salietra, kuri buvo naudojama parako gamyboje, taip pat tiko kaip puikus azoto šaltinis augalams. Kita svarbi medžiaga buvo guanias – organinė medžiaga, gaunama iš jūrinių paukščių ar šikšnosparnių išmatų, kurioje gausu azoto ir fosforo. Mineralinių trąšų atsiradimui dar didesnę įtaką turėjo kai buvo atrasta superfosfato gamybos technologija, kuri laikoma viena iš pirmųjų pasaulyje pramoninės trąšų gamybos etapu [3].

Nuolat tobulėjant technologijoms, kartu su didėjančia maisto produktų paklausa, teko ieškoti ir naujų trąšų sudėties ir formos tobulinimų. Tai lėmė sudėtinių ir granuliuotų trąšų, tokių kaip „Nitrofoska“, sukūrimą. Šios trąšos savo sudėtyje turi visas tris augalų augimui būtinas maisto medžiagas: azotą, fosforą ir kalį. Tokia sudėtis leido ūkininkams pritaikyti jas prie konkrečių augalų ar dirvožemio poreikių. Laikui bėgant į šių trąšų sudėtį buvo įtraukti papildomi elementai, tokie kaip cinkas, boras, magnis, varis ir molibdenas, taip pat manganas, kobaltas ir selenas. Ši pažanga leido dar tiksliau valdyti augalų mitybą ir auginimo sąlygas. Trąšų vystymąsi galima matyti 1 paveiksle [1, 3].



1 pav. Trąšų evoliucija

Didėjant žmonių kiekiui pasaulyje, neišvengiamai didėjo ir trąšų paklausa žemės ūkyje. Sudėtinės kompleksinės granuliuotos trąšos tapo populiarios dėl jų cheminių savybių, tolygaus pasiskirstymo dirvožemyje ir galimybės sumažinti darbo sąnaudas. Be to, trąšų naudojimas suteikia augalui jam trūkstamas maisto medžiagas ir užtikrina kokybišką augimo procesą [1, 3].

Pagrindinės maisto medžiagos – azotas, fosforas ir kalis – yra būtinos augalų augimui, vystymuisi ir žydėjimui. Azotas yra svarbi chlorofilo, sudedamoji dalis, todėl jis yra gyvybiškai svarbus fotosintezei ir vegetatyvinių struktūrų vystymuisi. Jis taip pat atlieka svarbų vaidmenį baltymų, fermentų ir kitų svarbių junginių sintezėje. Azoto trūkumas augaluose sukelia augimo sulėtėjimą ir lapų geltonavimą, o jo perteklius gali sutrikdyti žiedų ir vaisių vystymąsi [3, 6].

Fosforas yra būtinas augalų energijos apykaitai, šaknų augimui bei žiedų ir sėklų formavimuisi. Fosforo trūkumas gali lemti sulėtėjusį šaknų vystymąsi, lapų spalvos pokyčius ir bendrą derlingumo sumažėjimą. Be to, fosforas daro įtaką kitų maisto medžiagų įsisavinimui augaluose [3, 6].

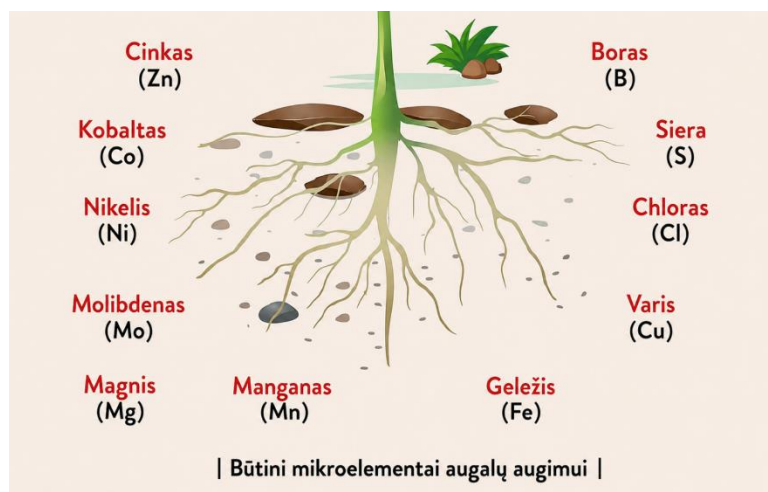
Kalis yra labai svarbus, vandens balansui reguliuoti, augalų imuninei sistemai stiprinti ir derliaus kokybei gerinti [3, 6].

Šiuolaikinėje trąšų gamyboje maistinių medžiagų koncentracija galutiniame produkte nebėra vienintelis svarbus veiksnys. Ne mažiau svarbus yra šių maistinių medžiagų tarpusavio suderinamumas ir gamybos technologiniai procesai. Pavyzdžiui, granuliavimo metu žaliavų sąveika turi būti tinkama, kad būtų pasiektos pageidaujamos galutinių trąšų savybės. Šiam tikslui naudojamos įvairios suderinamumo schemas 2 paveikslas [1, 2].

Amonio nitratas	1										
Karbamidas	2	0									
Amonio sulfatas	3	-	-								
Superfosfatas	4	-	-	+							
Precipitatas	5	-	-	+	+						
Fosforitmilčiai	6	-	-	+	+	+					
Metalurgijos šlakai	7	0	-	0	0	0	+				
Amofofosas	8	-	-	+	+	+	+	0			
Kalio chloridas	9	-	-	-	-	-	-	-	-		
Kalio sulfatas	10	-	-	+	+	+	+	+	+	+	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2 pav. Suderinamumo schema

Taip pat biriosios sudėtinės medžiagos yra praturtinamos mikroelementais kurie, pagerina trąšų įsisavinimo savybes dirvožemyje, taip pat pagerina augalo augimo sąlygas bei sustiprina ir padidina derlių. Mikroelementai naudojami NPK trąšose matomi 3 paveiksle [7-13].



3 pav. Mikroelementai trąšose

Boras (B) – gerina žydėjimą, vaisių mezgimą, šaknų augimą. Svarbus rapsams, runkeliams, daržovėms [8, 9].

Cinkas (Zn) – skatina augimą, lapų vystymąsi, padeda augalui naudoti azotą [10-12].

Manganas (Mn) – reikalingas fotosintezei, chlorofilo susidarymui, stiprina augalą [3].

Varis (Cu) – svarbus baltymų susidarymui, javų varpų formavimuisi, didina atsparumą ligoms [3].

Geležis (Fe) – padeda susidaryti chlorofilui, mažina lapų geltonavimą [3].

Molibdenas (Mo) – padeda augalui įsisavinti azotą, ypač svarbus ankštiniams augalams [3].

Kobaltas (Co) – naudingas ankštiniams, padeda azoto fiksacijai [13].

Siera (S) – techniškai ne mikroelementas, bet dažnai būna NPK trąšose; gerina baltymų susidarymą ir azoto panaudojimą [7].

Magnis (Mg) – taip pat ne mikroelementas, bet svarbus chlorofilui ir fotosintezei [3].

Nikelis (Ni) – padeda augalui įsisavinti ir panaudoti amidinį azotą, kai naudojama karbamido žaliava [10-12].

Chloras (Cl) – padeda reguliuoti vandens balansą augale, dalyvauja fotosintezėje ir stiprina atsparumą ligoms. Reikalingas labai mažais kiekiais; perteklius gali būti žalingas, ypač jautriems augalams, nes didina druskingumą [3].

Bėgant laikui bei tobulėjant technologijoms, greta tradicinių mineralinių trąšų, vis daugiau dėmesio skiriama mikrobiologiniams preparatams. Šie preparatai gerina dirvožemio sąlygas, padėdami skaidyti organines medžiagas, aprūpindami augalus maistinėmis medžiagomis ir palaikydami subalansuotą dirvožemio fauną. Šis metodas gali būti laikomas natūralesne žemės ūkio praktika, palyginti su cheminių medžiagų naudojimu. Toks požiūris padeda sumažinti neigiamą žemės ūkio poveikį aplinkai, tuo pačiu išsaugant dirvožemio kokybę [13].

Apibendrinant, trąšų evoliucija nuo natūralių medžiagų iki sudėtingų mokslo produktų atspindi bendrą žemės ūkio pažangą. Dabartinę trąšų naudojimo praktiką lemia ne tik siekis pasiekti maksimalų derlingumą, bet ir būtinybė protingai bei tausoje naudoti išteklius bei prisitaikyti prie aplinkos sąlygų [3].

1.2. Bakterijos, mikroorganizmai

Bakterijos – patys seniausi ir mažiausi mikroorganizmai, kurie plika akimi yra nematomi. Jų sandarą, išvaizdą ir kaip sąveikauja viena su kita galima pamatyti tik naudojant mikroskopą [13].

Anksčiausios bakterijos turėjo labai paprastą sandarą, tačiau laikui bėgant jos keitėsi, mutavo, kūrė kolonijas ir prisitaikė prie naujos aplinkos. Keisdamosi aminorūgštimis, kurios yra būtinos jų nuolatiniam augimui ir vystymuisi, daugelis bakterijų rūšių bendradarbiauja tarpusavyje [13].

Mokslininkai atrado ir katalogavo daugiau nei milijoną skirtingų bakterijų rūšių, kurios yra labiausiai paplitusios mikroorganizmų rūšys Žemėje ir turi daugybę įvairių pavadinimų. Bakterijų privalumas – jų gausa, jos puikiai prisitaiko prie kintančių aplinkos sąlygų, gyvena kolonijomis ir sąveikauja tarpusavyje. Pagal savo formą bakterijas galima suskirstyti į keletą rūšių [13].

Giliausiuose vandenyno gelmėse gyvena primityviausi mikroorganizmai. Jų gyvybiniai procesai nepriklauso nuo deguonies. Išsivysčiusios kolonijos persikėlė į planetos paviršių ir ten įsikūrė, kad išgyventų. Šioms bakterijoms augti ir daugintis reikalingas deguonis. Mikroorganizmai skirstomi į aerobinius ir anaerobinius, priklausomai nuo to, kiek jie priklauso nuo deguonies [13].

Aerobinės bakterijos yra laisvai gyvenantys organizmai, kurių augimas ir kvėpavimas priklauso nuo deguonies. Be deguonies gali vystytis ir daugintis anaerobiniai mikroorganizmai; pavyzdžiui, fuzobakterijos vengia molekulinio deguonies. Kai kurios bakterijos gali augti tiek esant deguoniui, tiek jo nesant [13].

1.3. Huminės rūgštys

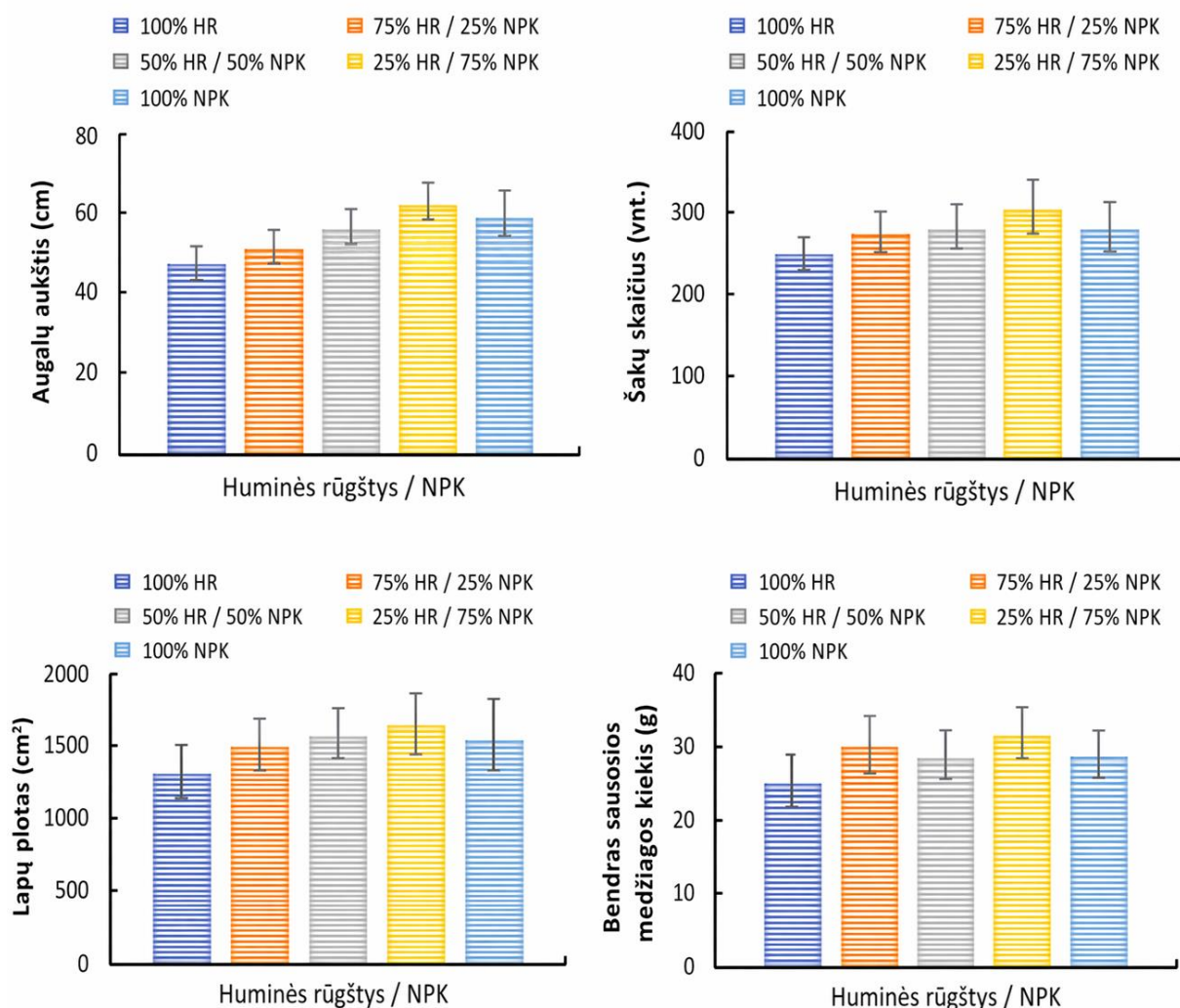
Huminės rūgštys sudaro didžiąją dalį huminių medžiagų, kurios yra stabiliausia dirvožemio organinės medžiagos dalis. Šios medžiagos susidaro yrant augalų ir mikroorganizmų liekanoms. Jos daugiausia randamos dirvožemyje, durpių kloduose, natūraliuose vandens telkiniuose ir leonardite – oksiduotoje lignito formoje, kurioje yra ypač didelė huminių junginių koncentracija. Huminės rūgštys skiriasi nuo fulvo rūgščių, kad jos tirpsta šarminėje aplinkoje, bet netirpsta rūgščioje aplinkoje [14, 15].

Huminės rūgštys yra svarbios dirvožemio derlingumui didinti, nes veikia per įvairius cheminius, biologinius ir fizinius procesus. Jos padeda suformuoti stabilią dirvožemio struktūrą, skatindamos

grumuliavimąsi, dėl kurio dirvožemis tampa aktyvesnis ir geba geriau išlaikyti vandenį. Tai ypač svarbu smėlinguose dirvožemiuose, kadangi ten svarbus vandens išlaikymas, taip pat sutankintuose dirvožemiuose, kur jos gerina dirvožemio struktūrą ir mažina eroziją [15, 16].

Šios rūgštys yra labai reaktyvios chemiškai, nes turi funkcines grupes (karboksilines ir fenolines), kurios leidžia joms sąveikauti su mineraliniais jonais. Viena iš svarbiausių jų funkcijų – veikti kaip natūralūs chelatavimo agentai ir sudaryti stabilius kompleksus su mikroelementais, pavyzdžiui, geležimi, cinku ir manganu. Šis metodas leidžia geriau panaudoti maisto medžiagas, nes sustabdo jų išplovimą ir padidina jų įsisavinimą. Humatai taip pat padeda pašalinti kenksmingas medžiagas, sumažina teršalų judrumą, subalansuoja dirvožemio pH ir sumažina rūgštinių bei šarminių sąlygų sukeltą stresą [4, 17, 18].

Taip pat įrodyta, kad huminės rūgštys gerina fiziologines funkcijas, pavyzdžiui, fotosintezę, ir padidina augalų atsparumą sausrui ir druskingumui. Augalo augimas naudojant su skirtingais huminių rūgščių santykiais matomas 4 paveiksle [5, 14, 19].



4 pav. Augalo augimo efektyvumas su huminėmis rūgštimis

Humatai daro žemės ūkio sistemą aplinkos požiūriu tvarią, sumažindami gruntinio vandens užteršimo riziką, padėdami riboti maisto medžiagų, ypač nitratų, nuostolius. Tai taip pat pagerina dirvožemio tvarumą, mažindami eroziją [15, 20].

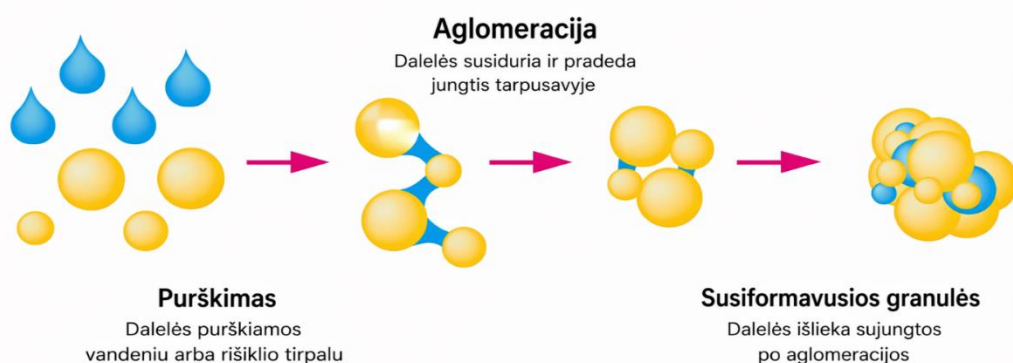
Apibendrinant, huminės rūgštys yra būtinos žemės ūkio veiklos tvarumui, nes tai yra organiniai junginiai, kurie yra naudingi dirvožemio kokybei gerinti [5, 15].

1.4. Trąšų granuliavimas ir jo veikimo principas

Granuliavimas yra viena iš svarbiausių technologinių operacijų, plačiai taikomų įvairiose pramonės šakose, tokiose kaip farmacija, maisto, trąšų ir kuro pramonė. Šio proceso metu smulkios miltelių pavidalo medžiagos paverčiamos didesnėmis, panašaus dydžio dalelėmis – granulėmis. Granulės gali būti gaminamos iš tirpalų, suspensijų, polimerinių masių ar smulkių miltelių. Nors granulės nebūtinai yra taisyklingos formos, dažniausiai siekiama gauti sferines daleles, nes jos pasižymi didesniu mechaniniu tvirtumu, mažiau byra transportavimo metu ir tolygiau pasiskirsto dirvoje [21].

Granuliuotų trąšų dalelių dydis pramonėje paprastai svyruoja nuo 1 iki 6 mm, tačiau optimalus ir dažniausiai naudojamas dydis yra 2-4 mm. Dalelės, kurių skersmuo didesnis nei 0,5 mm, laikomos granulėmis, o mažesnės – milteliais. Granuliuotos medžiagos turi daug pranašumų, palyginti su miltelinėmis: jos ilgiau išlieka birios, mažiau dulka, yra lengviau transportuojamos, sandėliuojamos ir naudojamos. Be to, jos mažiau išplaunamos paviršinių vandenų ir ilgiau išlieka aktyvios dirvožemyje, todėl yra efektyvesnės tręšimui [1, 2].

Granuliavimo procesas yra aglomeracijos forma, kai dalelės, veikiamos mechaninio judėjimo ir skystojo rišiklio, susijungia į didesnius darinius. Granulių susidarymas vyksta dėl dalelių sukibimo ir aglomeracijos, kurią lemia skystų arba kietų „tiltelių“ susiformavimas tarp dalelių. Šie tiltai užtikrina granulių mechaninį tvirtumą. Kieti tiltai gali susidaryti kristalizuojantis medžiagoms iš skystosios fazės, vykstant cheminėms reakcijoms arba džiovinimo metu. Granulių stiprumą taip pat lemia adhezijos ir kohezijos jėgos. Granuliavimo proceso metu veikiantys veiksniai pavaizduoti 5 paveiksle [21, 22].



5 pav. Dalelių aglomeracija granuliavimo procese.

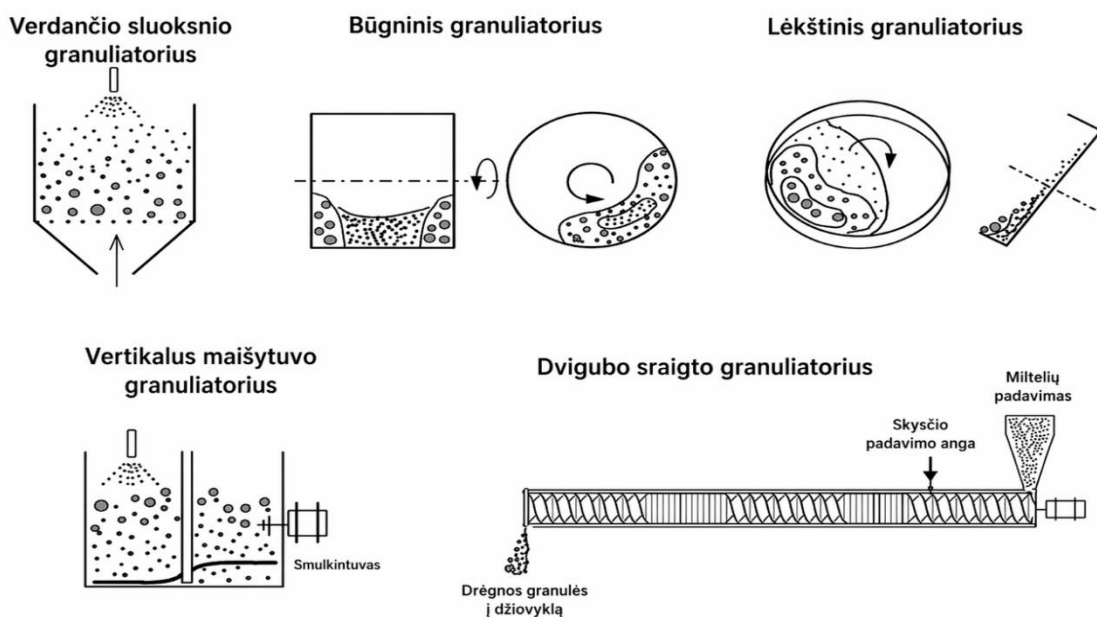
Granuliavimo metodo pasirinkimas priklauso nuo medžiagos fizikinių ir cheminių savybių. Esant didelei adhezijai, medžiaga dažniausiai briketuojama ir vėliau smulkinama iki reikiamo dydžio.

Skystiems lydalams taikomas prilinio (prilivimo) metodas, kai išpurkšti lašai ore sukietėja ir sudaro granules, vadinamas prilėmis. Tačiau dažniausiai pramonėje naudojamas granuliavimo būdas yra drėkinimo metodas, kurio metu miltelinė medžiaga sudrėkinama vandeniu ar garais [21].

Drėkinimo granuliavimas susideda iš dviejų pagrindinių stadijų: pirma, sudrėkintos medžiagos struktūrizavimo, kai formuojasi netaisyklingos formos gumulėliai, ir antra – jų džiovavimo, suteikiančio granulėms mechaninį tvirtumą. Granuliavimo aparatuose dalelės juda, susiduria ir sulimpa, o vėliau, trindamosi tarpusavyje, įgauna apvalesnę formą [21].

Granulių dydį ir savybes lemia įvairūs technologiniai parametrai: maišymo intensyvumas, granuliavimo trukmė, drėgmės kiekis bei temperatūra. Kuo didesnė drėgmė, tuo didesnės, bet poringesnės ir silpnesnės granulės susidaro. Praktikoje optimalus granuliuojamos medžiagos drėgnis yra 3-18 %, o temperatūra dažniausiai svyruoja nuo 70 iki 95 °C. Didesnė temperatūra didina druskų tirpumą, todėl leidžia sumažinti reikalingą drėgmės kiekį [1, 21, 24].

Granuliavimo procesas vykdomas specialiuose įrenginiuose – granulatoriuose, kuriuose žaliavų mišinys yra maišomas ir drėkinamas. Gali būti naudojami įvairūs granuliatorių tipai, tokie kaip būgniniai, sraigtniniai, lėkštiniai (diskiniai), verdančio sluoksnio granulatoriai ar kombinuoti įrenginiai (pvz., granulatorius-džiovykla). Įrenginiai gali turėti pasyvų arba aktyvų darbinį paviršių. Pasyvaus paviršiaus granulatoriuose granulės formuojasi dalelėms riedant ir aglomeruojantis dėl dalelių tarpusavio adhezijos jėgų. Įvairūs granuliatorių tipai pavaizduoti 6 paveiksle [1, 2, 21].



6 pav. Biriųjų trąšų gamyboje naudojamų granuliatorių tipai

Kadangi realiomis sąlygomis granulės susidaro nevienodo dydžio, jos po granuliavimo yra sijojamos. Prekinės frakcijos (2-4 mm) granulės atskiriamos, o per didelės smulkinamos ir kartu su smulkiaja frakcija (returu) gražinamos atgal į procesą. Returas atlieka svarbų vaidmenį, nes veikia kaip branduoliai, ant kurių auga naujos granulės [22, 23].

Granuliavimo technologija gali būti papildyta išankstiniu žaliavų kondicionavimu maišytuvuose, kuris pagerina proceso efektyvumą, sumažina rišiklio poreikį ir leidžia gauti aukštesnės kokybės

produktą. Po granuliavimo granulės transportuojamos į džiovyklas, kur įgauna reikiamą stiprumą ir galutinę formą. Ekonominiu požiūriu naudingiausia granuluoti savaime besigranuliuojančius mišinius, kuriems nereikia papildomo drėkinimo ir džiovinimo. Tokie mišiniai dažniausiai sudaryti iš tirpių druskų, kurios esant aukštesnei temperatūrai sudaro pakankamą skystąją fazę granuliavimui [1, 21].

Be įprastų granulių, trąšos taip pat gali būti gaminamos tablečių ar lazdelių pavidalu, tačiau tokie produktai pramonėje naudojami rečiau ir dažniausiai skirti sodininkystei ar smulkiam vartojimui.

Apibendrinant, sudėtinių granuliuotų trąšų kokybę lemia ne tik pagrindinių maisto medžiagų kiekis, bet ir granuliavimo sąlygos, produkto fizikinės savybės bei papildomų medžiagų, šiuo atveju huminių medžiagų suderinamumas su mineralinėmis žaliavomis. Šiame darbe pasirinkta nagrinėti NPK 5-15-30+S+Zn trąšų praturtinimą huminėmis medžiagomis, nes toks priedas gali pagerinti maisto medžiagų pasisavinimą ir kartu neturi bloginti granuliuoto produkto technologinių savybių. Išsikelto tikslo bus siekiama atliekant laboratorinius ir pramoninius granuliavimo bandymus, vertinant granulimetrinę sudėtį, drėgmę, birumą, granulių stiprį ir cheminės sudėties pokyčius [4, 5, 15, 21].

2. Tiriamoji dalis

Preliminarūs eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami Fizikinės ir neorganinės chemijos katedroje, o toliau tęsiami ir praktinėmis sąlygomis atliekami Marijampolėje esančioje trąšų gamybos įmonėje „Marijampolės NPK“.

2.1. Medžiagos ir metodai

Tiriamajoje dalyje nagrinėjamas kompleksinių granuliuotų NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su huminėmis rūgštimis gamybos procesas. Pagrindinis dėmesys skiriamas huminių rūgščių sąveikai su mineralinėmis trąšų žaliavomis, granuliuotumui ir jų veikimas dirvožemyje [4, 14, 15].

Tyrimas darytas atsižvelgiant į kompleksinių trąšų su bioaktyviais priedais vertinimo principą: lyginamos kontrolinės NPK 5-15-30+S+Zn trąšos ir trąšos, į kurias huminės rūgštys įterpiamos granuliavimo metu. Tokiu būdu galima įvertinti ne tik augalų fiziologinių rodiklių pokyčius, bet ir technologinius produkto parametrus - granulimetrinę sudėtį, drėgmę, birumą, higroskopiškumą, granuliuotumą ir padengimo tolygumą [4, 21].

Humatai pasirinkti dėl jų gebėjimo sąveikauti su mineralinėmis dalelėmis ir mikroelementais. Dėl šios priežasties humatai gali būti tiriami kaip priedas, padedantis padidinti trąšų panaudojimo efektyvumą, ypač ankstyvoje augalo augimo stadijoje. Visa tyrimo eiga matoma 1 lentelėje [15, 16, 20].

1 lentelė. Tyrimo eiga

Tyrimo etapas	Vertinamas objektas	Pagrindinis tikslas	Numatomas rezultatas
Žaliavų parinkimas	NPK 5-15-30+S+Zn trąšos, huminės rūgštys, vanduo, returas	Parinkti tinkamas žaliavas trąšų su humatais granuliavimui	Sudaryta pradinė žaliavų sistema
Humatų paruošimas	Miltelinis kalio humatas	Įvertinti priedo kokybę, frakciją ir tinkamumą sausam dozavimui pagal kokybės dokumentus	Paruoštas juostinėmis svarstyklėmis dozuoti tinkamas priedas
Humatų įterpimas	Į žaliavų mišinį arba ant granuliuotų paviršiaus	Nustatyti tinkamiausią priedo įterpimo į trąšas būdą	Gauti bandiniai su skirtingu priedo įterpimo būdu
Granuliavimas	NPK 5-15-30+S+Zn mišinys su humatais	Įvertinti granuliavimo procesą ir prekinės frakcijos kiekį	Gauta 2-4 mm frakcija arba nustatytos korekcijos
Fizikinių savybių tyrimas	Granuliuotas produktas	Įvertinti fasavimo, sandėliavimo ir barstymo tinkamumą	Nustatyta drėgmė, birumas, higroskopiškumas, stipris
Cheminė analizė	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, S, B, Zn, huminės medžiagos	Patikrinti produkto nuokrypius nuo teorinės formulės	Gauti cheminiai rodikliai ir jų palyginimas

2.1.1. Naudotos medžiagos

Tyrimams naudojamos kompleksinės granuliuotos NPK 5-15-30+S+Zn trąšos, kurių sudėtyje yra pagrindiniai augalų maisto elementai: azotas, fosforas ir kalis, taip pat antrinės maisto medžiagos – siera bei mikroelementai - boras ir cinkas. Ši trąšų formulė pasirinkta, nes vienoje granulėje visų pagrindinių maisto medžiagų santykis yra vienodas, taip pat ji praturtinta mikroelementais, o huminių medžiagų naudojimas leidžia įvertinti realų augalo maisto medžiagų pasisavinimą iš dirvos, granuliu fizikinėms ir cheminėms savybėms ir augalų vystymosi rodikliams [3, 7-12].

Naudotas priedas – huminių medžiagų preparatas (humatas), kurio pagrindą sudaro huminės ir fulvinės rūgštys arba jų druskos. Šiame tyrime naudojamas miltelinis kalio humatas („LifeForce“ tirpus kalio humatas), nes jis gali būti tiekiamas kartu su sausu žaliavų mišinio srautu ir neįneša papildomo drėgmės kiekio į sistemą. Miltelinis priedas gali būti dozuojamas juostinėmis svarstyklėmis, todėl galima tiksliau palaikyti nustatytą masės srautą ir priedo normą. Tokiu būdu huminės medžiagos įterpiamos į granuliu sudėtį, o ne naudojamos paviršiniam granuliu padengimui [4, 5, 14].

Tyrimams papildomai naudojamas vanduo, reikalingas granuliuavimo mišiniui sudrėkinti, taip pat returas, kuris veikia kaip granuliu augimo branduoliai. Returo kiekis parenkamas pagal bandymo planą, nes jis turi tiesioginę įtakos granuliu susidarymui, frakcijų pasiskirstymui ir prekinės produkcijos išėgai. Pagrindinės medžiagos bei jų paskirtis matomos 2 lentelėje [22, 23].

2 lentelė. Naudotų medžiagų paskirtis

Medžiaga	Paskirtis tyrime	Technologinė pastaba
Kompleksinės NPK 5-15-30+S+Zn trąšos	Pagrindinės mineralinės trąšos su kuriomis atlikti bandymai	Naudojama kaip bazinė formulė humatų įterpimui ir kontroliniam palyginimui
Huminės rūgštys	Bioaktyvus organinės kilmės priedas	Įterpiamas į sausų žaliavų mišinį
Vanduo	Mišinio drėkinimas	Kiekis koreguojamas pagal mišinio drėgmę ir granuliuavimo eigą
Returas	Granuliu augimo branduoliai	Padedą stabilizuoti granuliuometrinę sudėtį
S, Zn komponentai	Pagerinti augalų augimą dirvoje	Įtraukti į bazinę NPK 5-15-30+S+Zn formulę
Indai ir tara	Mėginių laikymas po granuliuavimo	Turi būti sausi, sandarūs ir pažymėti pagal bandinio kodą

Huminiu preparato kokybė turi būti įvertinta prieš įtraukiant jį į granuliuavimo bandymus. 3 lentelėje pateikti naudojamų huminių rūgščių cheminiai – fizikiniai tyrimai. Atsižvelgiant į juos galima įvertinti ar jis tinkamas granuliuavimo procesui bei koks geriausias jo įterpimo būdas. Naudoto humatinio priedo sudėtis pateikta 3 lentelėje [14, 15].

3 lentelė. „LifeForce“ tirpaus kalio humato charakteristika

Rodiklis	Matavimo vnt.	Reikšmė
Fizinė forma	-	Milteliai, frakcija 0-1,0 mm; tirpus vandenyje
Huminės rūgštys	%	85 % (± 3 %) o.m.
Fulvinės rūgštys	%	15 % (± 3 %) o.m.
Organinė anglis	%	Nenurodyta; organinės medžiagos s.m. 68 % (± 3 %)
K ₂ O	%	12 % (± 3 %)
pH	-	10-11 (1:100)
Sausosios medžiagos	%	85 % (± 5 %)
Tirpumas vandenyje	%	85-95
Netirpios priemaišos	%	5-15

2.1.2. Tyrimo metodai

Cheminiai tyrimai buvo reikalingi norint nustatyti, ar humatinio priedo įterpimas nekeičia pagrindinių NPK 5-15-30+S+Zn trąšų maisto elementų kiekio. Fizikiniai ir technologiniai tyrimai leidžia įvertinti produkto tinkamumą sandėliavimui, fasavimui, transportavimui ir paskleidimui lauke. Vegetaciniai tyrimai reikalingi įvertinti, ar huminės rūgštys daro įtaką augalo augimui ir maisto medžiagų įsisavinimui. Pagrindinės reikalingos tirti savybės pateikiamos 4 lentelėje [4, 5, 15].

4 lentelė. Pagrindinės savybės, kurios buvo analizuojamos eksperimento metu

Tirta savybė	Kas tiriama	Paskirtis
1	2	3
Cheminė analizė	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, S, Zn,	Įvertinti pagrindinių maisto elementų kiekį trąšose
Humatų analizė	Huminės rūgštys, fulvinės rūgštys, organinė anglis	Įvertinti humatinio priedo kiekį ir kokybę
Priedo pH ir dokumentiniai kokybės rodikliai	pH, tirpumas, sausosios medžiagos ir huminių medžiagų kiekis	Įvertinti priedo technologinį tinkamumą ir atitiktį kokybės dokumentams
Granulimetrinė analizė	Frakcijos: <2 mm, 2-4 mm, >4 mm	Įvertinti prekinės frakcijos susidarymą
Drėgmės nustatymas	Produkto drėgnis	Įvertinti produkto stabilumą ir džiovavimo efektyvumą

1	2	3
Higroskopiškumo tyrimas	Masės pokytis laikant drėgnoje aplinkoje	Įvertinti produkto polinkį sugerti drėgmę
Birumo vertinimas	Produkto tekėjimas, sukibimas	Įvertinti fasavimo ir barstymo galimybes
Granulių stiprio nustatymas	Atsparumas gniuždymui	Įvertinti granulių mechaninį patvarumą

2.1.3. Trąšų cheminės sudėties analizės metodai

Azoto kiekis trąšose nustatomas pagal laboratorijoje taikomą standartizuotą metodiką (LST EN 15960). Fosforo kiekis, perskaičiuotas į P_2O_5 , buvo nustatomas fotokolorimetriniu metodu (LST EN 15959), o kalio kiekis, perskaičiuotas į K_2O , buvo nustatomas liepsnos fotometrijos metodu (LST EN 15478). Papildomai nustatomas sieros, cinko ir boro kiekis.

Humatinio priedo vertinimui nustatoma organinė anglis, huminių ir fulvinių rūgščių kiekis, pH, sausųjų medžiagų kiekis ir tirpumas vandenyje. Šie rodikliai svarbūs todėl, kad humatų poveikis priklauso ne tik nuo įterpimo normos, bet ir nuo aktyviųjų huminių medžiagų koncentracijos bei jų tirpumo. Jei priede yra didelis netirpių priemaišų kiekis arba milteliai yra susigulėję, gali pablogėti dozavimo tolygumas ir priedo pasiskirstymas žaliavų mišinyje [14, 15].

2.1.4. Trąšų fizikinių-cheminių savybių nustatymo metodai

Granulimetrinė sudėtis nustatoma sijoiant trąšas per nustatyto akučių dydžio sietus. Prekine frakcija laikomos 2-4 mm granulės. Smulkioji frakcija (<2 mm) ir stambioji frakcija (>5 mm) vertinamos kaip netinkamos tiesioginiam naudojimui, tačiau gali būti grąžinamos į procesą kaip returas arba smulkinamos ir pakartotinai naudojamos granuliavimo procese kaip antrinė žaliava. Granulimetrinė sudėtis yra vienas svarbiausių rodiklių, nes nuo jos priklauso produkto išbarstymo dirvoje tolygumas [2, 22].

Drėgmės kiekis nustatomas džiovinant trąšų mėginį iki pastovios masės. Granulių stipris vertinamas gniuždymo būdu, nustatant jėgą, reikalingą granulei suardyti. Higroskopiškumas nustatomas laikant mėginį kontroliuojamos drėgmės aplinkoje ir periodiškai sveriant. Šis rodiklis svarbus todėl, kad humatiniai priedai yra organinės kilmės medžiagos, galinčios turėti įtakos vandens sulaikymui ir granulių paviršiaus savybėms [24, 25].

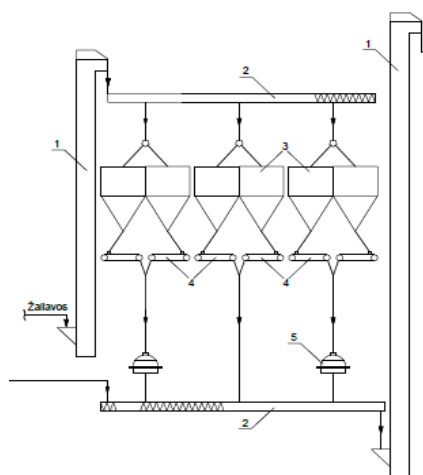
2.2. Huminių medžiagų priedo „LifeForce tirpus kalio humatas“ dozavimas ir kokybės vertinimas

Šiame tyrime humatinis priedas LifeForce naudojamas miltelinio pavidalu. Toks būdas pasirinktas todėl, kad į granuliavimo sistemą papildomai nepatenka vanduo, lengviau palaikomas pastovesnis žaliavų mišinio drėgmės balansas ir galima tiksliau valdyti priedo kiekį. Miltelinis kalio humatas į sausų žaliavų srautą tiekiamas juostinėmis svarstyklėmis, todėl priedas dozuojamas pagal nustatytą masės srautą iš masės balanso paskaičiavimo. Prieš pradėdant darbą svarstyklės turi būti patikrinamos arba sukalibruojamos, kad humatų kiekis būtų tiekiamas tolygiai ir nesusidarytų dozavimo svyravimai [4, 5].

Kadangi tai sausa medžiaga, ji vertinama pagal gamintojo pateikiamus kokybės dokumentus ir priedo tinkamumą sausam dozavimui. Pagrindiniai informacijos šaltiniai yra kokybės sertifikatas, produkto kokybės sertifikatas ir saugos duomenų lapas. Juose tikrinamos fizikinės – cheminės savybės ir jų tinkamumas ir suderinamumas su granuliavimo procese dalyvaujančiomis cheminėmis medžiagomis ir fizikiniais veiksniais. Technologiniu požiūriu papildomai įvertinama, ar milteliai yra birūs, nesudrėkę, nesusigulėję ir tinkami tolygiai tiekti juostinėmis svarstyklėmis. Jeigu priedas yra sušokęs į gumulus, per drėgnas arba dokumentuose nepateikti pagrindiniai kokybės rodikliai, tokia partija turi būti papildomai patikrinama prieš ją naudojant granuliavimo bandymuose.

2.2.1. Huminių medžiagų priedo „LifeForce“ įterpimo į NPK 5-15-30+S+Zn trąšas metodika

Šiame tyrime humatai į NPK 5-15-30+S+Zn trąšas įterpiami sausuoju būdu, miltelinį kalio humatą dozuojant juostinėmis svarstyklėmis į sausų žaliavų srautą. Įterptas priedas kartu su žaliavomis sumaišomas ir granuliavimo metu patenka į granulės sudėtį. Toks būdas pasirinktas todėl, kad nereikia ruošti atskiro tirpalo, į sistemą neįnešama papildomos skystos fazės ir galima tiksliau kontroliuoti mišinio drėgnumą. Technologiniu požiūriu svarbiausia užtikrinti, kad miltelinis priedas būtų birus, tolygiai tiekiamas juostinėmis svarstyklėmis ir gerai pasiskirstytų žaliavų mišinyje. Supaprastinta humatų įterpimo schema matoma 7 paveiksle [4].



7 pav. Huminių medžiagų įterpimo vieta granuliavimo sistemoje

1 – kaušinis elevatorius; 2 – sraigtinis transporteris; 3 – žaliavų laikymo bunkeriai; 4 – juostinis transporteris – svarstyklės; 5 – smulkintuvas;

Kadangi huminės rūgštys gali būti įterpiamos ir kitais būdais galimi privalumai ir trūkumai matomi 5 lentelėje [4].

5 lentelė. Galimi humatų įterpimo būdai

Įterpimo būdas	Privalumai	Galimi trūkumai	Vertinami rodikliai
1	2	2	4
Įterpimas granuliavimo metu tirpalo pavidalu	Geresnis pasiskirstymas granulės tūryje, galimas rišiklio efektas	Reikia tiksliai reguliuoti drėgmę ir džiovinimą	Prekinė frakcija, granuliu stipris, drėgmė
Paviršinis apipurškimas	Paprastesnis pritaikymas esamoje linijoje	Galimas granuliu sukibimas, spalvos netolygumas	Birumas, higroskopiškumas, padengimo tolygumas
Sauso priedo įmaišymas	Nereikia papildomos skystos fazės	Sunkiau užtikrinti homogeniškumą, gali dulkėti	Mišinio vienalytiškumas, frakcijų pasiskirstymas

2.3. Skaičiavimų ir rezultatų apdorojimo metodika

Granuliavimo rezultatams apibendrinti apskaičiuojama kiekvienos frakcijos masės dalis procentais. Prekinės frakcijos išeiga apskaičiuojama 2-4 mm frakcijos masę padalijus iš bendros išsijoto produkto masės ir padauginus iš 100. Šis rodiklis parodo granuliavimo efektyvumą. Kuo didesnė prekinės frakcijos dalis, tuo sudėtinės trąšos ir granuliavimo procesas yra geresni. Pagrindiniai trąšų kokybės rodikliai, kurie turi būti apskaičiuoti ir ištirti yra pateikti 6 lentelėje.

6 lentelė. Pagrindinių rodiklių skaičiavimas

Skaičiuojamas rodiklis	Skaičiavimo principas	Rezultato paskirtis
Frakcijos dalis, %	Frakcijos masė / bendro mėginio masė x 100	Nustatyti granulimetrinę sudėtį
Prekinės frakcijos išeiga, %	2-4 mm frakcijos masė / bendro mėginio masė x 100	Įvertinti granuliavimo efektyvumą
Drėgmė, %	Masės sumažėjimas džiovinant / pradinė masė x 100	Įvertinti produkto stabilumą
Masės prieaugis, %	Masės padidėjimas higroskopiškumo bandyme / pradinė masė x 100	Įvertinti higroskopiškumą

2.4. NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su huminių medžiagų priedu LifeForce granuliavimo metodika

Įvertinus laboratorinėmis sąlygomis gautus žaliavų suderinamumo ir preliminarius granuliavimo rezultatus, toliau NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su huminiais priedais gavimas buvo atliekamas pramoniniame būgniniame granuliatoriuje-džiovykloje. Sausos žaliavos buvo dozuojamos juostiniais transporteriais-svarstyklėmis pagal apskaičiuotą receptūrą ir maišyklėje sumaišomos iki vienalyčio

mišinio. Miltelinis kalio humatas dozuojamas kartu su kitomis žaliavomis. Mišinys drėkinamas vandeniu tik tiek, kiek reikia dalelių aglomeracijai ir granulių formavimuisi. Granuliavimo metu stebima mišinio konsistencija, granulių formavimosi greitis, medžiagos lipimas prie įrenginio sienelių ir granulių paviršiaus spalvos tolygumas

Granuliavimo bandymuose svarbu įvertinti returo kiekį. Returas veikia kaip granulių augimo branduoliai ir gali stabilizuoti granuliometrinę sudėtį bei pagerinti granuliavimo procesą. Tyrimui numatoma naudoti 0, 20, 40 ir 60 % returo kiekius, siekiant nustatyti, kokiomis sąlygomis susidaro didžiausias prekinės frakcijos kiekis. Tinkamas returo kiekis dažniausiai pagerina granulių augimo procesą, tačiau per didelis jo kiekis gali sumažinti proceso našumą ir padidinti recirkuliuojamos masės kiekį, dėl ko trąšos gali perkaisti. Per didelės temperatūros granulės lengviau suyra ir taip mažina prekinės frakcijos išėigą bei didina grįžtamojo srauto kiekį.

Po granuliavimo produktas džiovinamas iki tinkamos drėgmės kiekio (1,5-2 %), kad trąšos būtų nesušokusios, tada sijojamas ir suskirstomas į frakcijas. Prekinė frakcija pasverinama, o smulkioji bei stambioji frakcijos atskiriamos. Smulkioji frakcija gali būti gražinama kaip returas, o stambioji prieš gražinimą susmulkinama. Tokia bandymų eiga leidžia įvertinti ne tik vienkartinį produkto gavimą, bet ir galimą grįžtamo srauto įtaką nuolatiniam procesui.

Pagrindiniai rodikliai kurie turėjo būti nuolat sekami ir kontroliuojami:

- Mišinio drėgnumas – per mažas drėgnumas lemia smulkią frakciją, per didelis – lipumą
- Granulių susidarymas – parodo aglomeracijos intensyvumą
- Lipimas prie įrengimo sienelių – gali reikšti per didelį vandens kiekį arba per didelį našumą
- Spalvos tolygumas po humatų įterpimo – netolygi spalva gali rodyti blogą priedo pasiskirstymą
- Dulkėtumas – didesnis dulkėtumas gali rodyti per mažą granulių stiprį.

2.5. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

2.5.1. Granuliuotų NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su huminių medžiagų priedu LifeForce gavimas ir savybės

Granuliavimo metu buvo vertinama, kaip humatinis priedas veikia NPK 5-15-30+S+Zn trąšų granulių formavimąsi. Miltelinis kalio humatas, patekęs į sausą žaliavų mišinį, gali veikti kaip papildomas organinės kilmės komponentas, turintis įtakos naudojamų žaliavų sąveikai granuliavimo metu. Jeigu huminių rūgščių dozuojama per mažai, tada jokio pokyčio granuliavimo procese gali ir nesimatyti, o jei priedo kiekis per didelis arba jis dozuojamas netolygiai, gali kisti spalva, didėti mišinio nehomogeniškumas, dulkėtumas arba granulių paviršiaus lipumas po drėkinimo. Todėl optimali humatų įterpimo norma turi būti parenkama ne tik pagal aktyviųjų medžiagų kiekį, bet ir atsižvelgiant į juostinių transporterių-svarstyklių minimalaus ir maksimalaus dozavimo galimybes bei kokią įtaką gali turėti per didelis arba per mažas huminių medžiagų kiekis granuliavimo procesui. Gauti duomenys iš tyrimo pateikti 7 lentelėje.

7 lentelė. Pagaminto produkto fizikinės savybės

Band. Nr.	Returas, %	Humatų kiekis, %	<2 mm, %	2-4 mm, %	>4 mm, %	Prekinė frakcija, %	Produkto drėgmė, %	Granulių stipris, N/gran.
1	0	0	10,50	88,19	1,32	88,19	1,20	49,5
2	0	0,5	11,10	87,55	1,35	87,55	1,28	50,2
3	20	0,5	9,85	88,72	1,43	88,72	1,24	51,0
4	40	0,5	9,40	89,10	1,50	89,10	1,26	50,6
5	60	0,5	10,20	87,98	1,82	87,98	1,31	49,8

2.6. Granuliavimo bandymai

Granuliavimo bandymai buvo išdėstyti taip, kad būtų galima palyginti grįžtamosios frakcijos kiekio įtaką NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su miltelinio kalio humatų granulių susidarymui. Vertinant rezultatus daugiausia dėmesio skirta 2-4 mm prekinėi frakcijai, nes ši frakcija yra tinkamiausia tolygiam trąšų paskleidimui. Smulkioji frakcija gali būti gražinama į procesą kaip returas, o stambioji prieš gražinimą turi būti susmulkinama.

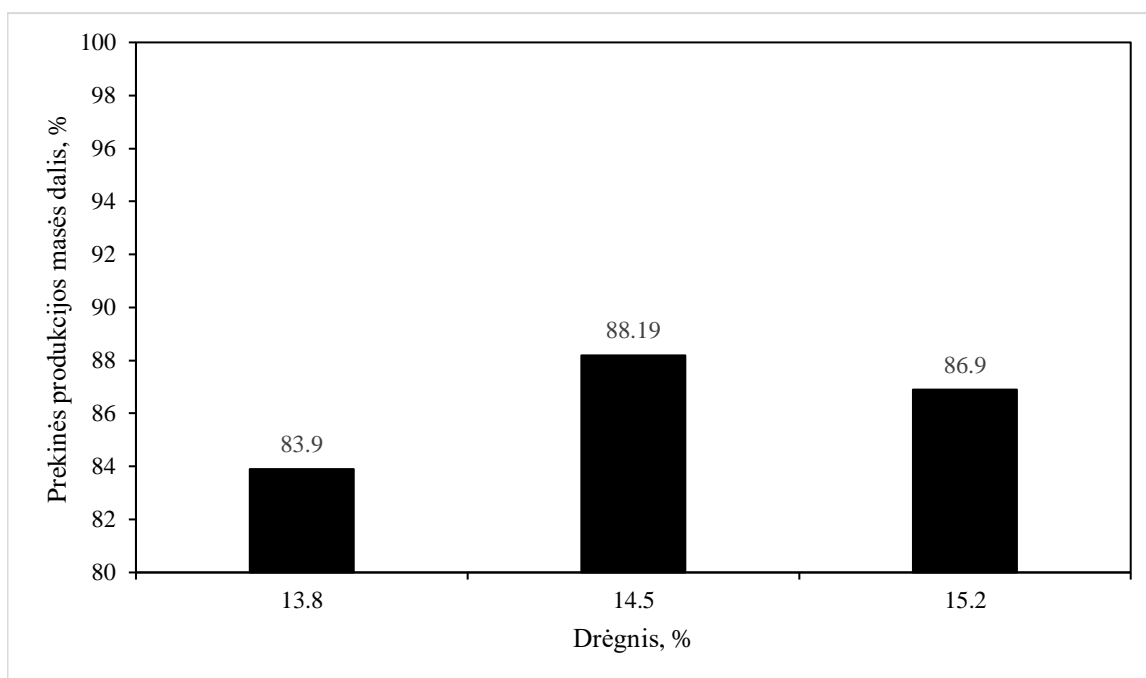
2.6.1. Granuliavimas be returo

Pirmiausia įvertintas mišinys be gražinamosios, t. y. returo frakcijos (8 lentelė). Tokiu atveju granulių formavimasis labiausiai priklausė nuo vandens paskirstymo ir žaliavų sumaišymo. Esant mažesniai drėgmės kiekiui daugiau susidarė smulkios frakcijos, o drėgmę padidinus per daug pradėjo didėti stambių granulių dalis. Todėl geriausias yra tarpinis režimas, kai granulės auga tolygiai ir didžiausią dalį sudaro prekinė 2-4 mm frakcija.

8 lentelė. Granuliavimo be returo granulometrinė sudėtis

Band. Nr.	Drėgmės kiekis, %	<2 mm, %	2-5 mm, %	>5 mm, %
1-R0	13,8	14,80	83,90	1,30
2-R0	14,5	10,50	88,19	1,32
3-R0	15,2	8,90	86,90	4,20

Iš pateiktų duomenų matyti, kad be returo didžiausia prekinės frakcijos dalis gaunama esant apie 14,5 % drėgmės. Humatų priedas be returo granulių augimo nepablogino, tačiau mišinio vienalytiškumas turi būti užtikrinamas prieš tiekiant vandenį. 8 paveiksle matoma granuliavimo be returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės



8 pav. Granuliavimo be returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės

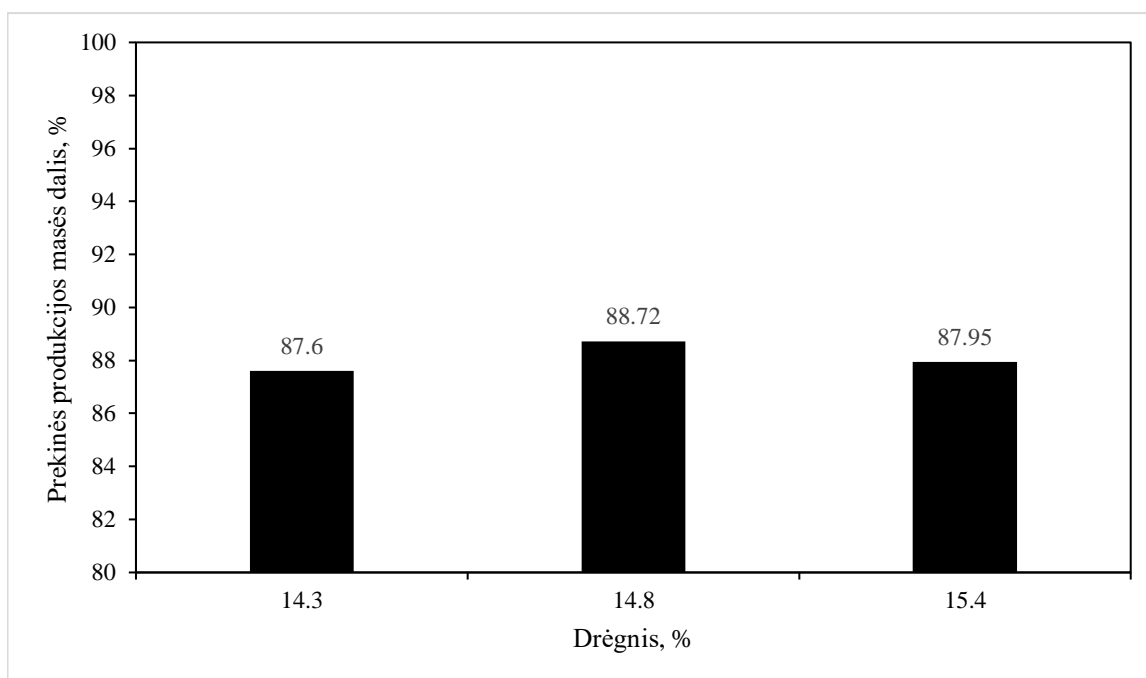
2.6.2. Granuliavimas žaliavose naudojant 20 % returo

Į žaliavų mišinį įvedus 20 % returo (9 lentelė), jis veikė kaip granuliu augimo centrai. Dėl to granuliavimas tapo šiek tiek stabilesnis, o smulkios frakcijos kiekis sumažėjo. Šiuo atveju returas dar neapkrauna proceso, todėl galima išlaikyti panašų drėgmės poreikį kaip ir bandymuose be returo.

9 lentelė. Granuliavimo su 20 % returo granulometrinė sudėtis

Band. Nr.	Drėgmės kiekis, %	<2 mm, %	2-4 mm, %	>4 mm, %	Viso, %
1-R20	14,3	10,80	87,60	1,60	100,00
2-R20	14,8	9,85	88,72	1,43	100,00
3-R20	15,4	9,10	87,95	2,95	100,00

Žaliavų mišinyje esant 20 % returo, prekinės frakcijos kiekis išliko labai artimas bandymui be returo, tačiau smulkios frakcijos dalis buvo 13 % mažesnė. Tai rodo, kad nedidelis returo kiekis gali pagerinti granuliu užuomazgų susidarymą, bet esminio skirtumo nuo kontrolinio bandymo nesukelia. 9 paveiksle matoma granuliavimo su 20 % returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės



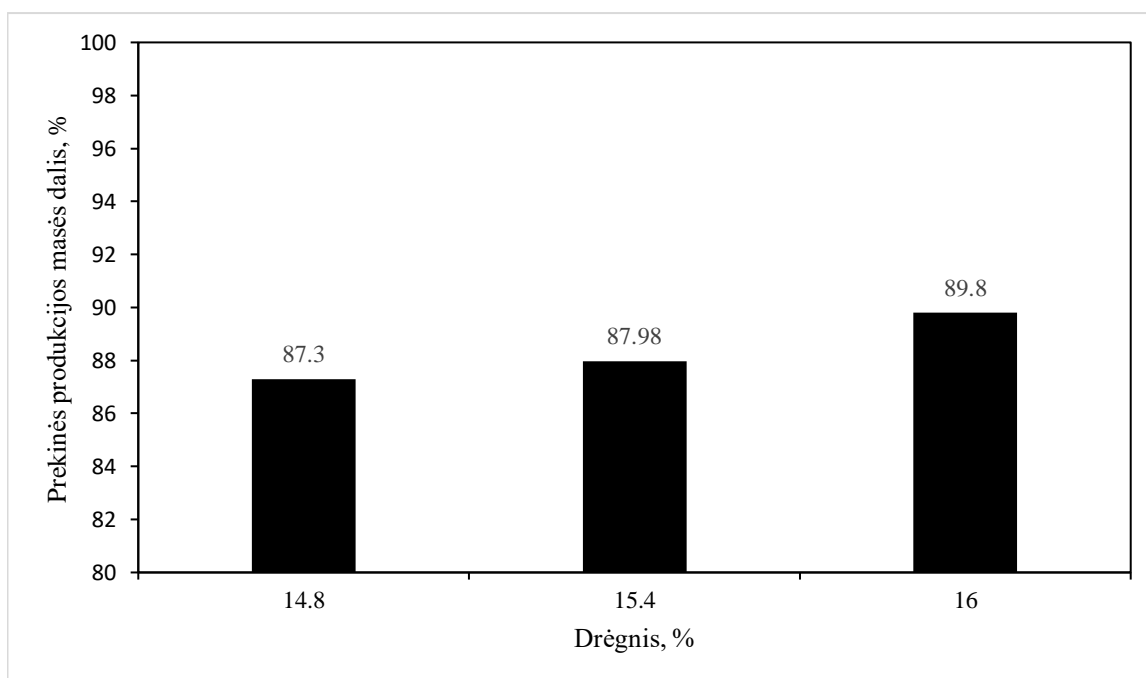
9 pav. Granuliavimo su 20 % returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės

2.6.3. Granuliavimas žaliavose naudojant 40 % returo

Padidinus returo kiekį iki 40 % (10 lentelė), granuliavimo mišinys labiau labiau atitiko nuolatinio gamybinio proceso sąlygas. Smulkios dalelės ir susmulkintos per stambios granulės pakartotinai buvo įtraukiamos į sistemą, todėl buvo galima užtikrinti pastovesnį granulių augimą. Šiame intervale svarbu stebėti drėgmės kiekį, nes per didelis vandens kiekis greitai didina stambios frakcijos dalį. 10 paveiksle matoma granuliavimo su 40 % returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės

10 lentelė. Granuliavimo su 40 % returo granulometrinė sudėtis

Band. Nr.	Drėgmės kiekis, %	<2 mm, %	2-4 mm, %	>4 mm, %	Viso, %
1-R40	14,8	11,00	87,30	1,70	100,00
2-R40	15,4	10,20	87,98	1,82	100,00
3-R40	16,0	9,30	86,80	3,90	100,00



10 pav. Granuliavimo su 40 % returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės

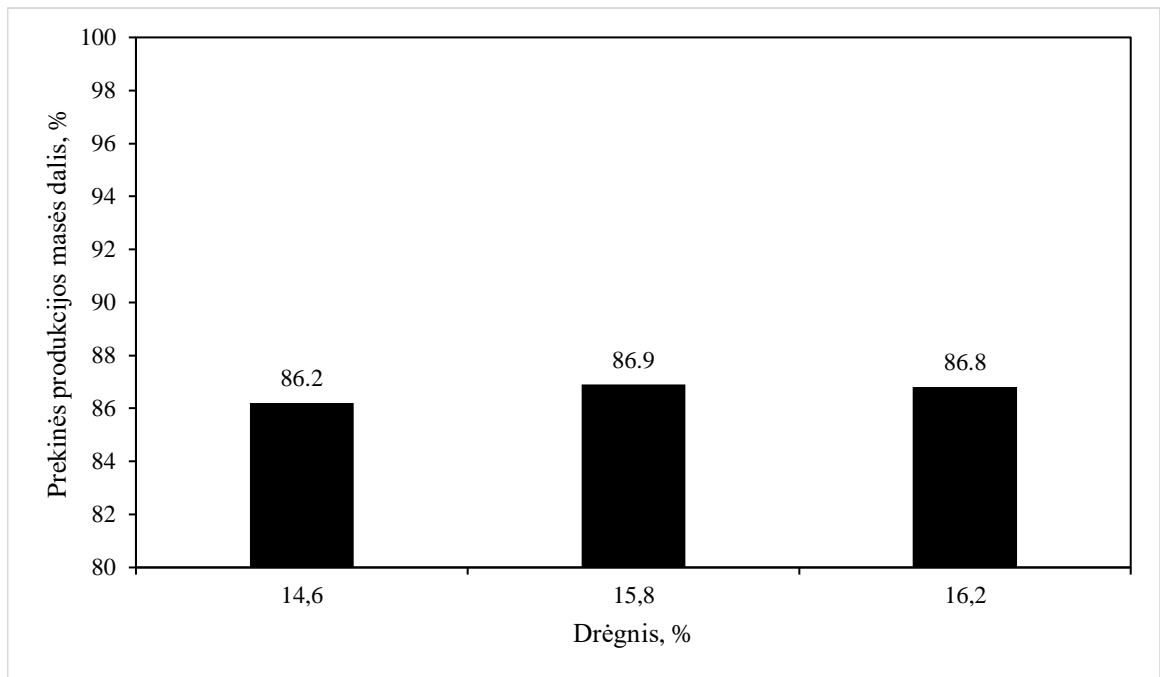
2.6.4. Granuliavimas žaliavose naudojant 60 % returo

Naudojant 60 % returo (11 lentelė), mišinyje jau buvo didesnė pakartotinai gražinamos medžiagos dalis. Tokiu atveju vandens poreikis kaip ir teigiama teorijoje šiek tiek padidėjo, nes dalis grįžtamosios frakcijos yra sausesnė ir sugėrė dalį drėgmės. Procesas išlieko valdomas, bet stambios frakcijos dalis tapo jautresnė drėgmės svyravimams.

11 lentelė. Granuliavimo su 60 % returo granulometrinė sudėtis

Band. Nr.	Drėgmės kiekis, %	<2 mm, %	2-4 mm, %	>4 mm, %	Viso, %
1-R60	14,6	11,00	86,2	1,70	100,00
2-R60	15,8	10,20	86,9	1,82	100,00
3-R60	16,2	9,30	86,8	3,90	100,00

Esant 60 % returo, prekinės frakcijos kiekis išliko pakankamai didelis, bet pradėjo didėti proceso jautrumas vandens kiekiui. Todėl tokį returo kiekį reikėtų taikyti tik tada, kai galima tiksliai reguliuoti drėkinimą ir džiovinimą. Praktiniu požiūriu optimaliausias intervalas būtų 20–40 % returo, nes šiuo atveju gaunamas stabilus 2–4 mm frakcijos kiekis. 11 paveiksle matoma granuliavimo su 60 % returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės



11 pav. Granuliavimo su 60 % returo prekinės produkcijos priklausomybė nuo drėgmės

Apibendrinant duomenis, daroma išvada, kad naudotas 0,5 % kalio humatas „LifeForce“, dozuojamas į sausą žaliavų srautą, nedarė didelės įtakos granulimetrinei sudėčiai. Prekinės frakcijos kiekis visuose bandymuose išliko artimas rezultatams be returo, o nedidelio returo kiekio pridėjimas labiau teigiamai veikė, t. y. didino proceso stabilumą, o ne granulometrinę sudėtį. Vertinant tik technologinį procesą, geriausiu variantu galima laikyti 40 % returo bandymą, nes jis duoda didžiausią 2–4 mm frakcijos dalį, tačiau skirtumas nuo 20 % returo yra nedidelis.

2.7. Cheminė sudėtis ir fizikiniai trąšų rodikliai

Trąšų cheminės sudėties tyrimai buvo atliekami norint patvirtinti, kad huminių medžiagų priedo įterpimas nepablogina NPK 5-15-30+S+Zn trąšų sudėties ir nesumažina pagrindinių maisto elementų kiekio. Kadangi įterpiamas nedidelis (0,5 %) humatų kiekis, pagrindinių NPK 5-15-30+S+Zn rodiklių pokytis nedidelis. Vis dėlto organinio priedo įvedimas gali turėti įtakos produkto drėgmei, paviršiaus savybėms ir granulių higroskopiskumui. Fizikinių rodiklių analizėje ypač svarbu palyginti kontrolines trąšas su humatais praturtintomis trąšomis. Jei humatų naudojimas padidina drėgmės sugėrimą, reikia koreguoti priedo normą, vandens kiekį arba džiovavimo temperatūrą. Jeigu granulių stipris padidėja, humatinis priedas gali būti vertinamas ne tik kaip bioaktyvus priedas, bet ir kaip rišiklis. Rezultatai, kurie buvo gauti atlikus cheminės sudėties ir fizikinių savybių tyrimus pateikti 12 lentelėje.

12 lentelė. NPK 5-15-30+S+Zn trąšų cheminės sudėtis ir fizikinės savybės

Rodiklis	Matavimo vnt.	Kontrolinės NPK 5-15-30+S+Zn trąšos	NPK 5-15-30+S+Zn su humatais
Bendro azoto koncentracija (N)	%	4,7	4,6
Fosforo koncentracija (P ₂ O ₅)	%	14,5	14,6
Kalio koncentracija (K ₂ O)	%	29,4	29,5
Sieros koncentracija (S)	%	1,5	1,5
Cinko koncentracija (Zn)	%	0,019	0,022
Organinė anglies koncentracija	%	0,03	0,20
Drėgmė	%	1,7	1,8
Granulių stipris	N/gran.	49,5	50,0

Remiantis šiais duomenimis galima matyti, kad huminių rūgščių naudojimas nepaveikė, t. y. nepablogino trąšų cheminės sudėties. Matomi nežymūs skirtumai, tačiau jie nebūtinai priklauso nuo humatų įterpimo, o dėl gamybos proceso, netolygaus sumaišymo, ar netolygaus žaliavų dozavimo.

Pramoninio granuliavimo metu gali iškilti tam tikrų technologinių kliūčių, kurioms spręsti reikia atlikti tam tikras korekcijas:

- Per didelė produkto drėgmė - per didelis vandens kiekis arba per maža džiovavimo temperatūra
- Granulės limpa tarpusavyje - per drėgnas arba nepakankamai išdžiovintas granulių paviršius
- Didelis smulkios frakcijos kiekis - nepakankamas dalelių aglomeravimas
- Didelis stambios frakcijos kiekis - per intensyvus granulių augimas
- Netolygus humatų pasiskirstymas - nepakankamas maišymas arba netolygus dozavimas

2.8. Huminių medžiagų pasiskirstymo ir padengimo tolygumo vertinimas

Kadangi huminių medžiagų priedai turi tamsią spalvą ir gali keisti granulių atspalvį, pirminis pasiskirstymo tolygumas gali būti vertinamas vizualiai. Tačiau vien vizualinio įvertinimo nepakanka, todėl rekomenduojama atlikti kelių mėginių organinės anglies arba huminių medžiagų kiekio tyrimą. Mėginiai imami iš skirtingų produkto vietų, kad būtų galima įvertinti, ar priedas pasiskirstė tolygiai.

Kadangi šiame tyrime humatinės medžiagos įterpiamos granuliavimo metu sausuoju būdu, jų pasiskirstymo tolygumą lėmė miltelinio priedo dozavimo stabilumas, juostinio transporterio-svarstyklių darbas ir sausų žaliavų mišinio homogenizavimas.

2.9. Tyrimo rezultatų apibendrinimas

NPK 5-15-30+S+Zn trąšų praturtinimas humatiniais priedais gali būti vertinamas kaip vienas iš būdų padidinti kompleksinių mineralinių trąšų funkcionalumą. Skirtingai nuo mikroorganizmų, humatai nėra gyvi biologiniai objektai, todėl jų stabilumas trąšų gamybos ir sandėliavimo metu priklauso ne nuo ląstelių gyvybingumo, o nuo cheminės sudėties, tirpumo, pH, drėgmės ir sąveikos su naudojamomis mineralinėmis žaliavomis.

Technologiniu požiūriu svarbiausias klausimas yra humatų įterpimo būdas. Šiame tyrime pasirinktas miltelinio priedo įmaišymas į sausą žaliavų srautą, nes šis būdas leidžia išvengti papildomos skystos fazės ir galima tiksliau valdyti mišinio drėgmės kiekį. Vis dėlto būtina užtikrinti, kad milteliai būtų birūs, o juostinis transporteris-svarstyklės tiekėtų kuo tikslesnį pagal receptūrą užduotą kiekį. Todėl vertinama granulimetrinė sudėtis, drėgmė, higroskopiškumas, granuliu stipris ir humatų pasiskirstymo tolygumas.

Agronominiu požiūriu huminių medžiagų poveikis turi būti siejamas su maisto medžiagų prieinamumo gerinimu ir šaknų aplinkos savybių keitimu. Todėl vegetaciniuose bandymuose tikslinga vertinti ne tik galutinį derlių, bet ir ankstyvuosius augimo rodiklius: augalų aukštį, chlorofilo indeksą, azoto koncentraciją lapuose, lapų plotą ir šaknų vystymąsi. Šie rodikliai parodo, ar humatinis priedas veikia augalo vystymąsi ankstyvose stadijose, kai maisto medžiagų prieinamumas yra ypač svarbus [5, 15, 20].

3. Inžinerinė dalis

3.1. NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su huminių medžiagų priedu LifeForce gamybos procesas

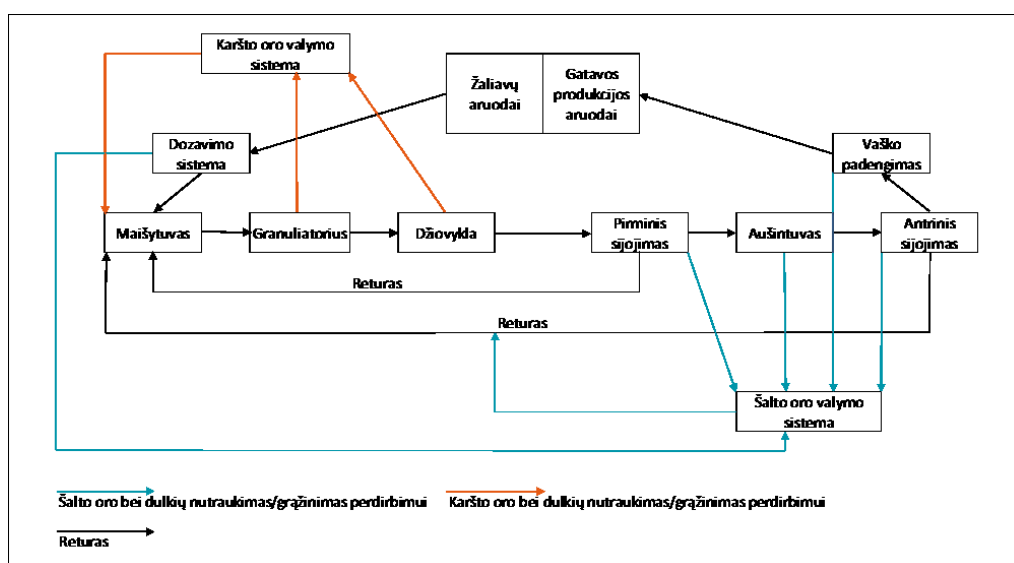
Šioje dalyje pateikiamas NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su miltelinu humatiniu priedu gamybos proceso pritaikymas pramoninei granuliavimo linijai.

Humatinis priedas naudojamas sausas, miltelinis priedas, todėl jį tikslinga įterpti kartu su pagrindiniu žaliavų srautu prieš maišymo arba granuliavimo etapą. Tokia įterpimo vieta parenkama todėl, kad priedas turi pasiskirstyti žaliavų mišinyje, tačiau neturi patekti tiesiai į intensyviausią garų arba vandens purškimo zoną. Tiesioginis kontaktas su skysta faze gali bloginti miltelių pasiskleidimą, sukelti sulipimą ir padidinti gumulų susidarymo riziką.

Gamybinio bandymo metu svarbu palaikyti įprastą granuliavimo ciklą ir nekeisti pagrindinės technologinės linijos darbo principo. Procesas buvo pradamas nuo žaliavų priėmimo ir dozavimo pagal receptūrą, toliau mišinys tiekiamas į maišytuvą, kuriame reguliuojamas drėgmės kiekis ir prasideda pirminė aglomeracija. Iš maišytuvo masė tiekama į būgninį granuliatorių. Šiame įrenginyje dalelės augo, formavosi granulės, o returas veikė kaip granulių augimo branduoliai.

Tipinėse kompleksinių NPK trąšų granuliavimo sąlygose granuliatoriuje palaikoma pakankama temperatūra ir drėgmė, kad žaliavų mišinys sukibtų, bet neperdrėktų. Po granulatoriaus produktas nukreipiamas į džiovyklą. Džiovinimo pradžioje (trąšų pirminio kontakto su temperatūra) buvo didžiausia apie 200 °C, o artėjant prie džiovyklos išėjimo ji sumažėjo iki 85 °C. Produktui išdžiūvus, granulės aušinamos iki 35 – 40 °C temperatūros, kuri tinkama sandėliavimui ir sijojimui. Humatų įterpimo atveju stebimi ne tik biologinio gyvybingumo, bet ir technologiniai rodikliai: prekinės frakcijos kiekis, drėgmė, dulketumas, granulių stipris ir priedo pasiskirstymo tolygumas.

Bandymo metu mėginiai analizei buvo tikslingai imami iš kelių technologinės linijos vietų (12 paveikslas) mėginių ėmimo tvarka leidžia palyginti, kaip kinta produkto būklė skirtinguose proceso etapuose. Kiekviename mėginyje turėtų būti nustatoma granuliometrinė sudėtis, produkto drėgmė ir, jei yra galimybė, humatinio priedo pasiskirstymo tolygumas.



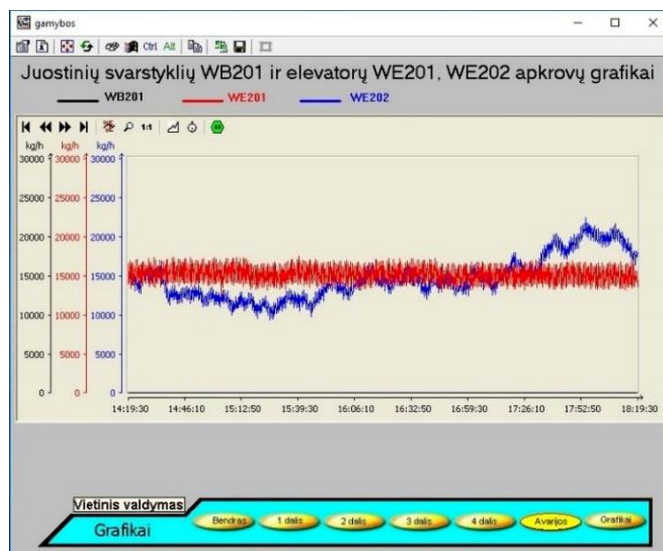
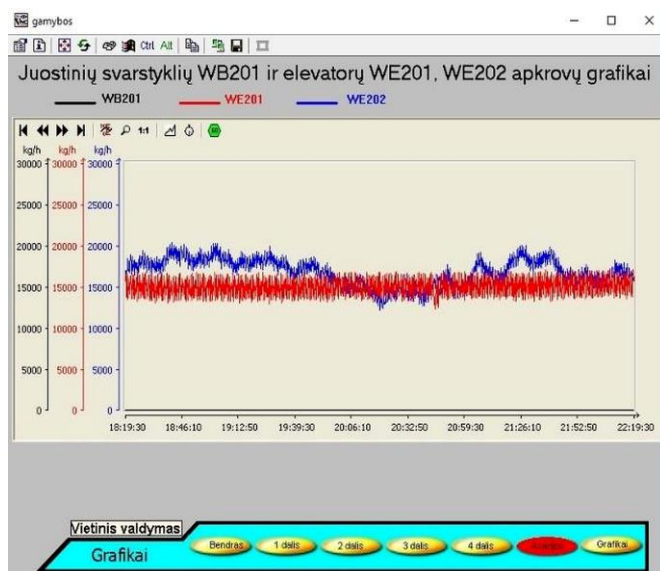
12 pav. Blokinė gamybos schema

Bandymo eigos pagrindiniai parametrai:

- Bandymo trukmė: 4 val
- Linijos našumas: 15 t/h
- Pagaminto produkto kiekis: 45 t
- Humatų dozavimo norma: 6 kg/t
- Drėkinimo terpė: vanduo / garai (130 - 150°C)
- Mėginių ėmimo vietos: po granulatoriaus, po džiovyklos, po aušintuvo, po sijojimo
- Vertinami rodikliai: frakcija, drėgmė, stipris, birumas, higroskopiskumas

Proceso eiga vertinama stebint granulatoriaus darbą, mišinio drėkinimą, produkto temperatūrą, džiovyklos režimą, returo kiekį ir prekinės frakcijos susidarymą. Humatų priedas yra tamsesnės spalvos organinės kilmės medžiaga, todėl bandymo metu papildomai reikia atkreipti dėmesį į granulių spalvos vienodumą, galimą dulkių susidarymą bei priedo pasiskirstymą bendrame produkto sraute.

Bandymo metu procesas turi būti palaikomas stabilus, nedarant staigių technologinių korekcijų, jeigu tam nėra būtinybės. Svarbiausi gamybos parametrai registruojami nustatytais laiko intervalais. Tokie duomenys (8 pav.) leidžia palyginti kontrolinę gamybą ir gamybą su humatiniu priedu bei įvertinti, ar papildoma sausa žaliava nepablogina granuliavimo kokybės.



13 pav. Proceso stabilumą charakterizuojantys gamybos parametrai, nustatytais laiko intervalais

Pirmasis mėginys gali būti paimamas prieš pradėdant humatinio priedo dozavimą, kad būtų turimas kontrolinis produkto palyginimas. Vėliau mėginiai imami iš pasirinktų technologinės linijos vietų: po granulatoriaus, po džioviklos ir nuo gatavos produkcijos juostos. Tokia mėginių ėmimo schema leidžia įvertinti ne tik galutinio produkto rodiklius, bet ir pokyčius atskiruose proceso etapuose. Technologinio proceso parametrai, kurie gali būti registruojami gamybinio bandymo metu, pateikiami 13 lentelėje.

13 lentelė. Technologiniai proceso parametrai

Gaminama NPK 5-15-30+S+Zn su humatiniais priedais											
Temperatūra, C°						Maišytuvas PM 201		Granulatorius RG 201		Išeiga	
						Kg/h					
Laikas	Granulatorius (RG 201)	Džiovykla (RD 201) (galas)	Džiovykla (RD 201) (degimo kamera)	CC 201 (šamotas)	Produkto temp. (CV 202)	Garai	Vanduo	Vanduo	Našumas t/val	Returas %	
08:00	61	86,07	307,67	344,73	20	999	303,82	293,27	13	24	
09:00	61	85,32	315,71	347,25	25	998	304,09	543,82	13	31	
10:00	62	85,67	312,85	347,92	30	997	305,27	459,18	15	34	
11:00*	64	86,25	317,91	348,65	33	998	304,45	448,55	15	42	
12:00*	67	85,65	321,20	347,57	34	999	304,00	487,45	15	41	
13:00*	69	86,87	320,50	345,96	34	999	304,18	446,00	15	40	
14:00*	70	88,09	319,15	342,96	33	995	304,45	434,27	15	44	
15:00	70	87,60	311,99	342,43	32	998	304,09	401,09	15	42	
16:00	69	87,87	319,95	339,83	35	997	304,36	499,64	15	40	
17:00	72	87,50	309,24	339,67	36	996	304,09	466,91	15	40	
18:00	68	88,76	315,79	339,25	37	997	304,09	450,36	15	50	
19:00	65	87,49	312,68	337,58	34	998	304,55	429,82	15	52	

* – pagrindinis bandymo intervalas. Granulatorius (RG 201) – granuliavimo būgnas; džiovykla (RD 201) – temperatūros kontrolės vietos džiovinimo zonoje; CC 201 – degimo kameros įklotas; CV 202 – produkto temperatūros matavimo vieta; PM 201 – maišytuvas; returas – į procesą grąžinama smulkioji ir susmulkinta stambioji frakcija.

Iš duomenų matyti, kad humatinio priedo pridėjimas nepaveikė proceso parametrų. Nereikėjo imtis griežtų parametrų keitimo, ar žaliavų srauto nutraukimo dėl per didelio returo. Lyginant su laboratoriniu ir gamybiniu granuliavimu matyti kad abejuose 40 % returas yra geriausios sąlygos gamintis šioms trąšoms. Pagrindiniai trąšų su huminėmis rūgštimis rodikliai pateikti 14 lentelėje.

14 lentelė. Pagrindinės eksperimentų su huminėmis rūgštimis fizikiniai ir cheminiai rodikliai

Rodikliai	Reikšmės
N suminis, %	4,7
N amoniakinis, %	4,7
P ₂ O ₅ suminis	14,5
P ₂ O ₅ įsisavinamas	14,4
P ₂ O ₅ tirpus vandenyje	13,3
K ₂ O	29,8

pH	5,96
Drėgmė, %	1,78
Granulių stipris, MPa	6,3
Granulių masės dalis (> 5,6) mm, %	0,00
Granulių masės dalis (> 5,0) mm, %	0,09
Granulių masės dalis (> 4,0) mm, %	9,25
Granulių masės dalis (> 3,15) mm, %	50,57
Granulių masės dalis (> 2,8) mm, %	24,93
Granulių masės dalis (> 2,0) mm, %	14,72
Granulių masės dalis (> 1,0) mm, %	0,39
Granulių masės dalis (> 0,0) mm, %	0,05

Trąšų tyrimai buvo atliekami gamyklos laboratorijoje. Norint užtikrinti pastovią produkto kokybę, mėginiai imami kas valandą, o vėliau sudaromas šešių valandų bendras mėginys, kuris analizuojamas pagal lentelėje pateiktus rodiklius. Toks kokybės kontrolės metodas leidžia laiku pastebėti galimus nukrypimus nuo normų ir sumažina riziką, kad nekokybiškas produktas pateks klientui. Laboratorija dirba visą parą kartu su gamykla, tačiau yra nepriklausoma nuo gamybos darbuotojų, todėl tyrimų rezultatai yra objektyvesni.

Įvertinus granulometrinę sudėtį ir gamyklinius proceso parametrus, galima teigti, kad granuliavimo procesas vyko gana stabiliai. Didžiausia produkto dalis susidarė tarp 2,8–4 mm sietų frakcijų, o tai rodo tinkamą granulių formavimąsi. Panašūs rezultatai buvo gauti ir atliekant granuliavimą laboratorinėmis sąlygomis. Cheminių rodiklių reikšmės taip pat parodė, kad žaliavos buvo dozuojamos tolygiai ir be didesnių nukrypimų, o tai yra svarbu norint palaikyti stabilų gamybos procesą.

15 lentelėje pateikti palyginamieji fizikinių savybių ir cheminės analizės rezultatai, gauti tiriant tas pačias trąšas NPK 5-15-30+S+Zn, kai jos buvo gamintos skirtingu metu.

15 lentelė. Palyginamieji NPK 5-15-30+S+Zn trąšų fizikiniai ir cheminiai rodikliai

Rodikliai	Su hum. Rūgšt.	Be hum. Rūgš. Nr. 1	Be hum. rūgš Nr. 2	Be hum. Rūgš. Nr. 3	Be hum. Rūgš. Nr. 4
N suminis, %	4,2	4,2	4,3	4,6	4,7
N amoniakinis, %	4,2	4,2	4,3	4,6	4,7
P ₂ O ₅ suminis	14,3	14,3	14,5	14,0	14,6
P ₂ O ₅ įsisavinamas	14,2	14,1	14,3	13,9	14,4
P ₂ O ₅ tirpus vandenyje	13,0	13,1	13,3	12,8	13,4
K ₂ O	29,7	30,0	29,8	29,7	29,4

pH	5,88	5,81	5,81	5,94	5,89
Drėgmė, %	1,86	1,73	1,57	1,51	1,25
Granulių stipris, MPa	5,9	6,0	6,0	6,9	7,6
SGN	329	326	327	309	328
Granulių masės dalis (> 5,6) mm, %	0,00	0,00	0,00	0,47	0,29
Granulių masės dalis (> 5,0) mm, %	0,09	0,41	0,31	0,25	1,16
Granulių masės dalis (> 4,0) mm, %	6,98	5,59	7,49	6,50	12,23
Granulių masės dalis (> 3,15) mm, %	51,17	50,50	49,00	36,22	43,01
Granulių masės dalis (> 2,8) mm, %	29,5	28,93	29,31	37,46	25,83
Granulių masės dalis (> 2,0) mm, %	12,13	14,13	13,78	18,74	17,08
Granulių masės dalis (> 1,0) mm, %	0,12	0,18	0,12	0,19	0,30
Granulių masės dalis (> 0,0) mm, %	0,01	0,02	0,02	0,18	0,11
Prekinės frakcijos kiekis, %	99,78	99,15	99,58	98,92	98,15

Remiantis 15 lentelėje pateiktais duomenimis, galima teigti, kad huminis preparatas neturėjo pastebimos įtakos nei pačiam gamybos procesui, nei fizikinėms bei cheminėms trąšų savybėms. Trąšų rodikliai išliko panašūs kaip ir gaminant be huminių priedo, todėl galima daryti išvadą, kad preparatas „LifeForce“ gamybos metu nepablogina trąšų kokybės ir neturi neigiamos įtakos maistinių elementų kiekiui. Ir tai yra svarbu, nes priedas nekeičia pagrindinių produkto savybių ir netrikdo technologinio proceso. Tuo pačiu humatinis preparatas gali būti naudingas vėlesniame etape, kai trąšos išberiamos į laukus. Patekęs į dirvą kartu su granulėmis, jis gali pagerinti augalų maistinių medžiagų pasisavinimą, todėl toks priedas gali turėti teigiamą poveikį trąšų panaudojimo efektyvumui.

3.2. Medžiagų balansas

Medžiagų balansas buvo sudarytas pagal pasirinktą NPK 5-15-30+S+Zn trąšų receptūrą ir numatytą humatinio priedo normą. Skaičiavimas atliekamas vienai tonai galutinio produkto, todėl visų mineralinių žaliavų, priedo, returo korekcijų, drėkinimo terpės ir papildomų technologinių priedų kiekiai buvo suvesti į bendrą balansą. 16 lentelėje matoma naudota receptūra NPK 5-15-30+S+Zn su huminėmis medžiagomis.

16 lentelė. Medžiagų balansas 1 tonai NPK 5-15-30+S+Zn trąšų su humatiniu priedu

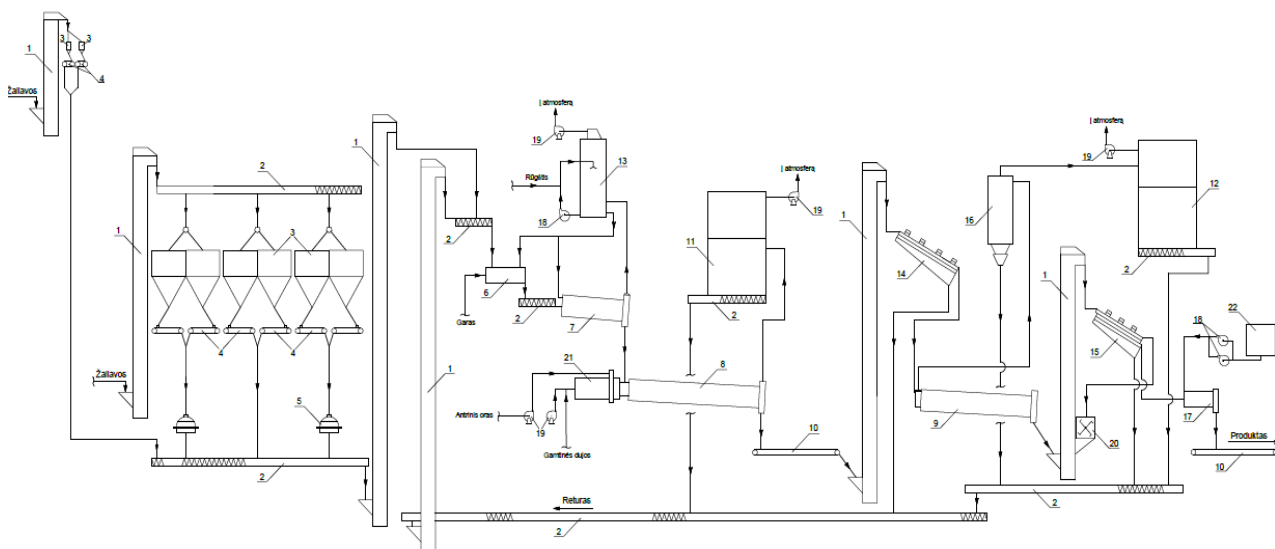
Eil. Nr.	Žaliava	Sudėtis	kg/t
1	Amonio sulfatas (AS)	20,5-0-0	32
2	Diamofosas (DAP)	18-46-0	149
3	Amofosas (MAP)	12-52-0	150
4	Kalio chloridas (MOP)	0-0-60,5	100
5	Kalio chloridas (baltas)	0-0-45	500
6	Cinko sulfatas	35 % Zn	0,6

7	Smėlis		61
8	Humatinis priedas		5
9	Sukibimą mažinanti medžiaga		2,4
10	Viso:		1000

Pagal šią lentelę vėliau galima apskaičiuoti žaliavų poreikį pasirinktai gamybos partijai arba linijos našumui. Jei faktinis produkto kiekis skaičiuojamas ne vienai tonai, o konkrečiai partijai, kiekvienos žaliavos kiekis dauginamas iš numatyto produkto kiekio tonomis. Tokiu būdu galima numatyti ne tik technologinį, bet ir ekonominį gamybos pagrindimą.

3.3. Gamybinės technologinės linijos aprašas

Pateikta technologinė linija (14 pav.) skirta įvairios sudėties granuluotoms kompleksinėms NPK trąšoms gaminti.



14 pav. Granuliuotų sudėtinų trąšų gamybinės technologinės linijos principinė schema

1 – kaušinis elevatorius; 2 – sraigtinis transporteris; 3 – bunkeriai; 4 – juostinis transporteris-svarstyklės; 5 – malūnas; 6 – maišytuvas; 7 – granulatorius; 8 – džiovykla; 9 – aušintuvas; 10 – juostinis transporteris; 11, 12 – rankoviniai filtrai; 13 – skruberis; 14, 15 – sietai; 16 – ciklonas; 17 – apvėlimo būgnas; 18 – siurbliai; 19 – ventiliatoriai; 20 – plaktukinis trupintuvas; 21 – karšto oro generatorius; 22 – sukibimą mažinančios medžiagos saugykla

Žaliavos į gamyklą gali būti tiekiamos automobiliniu arba geležinkelio transportu. Prieš iškrovimą jos pasveriamos, identifikuojamos ir, jeigu reikia, paimami mėginiai laboratorinei kontrolei. Iškrautos žaliavos kaupiamos atskiruose bunkeriuose (3), kad skirtingos rūšies komponentai nesusimaišytų. Iš bunkerių žaliavos į technologinę liniją perduodamos sraigtiniais transporteriais (2) arba kaušiniu elevatoriumi (1), priklausomai nuo konkrečios padavimo vietos ir medžiagos judėjimo krypties schemoje.

Žaliavų dozavimas atliekamas juostiniu transporteriu-svarstyklėmis (4). Šis įrenginys svarbus todėl, kad nuo dozavimo tikslumo priklauso galutinė NPK formulė, mikroelementų kiekis ir humatinio priedo norma. Stambesnės arba blogiau granuliavimui tinkamos žaliavos prieš maišymo etapą gali būti smulkinamos malūne (5). Miltelinis humatinis priedas turėtų būti tiekiamas į sausą žaliavų srautą per atskirą reguliuojamą dozavimo vietą arba kartu su pagrindiniu srautu prieš maišytuvą (6), kad priedas tolygiai pasiskirstytų bendrame mišinyje.

Maišytuve (6) žaliavos sujungiamos į vienalytį mišinį. Į maišytuvą gali būti tiekiamas vanduo arba garas, reikalingas mišinio drėgmei ir temperatūrai reguliuoti. Pirminė aglomeracija prasideda jau maišymo stadijoje, tačiau pagrindinis granulių augimas vyksta granuliaciniame (7). Operatorius pagal proceso eigą reguliuoja drėkinimo intensyvumą, stebi masės lipnumą, granulių augimą, returo kiekį ir produkto frakcijų pasiskirstymą.

Po granuliavimo drėgna masė iš granuliacinio (7) nukreipama į džiovyklą (8). Džiovinimui reikalingas karštas oras ruošiamas karšto oro generatoriuje (21), o oro srauto judėjimą palaiko ventiliatoriai (19). Džiovykloje pašalinama perteklinė drėgmė, tačiau produktas neturi būti perdžiovinamas, nes per sausos granulės gali prarasti mechaninį stiprį. Išdžiovintas produktas toliau patenka į aušintuvą (9), kuriame granulės ataušinamos iki sandėliavimui ir sijojimui tinkamos temperatūros.

Sijojimo įrengimuose produktas suskirstomas į smulkia, prekinę ir stambia frakcijas. Frakcijų atskyrimui naudojami sietai (14, 15). Prekinė 2–4 mm frakcija nukreipama tolesniam apdorojimui, smulkioji frakcija sraigtiniais transporteriais (2) arba juostiniu transporteriu (10) grąžinama į procesą kaip returas, o per stambios granulės pirmiausia susmulkinamos plaktukiniame trupintuve (20) ir vėl įtraukiamos į cirkuliacinį srautą. Taip palaikomas uždaras medžiagų ciklas ir sumažinami gamybos nuostoliai.

Dulkių nutraukimui ir oro valymui naudojami rankoviniai filtrai (11, 12), ciklonas (16), skruberis (13) ir ventiliatoriai (19), todėl dalis dulkių gali būti grąžinama į technologinę sistemą, o darbo aplinka išlieka saugesnė.

Gatavas produktas, jei to reikia sandėliavimo arba transportavimo sąlygoms, gali būti apdorojamas sukibimą mažinančia medžiaga. Ši medžiaga laikoma atskiroje saugykloje (22), o į produktą tiekama per siurblius (18) ir paskirstoma apvėlimo būgne (17). Po šio etapo granulės nukreipiamos į gatavos produkcijos aruodus, kur partijos laikomos atskirai, užtikrinant atsekamumą.

Kontrolė vykdoma viso proceso metu: nuo žaliavų priėmimo iki galutinio produkto patikrinimo. Kontroluojami žaliavų kokybės dokumentai, juostinio transporterio-svarstyklių (4) dozavimo pastovumas, maišytuvo (6) darbo stabilumas, granuliacinio (7) režimas, produkto drėgmė po džiovyklos (8), temperatūra po aušintuvo (9), frakcijų pasiskirstymas po sietų (14, 15) ir galutinio produkto fizikiniai bei cheminiai rodikliai. NPK 5-15-30+S+Zn trąšoms su humatinio priedu papildomai svarbu įvertinti humatų dozavimo tolygumą ir jų pasiskirstymą produkto masėje.

4. Darbo sauga ir darbuotojų sauga

Darbas trąšų gamybos pramonėje yra susijęs su įvairių cheminių medžiagų naudojimu, todėl būtina užtikrinti aukštą darbo saugos ir aplinkos apsaugos lygį. Gamybos procesuose susidaro dulkės, kaupiasi žaliavų likučiai, o kai kurios medžiagos gali būti toksiškos ar net sprogios. Dėl šių priežasčių itin svarbu taikyti tinkamas prevencines priemones, siekiant išvengti avarijų ir užtikrinti darbuotojų sveikatą bei saugumą.

Vienas pagrindinių rizikos veiksnių trąšų gamyboje yra dulkių susidarymas. Didžiausi dulkių kiekiai generuojami granuliavimo ir džiovavimo procesuose. Siekiant sumažinti dulkių koncentraciją darbo aplinkoje ir jų patekimą į atmosferą, naudojamos dulkių nutraukimo sistemos. Dulkės iš technologinių įrenginių šalinamos ventiliatoriais ir valomos ciklonuose. Esant didelėms dulkių koncentracijoms, papildomai taikomas šlapio valymo metodas – skruberiai, kuriuose pašalinamos ne tik dulkės, bet ir kenksmingos dujos, tokios kaip amoniakas, azoto oksidai ar kiti cheminiai junginiai.

Svarbi saugos priemonė yra užtikrinti, kad į technologinius įrenginius, ypač malūnus, nepatektų pašalinių, ypač metalinių, daiktų, galinčių sukelti kibirkščiavimą. Kadangi dulkių ir oro mišiniai gali būti sprogūs, net menkiausia kibirkštis gali sukelti gaisrą ar sprogimą. Dėl šios priežasties įrenginiuose montuojamos mechaninės gaudyklės, grotos bei naudojamos prevencinės apsaugos sistemos. Visi elektros įrenginiai turi būti tinkamai įžeminti.

Technologiniai įrenginiai, tokie kaip ciklonai ir skruberiai, turi būti sandarūs, kad kenksmingos medžiagos nepatektų į darbo aplinką. Džiovavimo įrenginiuose būtina įrengti temperatūros kontrolės sistemas, nes dirbama su aukštomis temperatūromis ir termiškai nestabiliomis medžiagomis. Taip pat svarbus tinkamas vėdinimas, kuris mažina sprogusių dujų ir dulkių koncentraciją.

Granulių gamybos metu susidariusios dulkės dažnai gražinamos atgal į procesą kaip returas, taip mažinant nuostolius ir didinant proceso efektyvumą. Jei dulkių surinkimo sistemos neveikia arba veikia netinkamai, įrenginių eksploatavimas turi būti nedelsiant nutrauktas. Todėl būtina įrengti automatines kontrolės sistemas, kurios signalizuotų apie gedimus.

Darbuotojų sauga yra neatsiejama gamybos proceso dalis. Dirbantieji privalo naudoti asmenines apsaugos priemones: pirštines, apsauginius akinius, respiratorius, specialią darbo aprangą ir, esant poreikiui, kitas priemones. Nors daugelis naudojamų medžiagų nėra itin pavojingos tiesioginio kontakto metu, jos gali patekti į organizmą per kvėpavimo takus ar gleivines, todėl būtina laikytis higienos reikalavimų.

Svarbu laikytis ir pirmosios pagalbos reikalavimų:

- patekus medžiagai ant odos – nuplauti vandeniu ir pašalinti užterštus drabužius;
- patekus į akis – nedelsiant plauti dideliu kiekiu vandens;
- įkvėpus – išeiti į gryną orą;
- prarijus – skalauti burną vandeniu.

Gaisro atveju trąšos gali skilti ir išskirti pavojingas dujas, tokias kaip azoto, sieros, anglies oksidai, amoniakas ar vandenilio chloridas. Todėl gaisro gesinimo priemonės turi būti parenkamos atsižvelgiant į konkrečią situaciją, vengiant netinkamų metodų, pavyzdžiui, stiprios vandens srovės naudojimo tam tikrais atvejais.

Svarbus aspektas yra ir tinkamas trąšų sandėliavimas. Sandėliai turi būti statomi iš nedegių medžiagų, būti sausi, vėdinami ir apsaugoti nuo aplinkos poveikio. Skirtingos trąšų rūšys turi būti laikomos atskirai, o palaidos trąšos – tik sandėliuose. Skystos trąšos laikomos sandariose, chemiškai atspariose talpose. Trąšos turi būti laikomos atokiau nuo šilumos šaltinių, degių medžiagų, rūgščių ar kitų cheminių junginių.

Aplinkosaugos aspektai taip pat yra itin svarbūs. Būtina užtikrinti, kad cheminės medžiagos nepatektų į dirvožemį ar gruntinius vandenis. Tinkamai organizuotas gamybos procesas leidžia išvengti nuotekų susidarymo, nes valymui naudojamas vanduo gali būti gražinamas į gamybos ciklą.

Darbuotojai turi būti nuolat apmokomi ir supažindinami su saugos duomenų lapais (SDL), technologiniais procesais bei avarijų likvidavimo planais. Tik tinkamai parengtas personalas gali užtikrinti saugų darbą ir efektyvią reakciją ekstremaliomis situacijomis. Be to, įmonėse turi dirbti atsakingi specialistai, prižiūrintys darbuotojų saugą ir sveikatą.

Galiausiai, svarbu užtikrinti bendrą darbo kultūrą ir saugos lygį įmonėje. Šiuolaikinėse konkurencinėse sąlygose darbdaviai turi rūpintis ne tik technologiniu efektyvumu, bet ir darbuotojų gerove, saugia bei komfortiška darbo aplinka. Tik sudarius tinkamas darbo sąlygas ir užtikrinus aukštą saugos lygį galima pasiekti efektyvią, tvarią ir konkurencingą gamybą.

Mineralinių trąšų gamyboje ir sandėliavime svarbu įvertinti ne tik technologinius parametrus, bet ir žaliavų bei tarpinių produktų pavojingumą. NPK trąšų gamyboje naudojamos azoto, fosforo ir kalio turinčios medžiagos gali skirtis pagal drėgmę, terminį stabilumą, oksidacines savybes ir elgseną sąveikoje su kitomis medžiagomis. Dėl to prieš darbą su trąšų žaliavomis darbuotojai turi žinoti pagrindines jų savybes, naudoti asmenines apsaugos priemones ir vadovautis saugos duomenų lapais.

Toliau pateiktoje lentelėje apibendrintos dažniau trąšų pramonėje sutinkamų mineralinių trąšų charakteristikos. Lentelė pateikiama kaip orientacinė saugos informacija, nes konkrečios partijos savybės gali priklausyti nuo žaliavų grynumo, drėgčio, granulimetrinės sudėties ir priemaišų.

Dažniausiai naudojamų medžiagų pavojingumo charakteristikos pavaizduotos 17 lentelėje.

17 lentelė. Dažniausiai naudojamų mineralinių trąšų degumo ir pavojingumo charakteristikos


Trąšų pavadinimas	Išvaizda	Pagrindinė cheminė sudėtis	Drėgnis, %	Agresyvumas	Pavojingumo klasė
Azoto trąšos					
1	2	3	4	5	6
Amonio salietra	Granulės	NH_4NO_3	0,2-0,3	Oksiduojanti medžiaga. Kaitinant ar skylant gali išsiskirti nuodingi azoto oksidai.	Degi. Apie 210 °C, kontaktuojant su siera, rūgštimis, superfosfatu, chlorkalkėmis ar metalų milteliais, gali skilti išskirdama azotą ir deguonį. Esant degių medžiagų aplinkai gali kilti gaisras, o organinėmis medžiagomis užteršta deganti amonio salietra gali sprogti. Pavojingumo klasė 5
Karbamidas	Granulės	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	0,25	Reaguodamas su kalkinėmis medžiagomis gali išskirti amoniaką.	Įprastomis sąlygomis nedegus ir nesprogus. Užsiliepsnojimo temperatūra apie 220 °C, savaiminis užsidegimas - apie 715 °C
Amonio sulfatas	Kristalai	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0,2	Sąveikoje su kalkinėmis medžiagomis išskiria amoniaką.	Nedegus. Įkaitintas iki apie 235 °C skyla išskirdamas amoniaką ir sieros trioksidadą.
	Granulės		0,6		
Fosforo trąšos					
Superfosfatas	Granulės	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{CaSO}_4$	3,5	Sudėtyje gali būti laisvųjų rūgščių, skaičiuojant P_2O_5 - apie 2,5 proc.	Nedegus ir nesprogus. Pavojingumo klasė 9
Dvigubasis superfosfatas	Granulės	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{PO}_4$	3,0-4,0	Turi laisvųjų rūgščių, skaičiuojant P_2O_5 - apie 2,5-5 proc.	Nedegus ir nesprogus. Pavojingumo klasė 9
Diamonio fosfatas	Granulės	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$		Degdamas arba stipriai kaitinamas išskiria amoniaką ir fosforo oksidus.	Nedegus ir nesprogus. Kaitinant iki maždaug 155 °C skyla. Pavojingumo klasė 9

Kalio trąšos					
Kalio chloridas	Granulės	KCl	0,5	Iki 0,5 proc. drėgnio paprastai nesukelia korozijos.	Nedegus ir nesproguos. Pavojingumo klasė 9
1	2	3	4	5	6
Kalio chloridas	Smulkūs kristalai	KCl	1,0	Iki 1,0 proc. drėgnio paprastai nesukelia korozijos.	Nedegus ir nesproguos. Pavojingumo klasė 9
Kalio druska 40 proc.	Kristalai	KCl+NaCl	2,0	Iki 2,0 proc. drėgnio korozinis poveikis nežymus.	Nedegi ir nesprogi. Pavojingumo klasė 9
Kompleksinės trąšos					
Amofosas	Granulės	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	1,0	Sąveikoje su kalkinėmis medžiagomis gali išskirti NH_3 .	Nedegus ir nesproguos. Pavojingumo klasė 9
Nitrofoska	Granulės	NH_4NO_3+ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4+$ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4+$ KNO_3+ CaHPO_4	1,5	Kaitinant išsiskiria azoto oksidai.	Nesprogi, tačiau degi. Aukštesnėje temperatūroje gali savaime kaisti. Pavojingumo klasė 9
Azofoska	Granulės	NH_4NO_3+ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4+$ KCl	1,0	Silpnas oksidatorius.	Nesprogi. Degi, sunkiai deganti. Pavojingumo klasė 9
Nitroamofoska	Granulės	NH_4NO_3+ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4+$ KCl	0,8	Silpnas oksidatorius.	Nesprogi. Gaisro atžvilgiu pavojinga, sunkiai deganti. Pavojingumo klasė 9
Nitroamofosas	Granulės	NH_4NO_3 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	1,5	Silpnas oksidatorius.	Nesproguos. Įkaitintas iki apie 170 °C linkęs skilti ir tirpti. Pavojingumo klasė 9
Nitrofosas	Granulės	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4+$ NH_4NO_3+ $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	1,5		Nesprogi. Įkaitinta iki apie 170 °C linkusi skilti ir tirpti. Pavojingumo klasė 9

Pagal CLP/GHS ženklinaimą cheminės medžiagos pavojus darbuotojui nurodomas piktogramomis, signaliniu žodžiu, pavojingumo frazėmis (H) ir atsargumo frazėmis (P) [26]. Todėl prieš žaliavų priėmimą, paruošimą, granuliavimą ir valymo darbus darbuotojai turi remtis ne tik bendromis saugos taisyklėmis, bet ir konkrečios partijos medžiagų saugos duomenų lapu (SDL).

Šiame darbe naudotų NPK 5-15-30+S+Zn trąšų žaliavų pavojingumo frazės ir ženklinaimas pateikti 18 lentelėje. Dalis mineralinių trąšų žaliavų pagal CLP nėra klasifikuojamos kaip pavojingos, tačiau jų dulkės vis tiek gali mechaniškai dirginti akis, odą ar kvėpavimo takus. Ryškiausias cheminis pavojus nustatomas cinko sulfatui, nes ši žaliava gali pažeisti odą, akis ir yra labai pavojinga aplinkai [27, 28].

18 lentelė. Naudojamų žaliavų pavojingumo frazės

Žaliava	CLP/GHS klasifikavimas	Pavojingumo frazės (H)	Ženklinaimas
Amonio sulfatas (AS) [33]	Neklasifikuojama pagal CLP/GHS.	H frazės netaikomos. Dirbant su milteliais ar granulėmis reikia vengti dulkių įkvėpimo.	Nėra
Diamofosas (DAP) [31]	Neklasifikuojama pagal CLP.	H frazės netaikomos. Gali mechaniškai dirginti kvėpavimo takus, odą ar akis dėl dulkių.	Nėra
Amofosas (MAP) [32]	Neklasifikuojama pagal CLP.	H frazės netaikomos. Dirbant būtina mažinti dulkių susidarymą ir naudoti akių/kvėpavimo apsaugą.	Nėra
Kalio chloridas (MOP) [34]	Neklasifikuojama pagal CLP/GHS.	H frazės netaikomos.	Nėra
Cinko sulfatas [27, 28]	Acute Tox. 4; Eye Dam. 1; Aquatic Acute 1; Aquatic Chronic 1.	H302 - kenksminga prarijus; H318 - smarkiai pažeidžia akis; H400 - labai toksiška vandens organizmams; H410 - labai toksiška vandens organizmams, sukelia ilgalaikius pakitimus.	 GHS07, GHS05, GHS09
Smėlis / kvarcinis smėlis [35]	Pagal nurodytą SDL neklasifikuojamas.	H frazės ir piktogramos netaikomos. Praktikoje svarbu kontroliuoti dulkių koncentraciją ir laikytis HN darbo aplinkos ribinių verčių.	Nėra
Kalio humatas „LifeForcfe“ [29, 30]	Neklasifikuojama pagal CLP.	H frazės netaikomos. Etiketėje taikomos atsargumo frazės: P102 - laikyti vaikams neprieinamoje vietoje; P501 - turinį/talpyklą šalinti pagal teisės aktų reikalavimus.	Nėra

Išvados

1. Įvertinus augalams reikalingų maisto medžiagų koncentracijas įmonėje gaminamose sudėtinėse trąšose ir jų poreikį pasirinktos NPK 5-15-30+S+Zn bei huminių medžiagų priedas „LifeForce“.
2. Laboratorinėmis sąlygomis sugranuluotos NPK 5-15-30+S+Zn trąšos su huminėmis rūgštimis ir nustatyta, jog šių medžiagų pridėjimas nepakeičia trąšų fizikinių-cheminių savybių.
3. Pramoniniu būdu sugranuluotos NPK 5-15-30+S+Zn markės trąšos su huminiu priedu „LifeForce“ ir nustatyta, jog didžiausia prekinės frakcijos išeiga (99,78) buvo naudojant 40 % returo, SGN - (329), granulių stipris - (5,9), drėgmė - (1,86), pH - (5,88).
4. Darbe pateikta principinė technologinė schema, skirta NPK 5-15-30+S+Zn markės trąšoms su huminėmis rūgštimis gaminti bei rekomendacijos stabiliam gamybos procesui užtikrinti: džiovinimo temperatūrą – 85-86 °C, vandens kiekis, 450 kg/h, garų kiekis 999 kg/h, produkto temperatūra – 34 °C, našumas 15 t/h.

Priedai

1 priedas. „Lifeforce“ tirpus kalio humato SDL

SAUGOS DUOMENŲ LAPAS



Parengtas pagal Europos Komisijos ir Tarybos reglamento (EB) Nr. 1907/2006 (REACH) reikalavimus, atnaujintas pagal Europos Komisijos reglamento (ES) 2020/878 reikalavimus	Pildymo data: 2019-02-28 Paskutinio atnaujinimo data: 2021-02-24 Versija: 3
Medžiaga: Tirpus Kalio Humatas	Puslapis 1 iš 10

1 skirsnis. MEDŽIAGOS/MIŠINIO IR BENDROVĖS/ĮMONĖS IDENTIFIKAVIMAS

1.1. Produkto identifikatorius
Produkto pavadinimas: Tirpus Kalio Humatas
REACH registracijos Nr. 01-2119484861-29-0042

1.2. Medžiagos ar mišinio nustatyti naudojimo būdai ir nerekomenduojami naudojimo būdai
Nustatyti naudojimo būdai:
Koncentruotos vandenyje tirpios huminės rūgštys, gaunamos šarminiu būdu ekstrahuojant leonarditą iš Sibiro (Rusija), natūralus žemės ūkio ir sodininkystės augalų augimo stimulatorius. Smulki naudojimo aprašų sistema pateikiama 16.2. skirsnyje.
Nerekomenduojami naudojimo būdai:
Nerekomenduojama naudoti ne pagal aukščiau išdėstytus naudojimo būdus ir paskirtį.

1.3. Išsami informacija apie saugos duomenų lapo tiekėją:
UAB "Life Force Baltic"
Jundos g. 40, Vilnius, LT 08402, Lietuva
Mob. +370 682 16602
El. paštas: lfbaltic@lifeforce.pro
Įmonės kodas: 304468857

Už saugos duomenų lapą atsakingo asmens elektroninio pašto adresas: visachemija@gmail.com

1.4. Pagalbos telefono numeris
Lietuvos apsinuodijimų kontrolės ir informacijos biuras visą parą: +370 5 236 20 52, +370 687 53378
Interneto svetainė: www.apsinuodijau.lt
Bendras pagalbos telefonas: 112

2 skirsnis. GALIMI PAVOJAI

2.1. Medžiagos ar mišinio klasifikavimas pagal Reglamentą (EB) 1272/2008:
Neklasifikuojama

2.2. Ženklavimo elementai
Netaikoma

Atsargumo frazės:
P102 Laikyti vaikams neprieinamoje vietoje;
P501 Turinį/talpyklą išmesti laikantis teisės aktais nustatytų reikalavimų.

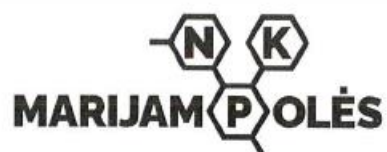
2.3. Kiti pavojai
PBT ir vPvB vertinimo rezultatai:
PBT: Netaikoma.
vPvB: Netaikoma.

3 skirsnis. SUDĖTIS IR INFORMACIJA APIE SUDEDAMĄSIAS DALIS

3.1. Medžiaga
Produktas yra cheminė medžiaga

Medžiagos pavadinimas	CAS Nr.	EC Nr.	REACH reg. Nr.	Klasifikavimas pagal reglamentą EB Nr.1272/2008	m. d. %
Huminės rūgštys, kalio druskos	68514-28-3	271-030-1	01-2119484861-29-0042	Neklasifikuojama kaip pavojinga	80-100

2. priedas. Direktoriaus sutikimas



KTU Cheminės technologijos fakulteto,
Chemijos inžinerijos magistrantūros,
Baigiamųjų darbų gynimo komisijai

SUTIKIMAS

Marijampolė, 2026-05-21

UAB „Marijampolės NPK“, atstovaujama direktoriaus Gintaro Dulinsko, neprieštarauja, kad Domantas Kailius, Kauno Technologijos Universiteto Cheminės technologijos fakulteto studentas, baigiamajame magistro darbe „Sudėtinių biriųjų trąšų praturtinimas huminėmis medžiagomis ir jų savybių tyrimas“ naudotų duomenis, susijusius su įmonės „Marijampolės NPK“ trąšų gamybos technologija.

Direktorius

Gintaras Dulinskas

UAB „Marijampolės NPK“ | Tel.: +370 343 97766 | El. paštas: info@mnpk.lt | Adresas: Gamyklų g. 5, LT-68108, Marijampolė, Lietuva | Įmonės kodas: 305566279 | PVM kodas: LT100013785815 | Atsiskaitomoji sąskaita: LT937044090101695599 | Bankas: AB SEB | Banko kodas: 70440 | SWIFT: CBVILT2X | Duomenys kaupiami ir saugomi Juridinių asmenų registre.

Literatūros sąrašas

1. Walker, G. M.; Holland, C. R.; Ahmad, M. N.; Fox, J. N.; Kells, A. G. Drum granulation of NPK fertilizers. *Powder Technology*, 2000
2. Šlinkšienė, R.; Baliutavičius, V. Influence some granulation parameters on the properties of NPK fertilizers. *Cheminė technologija*, 2012,
3. White, P. J.; Brown, P. H. Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany*, 2010
4. Erro, J.; Urrutia, O.; Baigorri, R.; Fuentes, M.; Zamarreño, A. M.; Garcia-Mina, J. M. Incorporation of humic-derived active molecules into compound NPK granulated fertilizers: main technical difficulties and potential solutions. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 2016
5. Canellas, L. P.; Olivares, F. L.; Aguiar, N. O.; Jones, D. L.; Nebbioso, A.; Mazzei, P.; Piccolo, A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 2015
6. Ma, J.; et al. Functions of nitrogen, phosphorus and potassium in energy status and their influences on rice growth and development. *Rice Science*, 2022.
7. Narayan, O. P.; Kumar, P.; Yadav, B.; Dua, M.; Johri, A. K. Sulfur nutrition and its role in plant growth and development. *Plant Signaling & Behavior*, 2023
8. Brdar-Jokanović, M. Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020.
9. Vera-Maldonado, P.; et al. Role of boron and its interaction with other elements in plants. *Frontiers in Plant Science*, 2024.
10. Broadley, M. R.; White, P. J.; Hammond, J. P.; Zelko, I.; Lux, A. Zinc in plants. *New Phytologist*, 2007.
11. Sadeghzadeh, B. A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2013.
12. Hacisalihoglu, G. Zinc (Zn): the last nutrient in the alphabet and shedding light on Zn efficiency for the future of crop production under suboptimal Zn. *Plants*, 2020.
13. Vessey, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*, 2003.
14. Nardi, S.; Schiavon, M.; Francioso, O. Chemical structure and biological activity of humic substances define their role as plant growth promoters. *Molecules*, 2021.
15. Ampong, K.; Thilakaranthna, M. S.; Gorim, L. Y. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy*, 2022, 4, 848621. DOI: 10.3389/fagro.2022.848621.
16. Rose, M. T.; Patti, A. F.; Little, K. R.; Brown, A. L.; Jackson, W. R.; Cavagnaro, T. R. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. *Advances in Agronomy*, 2014
17. Verlinden, G.; Pycke, B.; Mertens, J.; Debersaques, F.; Verheyen, K.; Baert, G.; Bries, J.; Haesaert, G. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition*, 2009
18. Trevisan, S.; Francioso, O.; Quaggiotti, S.; Nardi, S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling & Behavior*, 2010

19. Mora, V.; Baigorri, R.; Bacaicoa, E.; Zamarreño, A. M.; Garcia-Mina, J. M. The humic acid-induced changes in the root concentration of nitric oxide, IAA and ethylene do not explain the changes in root architecture caused by humic acid in cucumber. *Environmental and Experimental Botany*, 2012
20. Ma, Y.; et al. The impact of humic acid fertilizers on crop yield and nitrogen use efficiency: a meta-analysis. *Agronomy*, 2024
21. Iveson, S. M.; Litster, J. D.; Hapgood, K.; Ennis, B. J. Nucleation, growth and breakage phenomena in agitated wet granulation processes: a review. *Powder Technology*, 2001
22. Xue, B. C.; Hao, Q.; Liu, T.; Liu, E. B. Effect of process parameters and agglomeration mechanisms on NPK compound fertiliser. *Powder Technology*, 2013
23. Degève, J.; Baeyens, J.; Van de Velden, M.; De Laet, S. Spray-agglomeration of NPK-fertilizer in a rotating drum granulator. *Powder Technology*, 2006
24. Walker, G. M.; Moursy, H. E. M. N.; Holland, C. R.; Ahmad, M. N. Effect of process parameters on the crush strength of granular fertiliser. *Powder Technology*, 2003.
25. Walker, G. M.; Magee, T. R. A.; Holland, C. R.; Ahmad, M. N.; Fox, J. N.; Moffatt, N. A.; Kells, A. G. Caking processes in granular NPK fertilizer. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 1998.
26. Europos Komisija. Classification and labelling (CLP/GHS).
27. Safe Work Australia. Hazardous Chemical Information System (HCIS): zinc sulphate (hydrous) (mono-, hexa- and hepta hydrate). www.hcis.safeworkaustralia.gov.au.
28. Univar Solutions. Safety Data Sheet: Zinc sulphate (hydrous) (mono-, hexa- and hepta hydrate).
29. Life Force Group LLC. Potassium Humate from leonardite (soluble) Life Force.
30. UAB „Life Force Baltic“. Saugos duomenų lapas: Tirpus Kalio Humatas BLACK KEY, versija 3.
31. Toros Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş. Safety Data Sheet: Toros DAP 18-46-0.
32. Toros Tarım Sanayi ve Ticaret A.Ş. Safety Data Sheet: Mono Ammonium Phosphate (12-52-0).
33. Carl Roth GmbH + Co. KG. Safety Data Sheet: Ammonium sulphate $\geq 99\%$, crystalline, article number 9218.
34. Carl Roth GmbH + Co. KG. Safety Data Sheet: Potassium chloride $\geq 99.5\%$, article number 6781.
35. AB „Anykščių kvarcas“. Safety Data Sheet: Quartz sand, version 2.