

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Gediminas Karalius

ĮVAIRIŲ PRIEDŲ POVEIKIO MEDIENOS GRANULIŲ
KOKYBEI TYRIMAS

Magistro baigiamasis darbas

Šiauliai, 2014

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

ĮVAIRIŲ PRIEDŲ POVEIKIO MEDIENOS GRANULIŲ
KOKYBEI TYRIMAS

Magistro baigiamasis darbas

Autorius – Gediminas Karalius (MM-12 gr.)

Vadovas – doc. dr. R. Šniuolis

Recenzentas – doc. dr. D. Čikotienė

Katedros vedėjas – doc. dr. A. Sabaliauskas

Šiauliai, 2014



ŠIAULIŲ
UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR
GAMTOS MOKSLŲ
FAKULTETAS

**ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS
TECHNOLOGIJOS IR GAMTOS MOKSLŲ FAKULTETAS
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA**

TVIRTINU _____
(parašas, data)
R. Šniuolis
(vardas, pavardė)

**MAGISTRANTŪROS STUDIJŲ BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS
Studijų programa MECHANIKOS INŽINERIJA**

Išduota magistrantui _____ Gediminui Karaliui _____

Darbo tema: Įvairių priedų poveikio medienos granuliu kokybei tyrimas _____

Patvirtinta 2014 m. balandžio mėn. 2 d. fakulteto dekanu potvarkiu Nr. TGMDP-04.

1. Darbo tikslas

Darbo tikslas – lietuviškojo spygliuočio medienos pjuvenų ir įvairių priedų poveikio medžio granuliu kokybei, medienos granuliu fizikinėms mechaninėms ir šiluminėms savybėms tyrimas bandomojo masto granuliu įranga

2. Darbo struktūra

Įvadas

1. Literatūros apžvalga
2. Įvairių priedų įtakos medienos granuliu fizikinėms ir šiluminėms savybėms tyrimas
 - 2.1. Tiriamųjų granuliu mėginiai
 - 2.2. Medienos granuliu fizinių savybių priklausomybės nuo įvairių priedų tyrimas
 - 2.3. Medienos granuliu šiluminių savybių priklausomybės nuo įvairių priedų nustatymas

3. Rezultatai

Išvados

Literatūra

Priedai

Darbo pateikimo terminas 2014 m. birželio mėn. 9 d.

Užduotį gavau Gediminas Karalius
(magistranto vardas, pavardė)

_____ 2013 02 04
(parašas, data)

Vadovas doc. dr. Raimondas Šniuolis
(pareigos, vardas, pavardė)

(parašas, data)

SUMMARY

Karalius G. Investigation of various additives influence on the quality of wood pellets: Master thesis of mechanical engineer / research advisor associate doc. dr. R. Šniuolis; Šiauliai University, Technological Faculty, Mechanical Engineering Department. – Šiauliai, 2014. - 47p.

Additives play a major role in wood pellet characteristics and are a subject of major interest as they act as binding agents for the biomass raw material. However, there is a still lack of research and data on the use of additives in the manufacturing of new wood pellets, which have more unequal composition.

The purpose of this study was to summarize the current state of the literature and investigate the dependence related to the effects of additives on wood pellet physical and thermal characteristics. The physical characteristics reviewed in this study include moisture content, particle density and mechanical durability, bulk density. Whereas the thermal characteristics reviewed include heating value, ash content, ash melting point, elemental composition. The additives also act as a lubricant and increase the production rate and decrease the energy consumption per unit output of wood pellets.

Results showed that lignosulphonate, potato starch, dolomite and motor oil used as adhesive binding agents increased the quality of pellets and changed inorganic characteristics, but did not have a significant effect on their calorimetric heat values. The results have also shown that lignosulphonate improved the mechanical durability and even increased the rate of production. Motor oil additives increased the calorific value minimally.

In order to produce the wood pellets with desired physical and thermal characteristics, a suitable additive with the right biomass material should be used. Valuable information about both the pelletizing process and pellets is necessary in the future when developing good-quality pellets, a prime biofuel, from low-value and/or moist biomass that has undergone a cost-efficient drying process. The results of the experimental measurements and properties of wood pellets with different additives are presented in the final part.

This study is promoting the future development of eco and cost-efficient wood-based pellet production in both quantitative and qualitative senses.

TURINYS

| | |
|---|----|
| SUMMARY | 4 |
| LENTELIŲ SĄRAŠAS | 7 |
| PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS | 8 |
| IŽANGA | 9 |
| 1. SITUACIJOS APŽVALGA | 11 |
| 1.1. Medžio granulės | 11 |
| 1.2. Priedų apžvalga | 13 |
| 2. ĮVAIRIŲ PRIEDŲ ĮTAKOS MEDIENOS GRANULIŲ FIZIKINĖMS IR ŠILUMINĖMS SAVYBĖMS TYRIMAS | 16 |
| 2.1. Tiriamųjų granulių mėginiai | 17 |
| 2.2. Medienos granulių fizinių savybių priklausomybės nuo įvairių priedų tyrimas..... | 17 |
| 2.2.1. Visuminės ir bendrosios drėgmės kiekio tyrimas | 17 |
| 2.2.2. Smulkiųjų dalelių kiekio nustatymas | 20 |
| 2.2.3. Mechaninio patvarumo nustatymas | 21 |
| 2.2.4. Piltinio ir tūrinio tankio nustatymas | 22 |
| 2.3. Medienos granulių šiluminių savybių priklausomybės nuo įvairių priedų nustatymas | 23 |
| 2.3.1. Šiluminės vertės (kaloringumo) nustatymas | 23 |
| 2.3.2. Pelenų kiekio nustatymas | 25 |
| 2.3.3. Pelenų lydymosi (šlakavimosi) temperatūros nustatymas | 27 |
| 2.3.4. Anglies, vandenilio, azoto, sieros nustatymas | 29 |
| 2.4. Granuliavimo įrenginio energijos suvartojimo priklausomybės nuo įvairių priedų nustatymas | 30 |
| 3. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS | 32 |
| 3.1. Drėgmės kiekis..... | 32 |
| 3.2. Smulkiųjų dalelių kiekis..... | 32 |
| 3.3. Mechaninis patvarumas..... | 33 |
| 3.4. Piltinis ir tūrinis tankis | 34 |
| 3.5. Šiluminė vertė (kaloringumas)..... | 35 |
| 3.6. Visuminio anglies, vandenilio, azoto, sieros, chloro sudėtis | 36 |
| 3.7. Pelenų kiekis | 37 |

| | |
|---|----|
| 3.8. Pelenų lydymosi (šlakavimosi) temperatūra | 38 |
| 3.9. Įrengimų darbas | 39 |
| 3.10. Apibendrinimas | 40 |
| LITERATŪRA | 42 |
| 1 PRIEDAS. Tyrimų protokolas | 45 |
| 2 PRIEDAS. Įvairių šalių standartai medienos granulėms | 46 |
| 2 PRIEDO tęsinys..... | 47 |

LENTELIŲ SĄRAŠAS

| | |
|--|----|
| 1.1 lentelė. Svarbiausių granulių parametų ribinės vertės. | 12 |
| 2.1 lentelė. Tiriamų granulių visuminės ir bendrosios drėgmės kiekis [%] | 19 |
| 2.2 lentelė. Tiriamų granulių nuobirų kiekis [%]..... | 20 |
| 2.3 lentelė. Tiriamų granulių mechaninis patvarumas [%]..... | 22 |
| 2.4 lentelė. Tiriamų granulių tūrinis ir piltinis tankis [kg/m^3] | 23 |
| 2.5 lentelė. Tiriamų granulių šiluminė vertė [MJ/kg]..... | 25 |
| 2.6 lentelė. Tiriamų granulių pelenų kiekis [%]..... | 27 |
| 2.7 lentelė. Tiriamų granulių nustatyta pelenų lydymosi temperatūra [$^{\circ}\text{C}$]..... | 28 |
| 2.8 lentelė. Tiriamų granulių elementų sudėties kiekis [%]..... | 30 |
| 2.9 lentelė. Įėjimo galia [kW]..... | 31 |

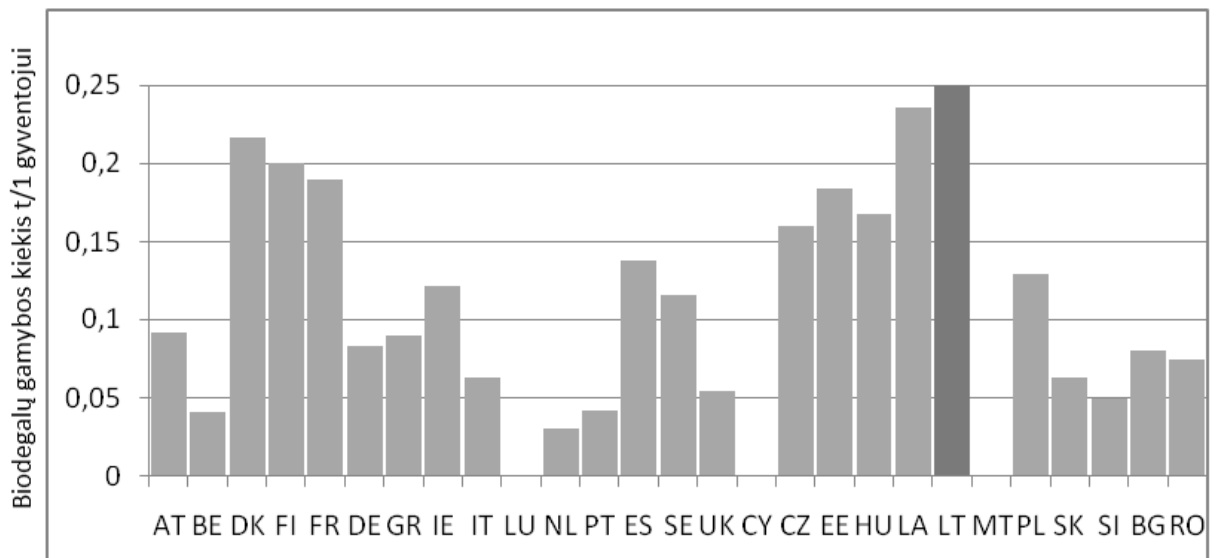
PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

| | |
|--|----|
| 1.1 pav. Prognozuojamas biokuro gamybos kiekis Europos Sąjungos šalyse 2020 m., tonų/vienam gyventojui | 8 |
| 1.2 pav. Granuliavimo proceso schema. A- žaliava; B – matrica; C – likusi žaliava; D – matricos skylės diametras (6 – 8 mm); E – medienos granulė | 10 |
| 1.3 pav. Lignosulfonato struktūra | 13 |
| 1.4 pav. Amilopektino struktūra | 13 |
| 1.5 pav. Amilozės struktūra | 14 |
| 2.1 pav. Kalvis 3-50DS granulių talpykla su valdymo pultu | 15 |
| 2.2 pav. Ėminiams naudojami indai | 16 |
| 2.3 pav. Reguluojam džiovavimo spinta SNOL | 17 |
| 2.4 pav. Eksikatorius | 18 |
| 2.5 pav. Ligno-tester, specialiai skirtas medienos granulių gamintojams | 20 |
| 2.6 pav. IKA C4000 neautomatizuotos kalorimetro sudėtinės dalys | 23 |
| 2.7 pav. Mufelinė krosnelė | 25 |
| 2.8 pav. Pelenų lydumo fazės | 27 |
| 2.9 pav. Pelenų lydumą nustatančio įrenginio kompiuterinė nuotrauka | 27 |
| 2.10 pav. Granuliatoriaus ampermetras ir voltmetras | 30 |
| 3.1 pav. Drėgmės kiekis medienos granulėse, naudojant įvairius priedus santykiu 1% ir 2% | 31 |
| 3.2 pav. Įvairių priedų rišamųjų savybių dinamika | 32 |
| 3.3 pav. Medienos granulių mechaninio patvarumo priklausomybė nuo drėgmės kiekio | 33 |
| 3.4 pav. piltinio ir tūrinio tankio rezultatai | 34 |
| 3.5 pav. Bendrasis atitinkamų rišamųjų medžiagų ir medžio granulių šilumingumas | 35 |
| 3.6 pav. Anglies ir vandenilio kiekis tiriamose medienos granulėse | 36 |
| 3.7 pav. Azoto, chloro ir sieros kiekis tiriamose medienos granulėse | 36 |
| 3.8 pav. Pelenų kiekis tiriamose granulėse | 37 |
| 3.9 pav. Pelenų lydimosi temperatūra tiriamose granulėse | 38 |
| 3.10 pav. Priedų poveikis energijos suvartojimui | 39 |

IŽANGA

Darbo aktualumas. Medžio granulės paplito kaip labai sėkmingas atsinaujinančio kuro šaltinis energijos gavybai. Taip įvyko dėl daugybės jų naudingų savybių: didelio tankio, kaloringumo, mažos drėgmės, transportavimo bei saugojimo patogumų.

LITBIOMA duomenimis pagal biomasės kiekį, tenkantį vienam gyventojui, Lietuva užima antrąją vietą ES, o pagal prognozuojamą 2020 m. biomasės kiekį tinkamą gaminti medienos granules – pirmąją vietą ES (1.1 pav.) [1]. Taigi iš visų atsinaujinančių energijos išteklių biomasės ištekliai dėl savo apimčių ir stabilių savybių Lietuvai yra vieni iš svarbiausių [2].



1.1 pav. Prognozuojamas biokuro gamybos kiekis Europos Sąjungos šalyse 2020 m., tonų/vienam gyventojui

Nenutrūkstamam kuro tiekimui užtikrinti ir vartotojo pasitikėjimui biokuro produktais išsaugoti, granuliu pramonei reikia platesnio žaliavų pasirinkimo ir mažesnės priklausomybės nuo lentpjūvių kamieninės medienos šalutinių produktų. Nedidelio masto granuliu infrastruktūros reikalingos, siekiant sumažinti mažo tankio transportavimą iš atokių vietovių į centralizuotą vartojimo rinką. Norint plėtoti smulkiąją pramonę, turi būti atlikti tyrimai, kurie suteiktų informacijos, kaip gaminti griežtus kokybės kriterijus atitinkančias granules, todėl reikia išsamių žinių apie rišamąsias medžiagas, kurios leistų gaminti aukštos kokybės granules.

Darbo tikslas – spygliuočio medienos pjuvenų ir įvairių priedų poveikio medžio granuliu kokybei, medienos granuliu fizikinėms mechaninėms ir šiluminėms savybėms

tyrimas bandomojo masto granulių įranga. Nustatyti šio biokuro tinkamumą ir skatinti ekologiškos ir ekonomiškos medžio granulių gamybos vystymąsi atsižvelgiant į dabartinę Europos Sąjungos energijos strategiją.

Darbo uždaviniai. Remiantis Lietuvos Energetikos Instituto, šiluminių įrenginių tyrimo ir bandymų laboratorijos metodika, kuri yra parengta pagal Lietuvos Standartizacijos Departamento Standartus, nustatomi ir įvertinami šie parametrai:

- įvairių priedų poveikis medienos granulių fizikinėms savybėms;
- įvairių priedų poveikis medienos granulių šiluminėms savybėms;
- įvairių priedų poveikis įrenginių darbui;
- palyginamas parinktų priedų adekvatumas;

Tyrimo metodai. Magistrinio darbo tyrimai paremti eksperimentiniais, statistiniais metodais. Šiame darbe panaudoti akredituotos tyrimų laboratorijos “LABTARNA” 2010-2014 metais gauti tyrimų protokolai.

Tyrimams atlikti pasirinktos medienos granulės su įvairiais priedais:

- Švari granulė – naudojama kaip etalonas (be priedų);
- Lignosulfonatas (1% ir 2% santykis);
- Motorinė alyva - atidirbta (1% ir 2% santykis);
- Krakmolos (1% ir 2% santykis);
- Dolomitas (1% ir 2% santykis);

Eksperimentinės medienos granulės buvo pagamintos UAB “Gvijus” naujai pastatytoje granulių gamybos linijoje. Tiriamų granulių žaliava – spygliuočių medienos pjuvenos, išdžiovintos iki 10-12 % drėgmės. Granuliavimo presas OGM, kurio našumas apie 1 t/val., elektros pavarų bendras galingumas 98 kW.

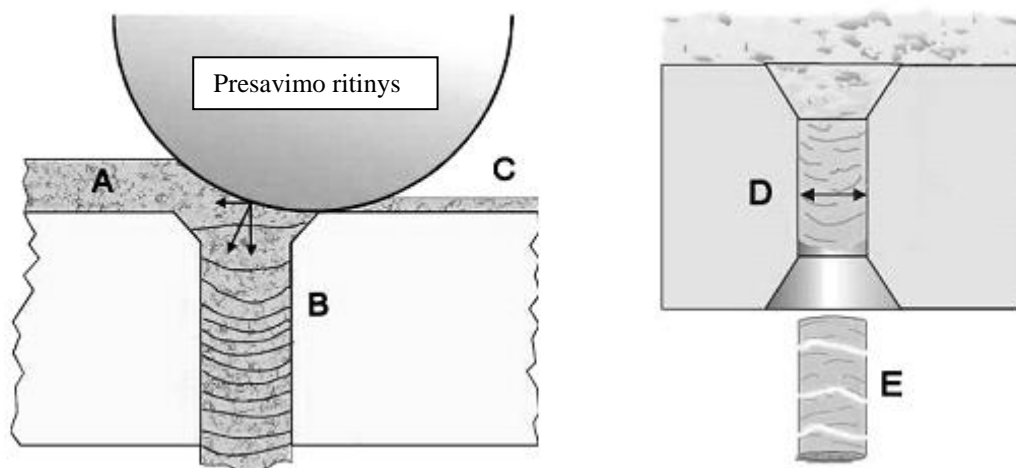
Tiriamąojo darbo naujumas. Išanalizavus 9 skirtingus medienos granulių mėginių rezultatus, nustatytas lietuviškos spygliuočio medienos pjuvenų ir įvairių priedų skirtingomis proporcijomis tinkamumas gamyboje.

Praktinis pritaikymas. Šio darbo rezultatai gali būti panaudoti gerinant fizikines ir šilumines medienos granulių charakteristikas, kurios neatitinka Europos Sąjungos standartų keliamų normų bei skatinanti ekonomiškesnių granulių gamybą.

1. SITUACIJOS APŽVALGA

1.1. Medžio granulės

Medžio granulės yra trumpi cilindriniai gaminiai (įprastai 6 – 10 mm diametro ir 10 – 30 mm ilgio), kurie yra mechaniškai sukuriami, suspaudžiant nesuformuotą medžiagą, iš pradžių praėjusią pro smulkinimo stakles, kad būtų pasiektas vienodas dalelių dydis. Masė yra siunčiama į presą, kuriame yra spaudžiama per antgalį, turintį reikiamo dydžio skylės. Dažniausiai Šiaurės Europos šalyse granuliuo diametras siekia 8 mm, Centrinėje Europoje – 6 mm. Aukštas preso slėgis ir trintis smarkiai sukelia medžio temperatūrą, šiek tiek plastifikuoja ligniną temperatūros ruože tarp 100°C ir 130°C ir formuoja natūralius „klijus“, kurie sulauko granulę kartu, kai ji atvėsta [8].



1.2 pav. Granuliavimo proceso schema. A- žaliava; B – matrica; C – likusi žaliava; D – matricos skylės diametras (6 – 8 mm); E – medienos granulė.

Pradinės žaliavos, naudojamos granuliuo gamyboje yra pjuvenos ir pjovimo drožlės. Dažniausiai granuliuo gamyboje naudojama žaliava yra kamieno mediena. Atsižvelgiant į didelius medžio liekanų kiekius pasaulyje ir į aukštą žaliavinės naftos kainas, visuotinis suinteresuotumas granuliuo technologijų kūrime didėja. Mediena paremtos energijos gamyba per pastaruosius metus išaugo. Įgyvendinama Europos Sąjungos strategija, kurios metu norima ženkliai padidinti atsinaujinančios energijos naudojimą. Buvo paskaičiuota, kad Lietuvoje, atliekant miškų ūkių veiklą, per metus yra nepanaudojama iki 3 – 6,3 milijonų tonų biomasės [2]. Ši biomasės žaliava gali būti panaudota, granuliuojant ją tiek stambiose gamyklose, tiek decentralizuotoje nedidelio masto gamyboje. Šiuo metu pramoninio masto granuliuo gamyklų skaičius Lietuvoje yra apie 20. Granuliuo gamyba pradėta 1994 metais,

bendra metinė produkcija siekė maždaug 5000 tonų, o 2013 metais ji jau buvo apie 879000 tonų. Tai rodo staigų granulių gamybos vystymąsi. Ateities siekis yra panaudoti mažesnės vertės ir/ar drėgną biomasę, kad praplėsti medžio granulių žaliavų pagrindą. Žaliavos panaudojimas reikalauja išankstinio apdorojimo, tokio, kaip džiovinimas, kuris didina energijos sunaudojimą, didina ir kainą.

Granulių tipai gali būti skirtingi, priklausomai nuo naudotos medienos (spygliuočiai, lapuočiai), panaudoto žievės kiekio, kuris kartais gali būti nustatytas pagal granulių spalvą. Tamsios granulės neretai laikomos prastomis, nes dažnai yra pagamintos iš žaliavų, turinčių daug žievės. Medienos žievė yra veikiamą supančios aplinkos. Jos struktūra – korėta, todėl žievė lengvai sugauna ne tik aplinkoje esančius chemikalus, bet ir kietųjų medžiagų daleles. Remiantis tuo, galima manyti, kad tamsios granulės turi daugiau nepageidaujamų sudedamųjų dalių, kurios pakenkia jų kokybei (padidina pelenų kiekį).

Medienos granulių kokybę lemia keletas pagrindinių parametru, įskaitant drėgmės kiekį, kaloringumą, smulkumą, mechaninį patvarumą, dalelių tankį, peleningumą ir pelenų lydymosi temperatūrą. Namų ūkio vartotojams aukštos kokybės medienos granulių charakteristikos turėtų atitikti EN 14961-2 Europos Sąjungos standartus (žr. 1.1 lent.) [4].

1.1. lentelė. Svarbiausių granulių parametru ribinės vertės.

| Savybė | Vienetas | ENplus-A1 | ENplus-A2 | EN-B | Testavimo standartas |
|---------------------------------|-------------------|------------------|-----------|-----------|--------------------------|
| Diametras | mm | 6 arba 8 | | | LST EN 16127:2012 |
| Ilgis | mm | 3,15 < L < 40 3) | | | LST EN 16127:2012 |
| Drėgnumas | w-% 1) | < 10 | | | LST EN 14774-1:2010 |
| Pelenų kiekis | w-% 2) | < 0,7 | < 1,5 | < 3,0 | LST EN 14775:2010 |
| Mechaninis patvarumas | w-% 1) | > 97,5 4) | | > 96,5 4) | LST EN 15210-1:2010 |
| Smulkiosios dalelės (< 3,15 mm) | w-% 1) | < 1 | | | LST EN 15210-1:2010 |
| Grynasis kaloringumas | MJ/kg 1) | 16,5<Q<19 | 16,3<Q<19 | 16,0<Q<19 | LST EN 14918:2010 |
| Tūrinis tankis | kg/m ³ | > 600 | | | LST EN 15103:2010 |
| Azoto kiekis | w-% 2) | < 0,3 | < 0,5 | < 1,0 | LST EN 15104:2011 |
| Sieros kiekis | w-% 2) | < 0,03 | | < 0,04 | LST EN 15289:2011 |
| Chloro kiekis | w-% 2) | < 0,02 | | < 0,03 | LST EN 15289:2011 |
| Pelenų lydymosi elgesys 4) | °C | > 1200 | > 1100 | | LST CEN/TS EN 15370:2007 |

1) Kaip gauta 2) Sausos medžiagos 3) Maksimumas granulių 1 w-% gali būti ilgesnis negu 40 mm, ne granulių leidžiama > 45 mm 4) Deformacijos temperatūra, mėginio paruošimas 815 °C temperatūroje.

Azoto (N) kiekis įprastai neviršija 1%, o sieros (S) – 0,05% sausosios masės. Kure esantis sieros kiekis yra svarbiausias emisijos požiūriu. Dėl didelės sieros koncentracijos gali kilti korozijos pavojus degimo produktų išleidimo kanaluose ir dūmtraukyje. Chloras taip pat gali sukelti šilumokaičio paviršių koroziją, tad chloras kaip ir siera biokure – nepageidaujami [6].

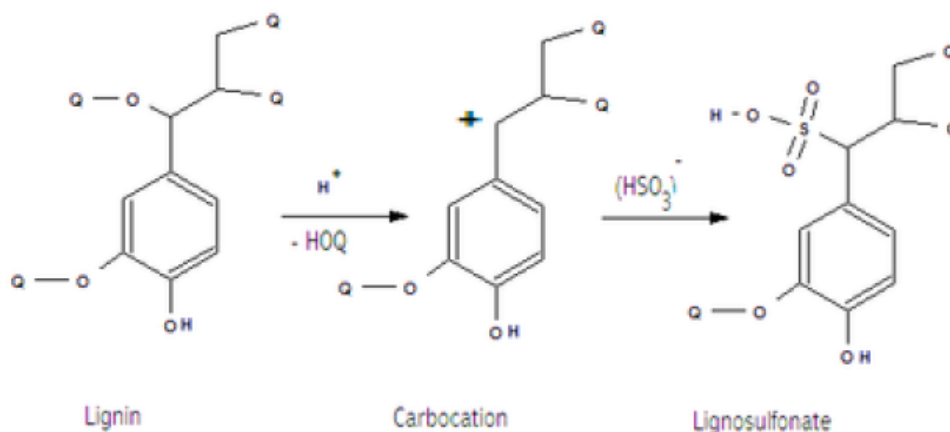
1.2. Priedų apžvalga

Siekiant pagerinti granulių kokybę, gamyboje dažnai naudojami komerciniai bei pramoniniai šalutiniai produktai, kaip rišamosios medžiagos. Be to, atsižvelgiant į gamybos pelningumą ir darbo saugos problemas (medžio dulkių poveikis, gaisro bei sprogimo pavojus), yra praktiška naudoti rišamąsias medžiagas. Buvo pastebėta, kad granulės saugojimo metu gali pradėti irti, formuodamos didelius žmogaus sveikatai pavojingus dujų (anglies monoksido bei heksanalio) kiekius. Dažniausiai taip nutinka su granulėmis, pagamintomis iš spygliuočių medienos [3]. Dalinis šio tyrimo tikslas – surasti pačias ekologiškiausias ir ekonomiškiausias rišamąsias medžiagas bei padidinti granulių produktų konkurencingumą, kaip alternatyvą energijos gamyboje. Dėl šios priežasties, yra tiriamos įvairios lokaliai pritaikytos rišamosios medžiagos, kaip tam tikri pramoniniai šalutiniai produktai ir liekanos, ypač atliekos, kurių sudėtyje yra krakmolo [5].

Europos granulių taryba gali uždrausti naudoti tam tikrą priedą, jeigu jis kelia problemas šildymo įrenginių veikime arba riziką sveikatai bei aplinkai. Tokiu atveju, naujoviškų priedų įdiegimo tikslais, naują priedą norinti naudoti kompanija privalo įrodyti Europos granulių tarybai, kad priedas yra naudingas ir nekenksmingas [4].

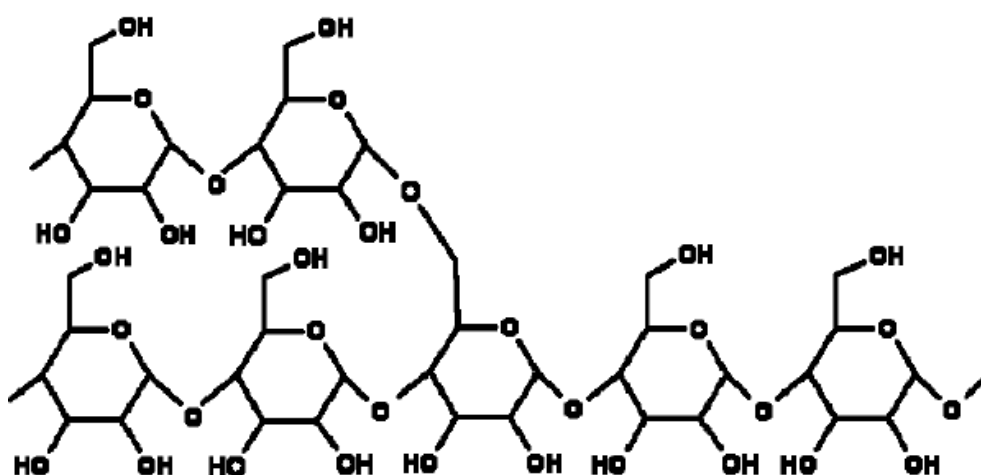
Lignosulfonatai arba sulfoninti ligninai – vandenyje tirpūs anijoniniai polielektrolito polimerai. Jie yra medienos plaušienos gamybos šalutiniai produktai [8]. Dažniausiai lignino pašalinimas sulfito plaušiniame apima rūgštinį eterio ryšių, jungiančių daugybę lignino sudedamųjų dalių, skilimą.

Pirminė eterio skaldymo vieta yra propilo (linijinė trijų anglies) šoninės grandinės α -anglis (anglies atomas, prisirišęs prie aromatinio žiedo). Tolimesnės diagramos nevaizduoja struktūros detalai, nes ligninas ir jo dariniai yra sudėtingi mišiniai. Pagrindinis tikslas – suteikti bendrą supratimą apie lignosulfonatų struktūrą (1.2 pav). Grupės, pažymėtos „Q“, gali būti įvairios grupės, randamos lignino struktūroje [8]. Lignosulfonatai naudojami gyvūnų pašarams ir yra laikoma labiausiai veiksminga bei populiariausia rišamąja medžiaga, naudojama medienos granulių gamyboje. Paprastai lignosulfonato privaloma naudoti nuo 1% iki 3%.

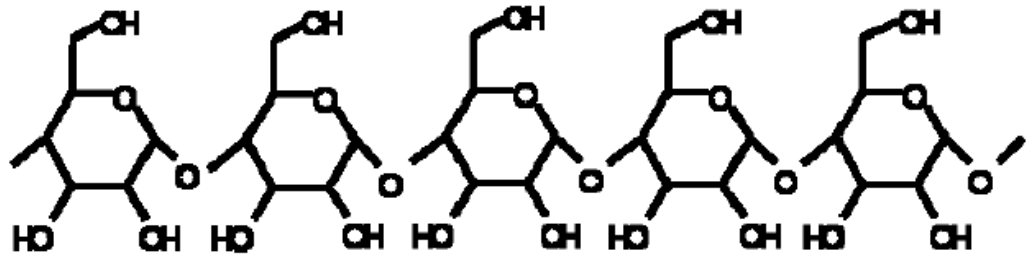


1.3 pav. Lignosulfonato struktūra

Krakkolas yra karbohidratas, kurį sudaro daugybė gliukozės vienetų, sujungtų glikozidinėmis jungtimis. Šis polisacharidas yra gaminamas visuose žaliuosiuose augaluose energijos kaupimui. Jis yra ir maisto produktuose, tokiuose, kaip bulvės, kviečiai, kukurūzai, ryžiai ir manijokai. Grynas krakkolas yra baltos spalvos, beskoniai ir bekvapiai milteliai, kurie netirpsta šaltame vandenyje ir alkoholyje. Krakkolą sudaro dviejų tipų molekulės: linijinė, šakotasis amilopektinas (1.3 pav.) ir spiralinė amilozė (1.4 pav.). Priklausomai nuo augalo, krakkolą įprastai sudaro 20 – 25% amilozės ir 75 – 80% amilopektino. Bulvėse amilozės yra 25%, o amilopektino – 75%. Ištirpinus krakkolą šiltame vandenyje, jis gali būti naudojamas, kaip tirštinanti, kietinanti ar klijuojanti medžiaga. Krakkolo pasiskirstymas turi įtakos granuliuojamumui ir trinčiam [8].



1.4 pav. Amilopektino struktūra



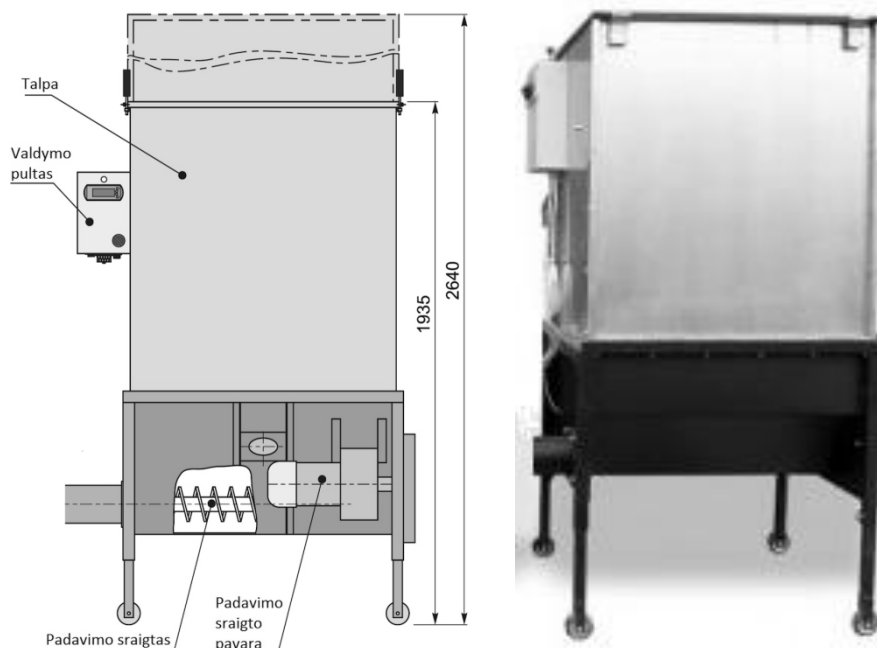
1.5 pav. Amilozės struktūra

Dolomitas – karbonatų klasės mineralas, kalcio magnio karbonatas $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Prie rišančiųjų medžiagų priskiriami smulkiai malti milteliai, kuriuose yra magnio oksido. Kietėja užmaišytas vandeniniais tirpalais.

Motorinė alyva – dedami geresniam tepimui granuliavimo procese. Medžiagos paprastai pridedama tik prieš granuliavimo procesą į granuliavimo įrenginį arba į nenutrūkstamos žaliavos maišytuvą.

2. ĮVAIRIŲ PRIEDŲ ĮTAKOS MEDIENOS GRANULIŲ FIZIKINĖMS IR ŠILUMINĖMS SAVYBĖMS TYRIMAS

Kuriant priedų paskirstymo mechanizmą buvo panaudota granulinio katilo KALVIS 3-50DS granulių talpykla su padavimo mechanizmu (2.1 pav.) ir jo valdymo pultu.



2.1 pav. Kalvis 3-50DS granulių talpykla su valdymo pultu

Mechanizmas buvo pastatytas prie konvejerio, kuriuo judėjo susmulkinta žaliava (pjuvenos). Žinant granuliatoriaus pajėgumus (1 t/h), buvo parinktos programos, priedų santykiams 1% (10 kg/h) ir 2% (20 kg/h). Vėliau bendra masė dar kartą permaišyta, kad geriau pasiskirstytų priedai maišytuve, esančiame virš granuliatoriaus.

Motorinei alyvai lašinti buvo pritvirtinta 50 litrų talpa (su kraneliu) virš granuliatoriaus ir nustatytas 11 ir 22 litrų per valandą (~10 ir ~20 kg/h) debitas. Kitaip nei sausieji priedai, alyva lašinama tiesiai į granuliavimo mechanizmą.

Žaliava, naudota eksperimentuose, buvo nužievintos pušies ir eglės mišinys, pjuvenos ir drožlės, gautos iš UAB “Bageta” medžio apdirbimo gamyklos. Medžiaga buvo brandinama mažiausiai 3 mėnesius iki patenkant į granulių gamybos procesą. Prieš granuliavimą, medžiaga plaktukiniu malūnu susmulkinta per 5 mm akučių sietą.

Po granuliavimo proceso surinkti mėginiai buvo ištirti, o visi kuro parametrų skaičiavimai atlikti vadovaujantis Lietuvos energetikos instituto, šiluminių įrengimų tyrimo ir bandymų laboratorijos parengta metodika pagal LST EN [16-37] standartus.

2.1. Tiriamųjų granulių mėginiai

Tyrimams buvo paimti 9 skirtingi medienos granulių mėginiai: švarios granulės (be priedų), su lignosulfonato, motorinės alyvos, krakmolo, dolomito priedais (santykiai 1% ir 2%).

Bendrai imant, paimta po 5 kg mėginių nuo judančios medžiagos (po aušintuvu) ilgiui, tūriniam tankiui, patvarumui, drėgmei, kaloringumui, pelenų kiekiui ir kitiems parametrams nustatyti. Visi mėginiai buvo sudėti į sandarius plastikinius indus (2.2 pav) ir sužymėti tolimesniems tyrimams. Mėginių paėmimas atitinka LST EN 14778:2011, bet pakanka ir supaprastintos procedūros.



2.2 pav. Mėginiams naudojami indai

2.2. Medienos granulių fizinių savybių priklausomybės nuo įvairių priedų nustatymas

Šiame tyrime fizinės savybės įvertinamos šiomis charakteristikomis: 1) drėgmės kiekiu, 2) smulkių dalelių kiekiu ir mechaniniu patvarumu, 3) piltiniu ir tūriniu tankiu.

2.2.1. Visuminės ir bendrosios drėgmės kiekio nustatymas

Tuščia, švari džiovavimo talpykla pasverama 0,1 g tikslumu. Iš plastikinio indo ant džiovavimo talpyklos supilamas mėginys, kurio masė ne mažesnė kaip 300 g. Džiovavimo talpykla su mėginiu pasverama ir dedama į džiovavimo spintą (2.3 pav.), kurioje kaitinama $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ temperatūroje iki pastoviosios masės. Masė nustatoma per 15 sekundžių po mėginio išėmimo (sveriamas karštas), tada procentinis drėgmės kiekis apskaičiuojamas pagal mėginio nuodžiūvį.

Visuminės drėgmės nustatymas atliekamas pagal LST EN 14774-2:2010.



2.3 pav. Reguliuojam džiovavimo spinta SNOL

Supaprastintu metodu visuminės drėgmės kiekis M_{ar} biokure yra apskaičiuojamas pagal lygtį (2.1) 0,1% tikslumu. Gauti rezultatai, išreikšti procentais, pateikti 2.1 lentelėje:

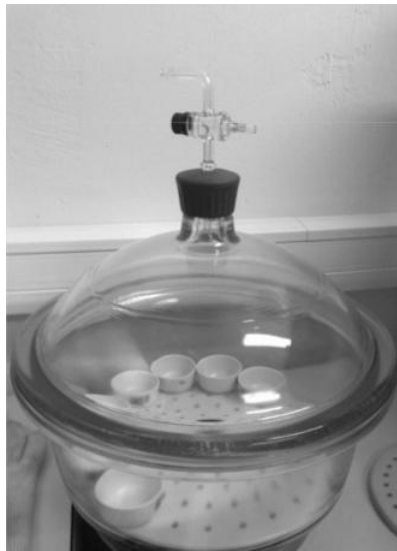
$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3) + m_4}{(m_2 - m_1) + m_4} \cdot 100. \quad (2.1)$$

čia M_{ar} – visuminės drėgmės dalis kaip gauta, %; m_1 – tuščios džiovinamos talpyklos masė, g; m_2 – džiovinamos talpyklos ir ėminio masė prieš džiovinimą, g; m_3 – džiovinamos talpyklos ir ėminio masė po džiovinimo, g; m_4 – pakuotės drėgmės masė, g.

Bendrosios analizės ėminio drėgmė nustatoma panašiu būdu. Tuščia svėrimo lėkštelė su dangčiu džiovinama (105 ± 2) °C temperatūroje iki pastoviosios masės ir atvėsinama iki kambario temperatūros eksikatoriuje (2.4 pav.). Svėrimo lėkštelė su dangčiu pasveriami 0,1 mg tikslumu.

Ne mažiau kaip 1 g analizės ėminio vienodo storio sluoksniu įberiami į svėrimo lėkštelę ir ji su ėminiu bei dangčiu pasveriami. Neuždengta lėkštelė su ėminiu džiovinama kartu su dangčiu (105 ± 2) °C temperatūroje iki pastoviosios masės. Paprastai džiovinimo trukmė yra nuo 2 h iki 3 h. Lėkštelė uždengiama dangčiu jai dar esant džiovinimo spintoje. Lėkštelė su turiniu pernešama į eksikatorių. Lėkštelė paliekama atvėsti iki kambario temperatūros. Lėkštelė su ėminiu ir jos dangtis pasveriami 0,1 mg tikslumu.

Bendrosios drėgmės nustatymas atliekamas pagal LST EN 14774-3:2010.



2.4 pav. Eksikatorius

Kiekvienas analizuojamas bendrosios drėgmės kiekis M_{ad} , koks gautas ėminyje, yra apskaičiuojamas pagal lygtį (2.2) 0,1% tikslumu. Gauti rezultatai, išreikšti procentais, pateikti 2.1 lentelėje:

$$M_{ad} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100. \quad (2.2)$$

čia M_{ad} – gautoji bendrosios drėgmės dalis, %; m_1 – tuščios lėkštės ir jos dangčio masė, g; m_2 – lėkštės, jos dangčio ir ėminio masė prieš džiovinimą, g; m_3 – lėkštės, jos dangčio ir ėminio masė po džiovinimo, g.

2.1 lentelė. Tiriamų granulių visuminės ir bendrosios drėgmės kiekis [%]

| Priedas | Visuminis drėgmės kiekis, % | Bendrasis drėgmės kiekis, % |
|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Gryna mediena | 7,3 | 7,1 |
| Lignosulfonatas 1% | 6,9 | 6,5 |
| Lignosulfonatas 2% | 6,5 | 6,1 |
| Motorinė alyva 1% | 7,4 | 7,2 |
| Motorinė alyva 2% | 7,6 | 7,4 |
| Krakmolas 1% | 5,8 | 5,7 |
| Krakmolas 2% | 5,3 | 5,1 |
| Dolomitas 1% | 6,8 | 6,6 |
| Dolomitas 2% | 6,7 | 6,5 |

Alternatyviai, galima naudoti greitesnius metodus, pvz., infraraudonųjų spindulių svarstyklės arba drėgmės matuoklį. Tokiu atveju, reikia laikytis įrangos gamintojų nurodytų procedūrų, įskaitant mėginio paruošimo reikalavimus.

2.2.2. Smulkiųjų dalelių kiekio nustatymas

Mėginys rankiniu būdu sijojamas 3,15 mm rėčiu, pagal ISO 3310-2. Reikia pasirūpinti, kad visos smulkios dalelės būtų atskirtos ir dėl mechaninės apkrovos nesusidarytų naujų smulkiųjų dalelių. Smulkiųjų dalelių kiekio nustatymas atitinka LST EN 15210-1:2010.

Išsijotos dalelės pasveriamos. Smulkiųjų dalelių dalis apskaičiuojama taip:

$$F = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100. \quad (2.3)$$

čia: F – Smulkiųjų dalelių dalis, %; m_E – mėginio svoris prieš sijojimą, g; m_A – išsijotų dalelių svoris, g.

Kiekvienas mėginys buvo tiriamas tris kartus, o rezultatas pateikiamas kaip trijų matavimų vidurkis 2.2 lentelėje.

2.2 lentelė. Tiriamų granulių nuobirų kiekis [%]

| Priedas | 1 bandymas | 2 bandymas | 3 bandymas | Vidurkis |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|
| Gryna mediena | 1,3 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Lignosulfonatas 1% | 1 | 1 | 0,8 | 0,9 |
| Lignosulfonatas 2% | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 |
| Motorinė alyva 1% | 0,9 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Motorinė alyva 2% | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| Kraskmolas 1% | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,4 |
| Kraskmolas 2% | 1,6 | 1,5 | 1,3 | 1,5 |
| Dolomitas 1% | 1,1 | 1,1 | 1 | 1,1 |
| Dolomitas 2% | 1,1 | 0,9 | 1 | 1 |

Yra įmanoma pagaminti standartą atitinkančios kokybės granules, tačiau tam reikalingas matricos kanalo ilgio optimizavimas. Siekiant išsaugoti rezultatų palyginamumą, šiame tyrime matricos kanalo ilgis buvo pastovus.

2.2.3. Mechaninio patvarumo nustatymas

Pirmiausia, iš mėginio yra pašalinamos smulkiosios dalelės, jas švelniai sijoiant per 3.15 mm sietą pagal ISO 3310-2. Tyrimams naudojamas Ligno-Tester'is (2.5 pav.). 100g ± 0,5g granulės pasveriamos ir 60 sekundžių apdirbamos Ligno-tester 70 mbar. Laikomasi įrangos gamintojų nurodytų procedūrų. Mechaninio patvarumo nustatymas atliekamas pagal LST EN 15210-1:2010.

Likusios medienos granulės pasveriamos. Mechaninis patvarumas nustatomas pagal formulę (2.4):

$$DU = \frac{m_A}{m_E} \cdot 100. \quad (2.4)$$

čia DU – mechaninis patvarumas, %;



2.5 pav. Ligno-tester, specialiai skirtas medienos granuliu gamintojams

Kiekvienas mėginys buvo tiriamas tris kartus, o rezultatas pateikiamas kaip trijų matavimų vidurkiai, suapvalinti iki 0,5% 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Tiriamų granulių mechaninis patvarumas [%]

| Priedas | 1 bandymas | 2 bandymas | 3 bandymas | Vidurkis |
|--------------------|------------|------------|------------|-------------|
| Gryna mediena | 97 | 97 | 97,5 | 97,5 |
| Lignosulfonatas 1% | 98 | 97,5 | 98,5 | 98 |
| Lignosulfonatas 2% | 98,5 | 99 | 98 | 98,5 |
| Motorinė alyva 1% | 99 | 99 | 99 | 99 |
| Motorinė alyva 2% | 99,5 | 100 | 99 | 99,5 |
| Kraskmolos 1% | 93 | 93 | 94,5 | 95,5 |
| Kraskmolos 2% | 87 | 92 | 91 | 94,5 |
| Dolomitas 1% | 99 | 98 | 98,5 | 97,5 |
| Dolomitas 2% | 98 | 98 | 98,5 | 98 |

Alternatyviai, nustatant granulės mechaninį patvarumą, galima granulę gniuždyti gniuždymo stendu arba naudoti testavimo kamerą, kuri sukasi (50 ± 2) apsisukimų per minutę. Po 500 apsisukimų, būgnas ištuštinamas ir grynoji medžiaga vėl sijojama bei pasverinama.

2.2.4. Piltinio ir tūrinio tankio nustatymas

Piltiniam tankiui nustatyti medžio granulės pilamos iš 200 – 300 mm aukščio į matavimo cilindrą, kurio apimtis yra 5 litrai. Buityje naudojami plastikiniai kibirai yra netinkami šiai procedūrai, todėl naudojamas specialus standus nerūdijančio plieno cilindras.

Granulės pilamos tol, kol cilindras užpildomas ir susiformuoja nuosėdų kūgis. Tam, kad medžio granulės susikratytų, cilindras tris kartus iš 150 mm aukščio numetamas ant kieto paviršiaus. Medžio granulių, esančių cilindre, masė nustatoma tada, kai perteklinė medžiaga nuimama ir didelės ertmės užpildomos nubraukiant cilindro viršų tiesiu kampu. Piltinio tankio nustatymas atliekamas pagal LST EN 15103:2010.

Piltinis tankis apskaičiuojamas naudojant formulę (2.5):

$$BD = \frac{(m_2 - m_1)}{V}. \quad (2.5)$$

čia BD – bendras tankis, kg/m^3 ; m_1 – tuščio konteinerio masė, g; m_2 – pilno konteinerio masė, g; V – matavimo cilindro bendrasis tūris, m^3 .

Tūriniam tankiui nustatyti, paimtų granulių galai buvo nušlifuoti stačiu kampu. Ilgiai išmatuoti mikrometru 0,01 mm, o svoris 0,1 g tikslumu. Visų medienos granulių skersmuo 6 mm. Tūrinis tankis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (2.6)$$

čia – tūrinis tankis, kg/m^3 ; m – granulės masė, g; V – granulės tūris, m^3 .

2.4 lentelė. Tiriamų granulių tūrinis ir piltnis tankis [kg/m^3]

| Priedas | Piltinis tankis | Tūrinis tankis |
|--------------------|-----------------|----------------|
| Gryna mediena | 619 | 1020 |
| Lignosulfonatas 1% | 640 | 1140 |
| Lignosulfonatas 2% | 648 | 1180 |
| Motorinė alyva 1% | 630 | 1120 |
| Motorinė alyva 2% | 626 | 1140 |
| Kraskmolas 1% | 614 | 985 |
| Kraskmolas 2% | 602 | 960 |
| Dolomitas 1% | 622 | 1076 |
| Dolomitas 2% | 620 | 1070 |

2.3. Medienos granulių šiluminių savybių priklausomybės nuo įvairių priedų nustatymas

Šiame tyrime šiluminės savybės įvertinamos šiomis charakteristikomis: 1) šilumine verte, energijos tankiu 2) pelenų kiekiu, pelenų lydymosi tašku 3) elementine sudėtimi.

2.3.1. Šiluminės vertės (kaloringumo) nustatymas

Kuro šilumingumu vadinamas šilumos kiekis, išsiskiriantis, visiškai sudegus 1 kg kietojo kuro. Vartojamos dvi šilumingumo sąvokos: viršutinė ir apatinė. Jos skiriasi tik tuo, kad į viršutinį šilumingumą įeina šiluma, kuri išsiskiria kondensuojantis degimo produktuose esančiam vandens garui, o į apatinę šis šilumos kiekis neįeina.

Šiame tyrime buvo nustatytas granulių pavyzdžių bei rišamųjų medžiagų šilumingumas, naudojant kompanijos IKA C4000 kalorimetru (2.6 pav.), kuri turi įsigijusi akredituota tyrimų

laboratorija "Labtarna". Šiluminės vertės ir skaičiavimai atlikti pagal LST EN 14918:2010.



2.6 pav. IKA C4000 neautomatizuotos kalorimetro sudėtinės dalys

Pasverti tiriamųjų granulių pavyzdžiai buvo deginami aukšto slėgio deguonies „bomboje“ nurodytomis sąlygomis. Efektyvioji kalorimetro šiluminė talpa buvo nustatyta kalibracijos eksperimento metu (panašiomis sąlygomis, kaip nurodyta sertifikate). Sudegusio pavyzdžio iškleista šiluma buvo stebima naudojant skaitmeninį termometrą. Šiluminių reikšmių nustatymas buvo atliktas matuojant du kartus. Kalorimetro konstanta C buvo nustatyta, pasitelkiant lygtį:

$$C = \frac{(\Delta H \cdot m + Q)}{\Delta T_1} \quad (2.7)$$

čia ΔH – kalibracijos junginio degimo karštis ($\Delta H = 26,44$ kJ/g); m – kalibracijos junginio masė, g; Q – uždegimo saugiklio degimo karštis (50 J); ΔT_1 – temperatūros pokytis kalibracijos metu, °C.

Nustačius kalorimetro konstantą C , drėgnų pavyzdžių bruto kaloringumo reikšmės $Q_{gr,ad}$, kJ/g suskaičiuotos, naudojant lygtį:

$$Q_{gr,ad} = \frac{(\Delta T_2 \cdot C - Q)}{m_2} \quad (2.8)$$

čia ΔT_2 – temperatūros pokytis, kuris įvyksta, deginant pavyzdį, °C; m_2 – pavyzdžio masė, g.

Bendroji sauso pagrindo šilumingumo vertė, MJ/kg gali būti apskaičiuota, naudojant lygtį:

$$Q_{gr,d} = Q_{gr,ad} \cdot \frac{100}{(100 - M_{ad})} \quad (2.9)$$

čia M_{ad} – analizuoto pavyzdžio drėgmės kiekis.

Grynoji šilumingumo vertė, esant pastoviam biokuro tūriui ir grynoji šilumingumo vertė, esant pastoviam slėgiui yra gaunama, suskaičiuojant bendrąjį kaloringumą, esant pastoviam tūriui, kaip nustatyta iš analizuojamo pavyzdžio. Grynojo šilumingumo skaičiavimas, esant pastoviam tūriui, reikalauja duomenų apie drėgmės bei vandenilio kiekį tiriamame pavyzdyje. Sauso pagrindo grynas šilumingumas $Q_{net,d}$, MJ/kg gali būti apskaičiuotas, panaudojant $Q_{gr,d}$ reikšmę ir lygtį:

$$Q_{net,d} = Q_{gr,d} - 0,021441 \cdot M. \quad (2.10)$$

čia 0,0244, MJ/kg – latentinis vandens garavimo (prie +25°C) karštis; M – vandenilio kiekis biokure be drėgmės, wt%.

2.5 lentelė. Tiriamų granulių šiluminė vertė [MJ/kg]

| Priedas | Apatinė izochroninė šilumingumo vertė | Viršutinė izochroninė šilumingumo vertė |
|--------------------|--|--|
| Gryna mediena | 17,6 | 19,1 |
| Lignosulfonatas 1% | 17,6 | 19,1 |
| Lignosulfonatas 2% | 17,4 | 19,0 |
| Motorinė alyva 1% | 17,8 | 19,1 |
| Motorinė alyva 2% | 17,8 | 19,2 |
| Krakmolas 1% | 17,6 | 19,0 |
| Krakmolas 2% | 17,5 | 19,1 |
| Dolomitas 1% | 17,4 | 18,9 |
| Dolomitas 2% | 17,3 | 18,8 |

2.3.2. Pelenų kiekio nustatymas

Pelenų kiekio nustatymas atliekamas pagal LST EN 14775:2010. Tyrimams naudojama lėkštelė iš inertinės medžiagos – porceliano, mufelinė krosnelė (2.7 pav.), svarstyklės (pakankamai tikslios – 0,1 mg tikslumas), eksikatorius su džiovikliu.



2.7 pav. Mufelinė krosnelė

Pelenų kiekis nustatomas bendros analizės tiriamam ėminiui. Bendrosios analizės ėminys turi būti gerai sumaišytas prieš svėrimą. Dedama ne mažiau kaip 1 g ėminio ant lėkštelės dugno ir ėminys išsklaidomas dugno paviršiumi vienodo storio sluoksniu. Lėkštelė su ėminiu sveriami 0,1 mg tikslumu ir užrašoma masė.

Lėkštelė dedama į šaltą krosnį. Ėminys krosnyje kaitinamas pagal tokį kaitinimo režimą:

- 1) Krosnies temperatūra nuo 30 min iki 50 min laikotarpiu tolygiai keliama iki 250 °C . Šioje temperatūroje išlaikoma 60 min.
- 2) Krosnies temperatūra toliau tolygiai keliama 30 min laikotarpiu iki (550 ± 10) °C. Šioje temperatūroje laikoma ne trumpiau kaip 120 min. Viso kaitinimo trukmė yra 260 min. arba 4,3 val.
- 3) Lėkštelė su turiniu išimama iš krosnies ir dedama ant karščiui atsparios plokštės nuo 5 min iki 10 min, kad atvėstų , tada pernešama į eksikatorį už be džioviklio ir paliekama atvėsti iki aplinkos temperatūros.
- 4) Kai tik pasiekama aplinkos temperatūra, pelenai su lėkšte sveriami 0,1 mg tikslumu ir užrašoma masė.

Pelenų kiekis sausajai būsenai A_d , išreikštas sausosios būsenos medžiagos masė procentais, turi būti apskaičiuojamas taikant formulę:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}}. \quad (2.11)$$

čia m_1 – tuščios lėkštelės, g; m_2 – lėkštelės ir ėminių, g; m_3 – lėkštelės ir pelenų, g; M_{ad} – nustatymui naudoto tiriamojo ėminio drėgmės kiekis, %.

2.6 lentelė. Tiriamų granulių pelenų kiekis [%]

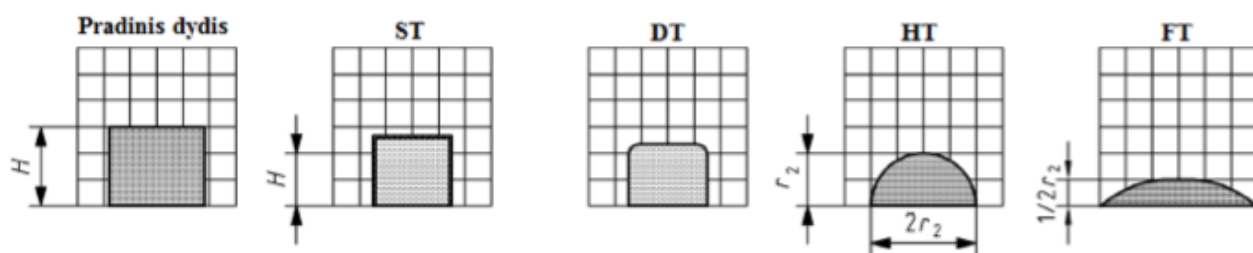
| Priedas | Pelenų kiekis |
|--------------------|---------------|
| Gryna mediena | 0,4 |
| Lignosulfonatas 1% | 0,5 |
| Lignosulfonatas 2% | 0,6 |
| Motorinė alyva 1% | 0,5 |
| Motorinė alyva 2% | 0,5 |
| Kraskmolas 1% | 0,5 |
| Kraskmolas 2% | 0,6 |
| Dolomitas 1% | 0,6 |
| Dolomitas 2% | 0,7 |

2.3.3. Pelenų lydymosi (šlakavimosi) temperatūros nustatymas

Pelenų lydymosi temperatūros nustatymas atliekamas pagal LST CEN/TS 15404. Biomasės mėginiai sudedami į metalinius padėklus ir sudeginami laboratorinėje elektros krosnyje Nabertherm LVT/9/11/P330.

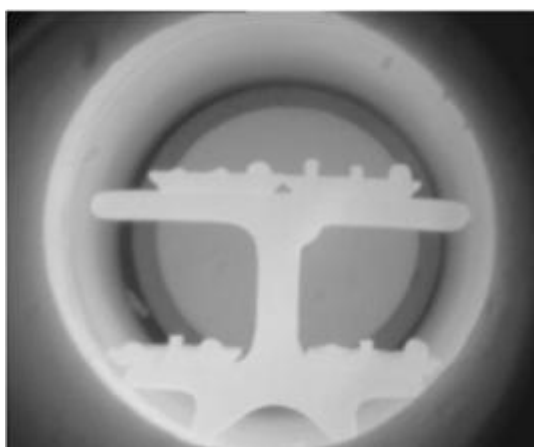
Gauti pelenai yra suspaudžiami rankiniu presu į mažus ritinius, o šie įdedami į specialų pelenų lydumui tirti skirtą įrenginį Carbolite Cafdig. Įrenginys uždaromas, paduodamas deguonis iš baliono ir keliama temperatūra.

Visą tą laiką, kol pelenai galutinai išsilydo, yra daromos nuotraukos, fiksuojama momentinė temperatūra krosnyje. Yra skiriamos kelios pelenų lydymosi fazės (2.8 pav.): ST – pelenų ritinio susitraukimo temperatūra (kai ritinys pasiekia didžiausią susitraukimo laipsnį), DT – pradinis deformacijos taškas (pelenų ritinio kampai už apvalėja), HT – pusrutulio susidarymo taškas, ritinys tampa kupolo formos (aukštis lygus pusei diametro) ir FT – išsiliejimo taškas, skysti pelenai pasklinda paviršiuje (aukštis 2 kartus mažesnis lyginant su HT) [9].



2.8 pav. Pelenų lydumo fazės

Ekране vaizdiniu būdu stebimos nuotraukos (2.9 pav.). Kai pastebima atitinkama pelenų ritinio lydymosi fazė, žiūrima, kokia tuo metu temperatūra buvo krosnyje.



2.9 pav. Pelenų lydumą nustatančio įrenginio kompiuterinė nuotrauka

2.7 lentelė. Tiriamų granulinių nustatyta pelenų lydymosi temperatūra °C

| Priedas | Nustatyta lydymosi temperatūra |
|--------------------|--------------------------------|
| Švari granulė | 1300 |
| Lignosulfonatas 1% | 1350 |
| Lignosulfonatas 2% | 1400 |
| Motorinė alyva 1% | 1200 |
| Motorinė alyva 2% | 1200 |
| Kraskmolas 1% | 1350 |
| Kraskmolas 2% | 1350 |
| Dolomitas 1% | 1450 |
| Dolomitas 2% | 1500 |

2.3.4. Anglies, vandenilio, azoto, sieros nustatymas

Mėginių tyrimai atliekami panaudojant automatizuotą elementų analizatorių MARS5. Granulių mėginiai sudėti į atskiras sekcijas, priklausomai nuo to, kiek ir kokius elementus norima iširti. Nustatant anglies, vandenilio, azoto ir sieros kiekius kietajame kure analizatoriuje sudeginamas jo mėginys. Po degimo proceso susidaręs dujų mišinys patenka į chromatografinę kolonėlę, kurioje komponentai išskirstomi ir patenka į šiluminio laidumo detektorius. Anglies, vandenilio, azoto, sieros elementų kiekiai nustatomi pagal išskiriamus signalus. Elementų kiekiai sausame kure apskaičiuojami, įtraukiant prieš tai nustatytą bendrąją drėgmę (prie 105 °C). Visuminio anglies, vandenilio ir azoto kiekio nustatymas atliekamas pagal LST EN 15104:2011. Visuminio sieros ir chloro kiekio nustatymas atliekamas pagal LST EN 15289:2011. Visuminio sieros ir chloro kiekio nustatymas atliekamas pagal LST EN 15289:2011.

Prieš įjungiant įrenginį, prie kairiojo reaktoriaus prijungiamas automatinis mėginių dėklas. Atsukami helio ir deguonies balionai, įjungiamas pagrindinių elementų analizatorius MARS bei kompiuteris. Kompiuteryje paleidžiama programa. Pasirenkamas CHNS elementų nustatymo metodas. Naudojantis programa įjungiamas reaktoriaus ir krosnies kaitinimas bei detektorius. Laukiama, kol įrenginys pasieks darbinę temperatūrą. Pasirenkamas aplankas, kuriame bus išsaugoti paskutiniai matavimų duomenys bei metodas.

Pirmasis mėginys – kondicionavimas. Jo metu analizatorius atlieka bandymą būdamas tuščias, todėl į pirmą automatinio mėginių rinktuvo celę niekas nededama. Antrasis mėginys – tuščia tara, trečiasis – aparato kalibravimui naudojamos pamatinės medžiagos.

Po pasiruošimo mėginiai yra analizuojami tokia tvarka:

- pasvertas ir paruoštas mėginys (1-2,5 g) įdedamas į alavinį indelį bei pasveriamas. Mėginio masė įrašoma į lentelę;
- norint tiksliau nustatyti sieros kiekį, įdedama apie 8 mg vanadžio pentoksido;
- alavinis indelis sulankstomas ir suspaudžiamas tokiu būdu, kad iš jo vidaus būtų pašalintas oras. Lankstant vengiama įtrūkimų, įtrūkus – kartojama;
- kiekvienas bandymas su mėginiu atliekamas 2 kartus;
- baigus darbą su įrenginiu, naudojantis programa išjungiamas reaktoriaus ir krosnelės kaitinimas bei detektorius, prisukami dujų balionai. Kai reaktorių temperatūra nukrenta žemiau 120 °C, galima išjungti programą, analizatorių ir užsukti dujų balionus.

Sauso kuro visuminiai anglies, vandenilio, azoto, sieros kiekiai apskaičiuojami pagal formules:

$$C_d = C_{ad} \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}}; \quad (2.12)$$

$$H_d = \left(H_{ad} - \frac{M_{ad}}{8.937} \right) \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}}; \quad (2.13)$$

$$N_d = N_{ad} \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}}; \quad (2.17)$$

$$S_d = S_{ad} \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}}. \quad (2.14)$$

$$Cl_d = Cl_{ad} \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}}. \quad (2.15)$$

čia $C_{ad}, H_{ad}, N_{ad}, S_{ad}$ – analizatoriumi nustatyti elementų kiekiai, %; M_{ad} – bendrosios analizės mėginio drėgmė, %.

2.8 lentelė. Tiriamų granulių elementų sudėties kiekis [%]

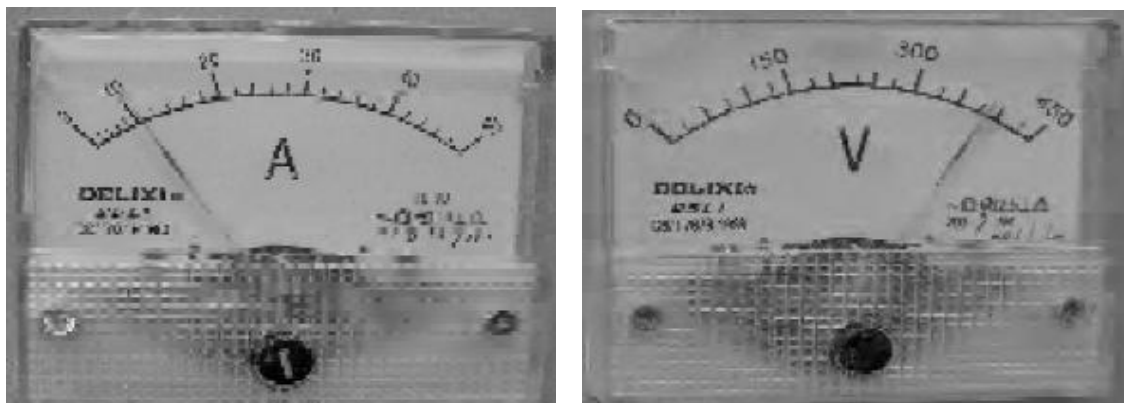
| Priedas | C | H | N | Cl | S |
|--------------------|-------|------|------|-------|-------|
| Gryna mediena | 48,23 | 6,10 | 0,06 | 0,006 | 0,006 |
| Lignosulfonatas 1% | 48,88 | 5,97 | 0,07 | 0,017 | 0,027 |
| Lignosulfonatas 2% | 48,95 | 5,88 | 0,07 | 0,018 | 0,035 |
| Motorinė alyva 1% | 55,42 | 5,62 | 0,09 | 0,008 | 0,007 |
| Motorinė alyva 2% | 57,64 | 5,82 | 0,10 | 0,009 | 0,009 |
| Krakmolos 1% | 48,56 | 6,32 | 0,11 | 0,005 | 0,005 |
| Krakmolos 2% | 48,65 | 6,33 | 0,11 | 0,006 | 0,005 |
| Dolomitas 1% | 49,54 | 5,98 | 0,12 | 0,009 | 0,014 |
| Dolomitas 2% | 49,65 | 6,02 | 0,10 | 0,01 | 0,015 |

2.4. Granuliavimo įrenginio energijos suvartojimo priklausomybės nuo įvairių priedų nustatymas

Tyrimo metu buvo stebimas granulatoriaus apkrovos kitimas nuo įvairių priedų. Medienos granulių rišamieji priedai taip pat turi įtakos energijos suvartojimui.

Srovės darbas grandinės dalyje lygus srovės stiprio, įtampos ir laiko, per kurį atliekamas darbas, sandaugai. Taigi, nustatinėjant elektros srovės darbą bandymu metu, buvo stebėta ampermetro, voltmetro ir laikrodžio parodymai. $A = IUt$ formulė universali: ją taikant

apskaičiuojamas visas elektros srovės darbas nepriklausomai nuo to, kokios rūšies energija virto grandinėje elektros energija – šiluminė, mechaninė ar cheminė.



2.10 pav. Granulatoriaus ampermetras ir voltmetras

2.9 lentelė. Įėjimo galia [kW]

| Priedas | Galia |
|--------------------|-------|
| Gryna mediena | 97,68 |
| Lignosulfonatas 1% | 93,20 |
| Lignosulfonatas 2% | 92,85 |
| Motorinė alyva 1% | 92,70 |
| Motorinė alyva 2% | 91,45 |
| Kraskmolas 1% | 97,50 |
| Kraskmolas 2% | 96,60 |
| Dolomitas 1% | 95,75 |
| Dolomitas 2% | 95,20 |

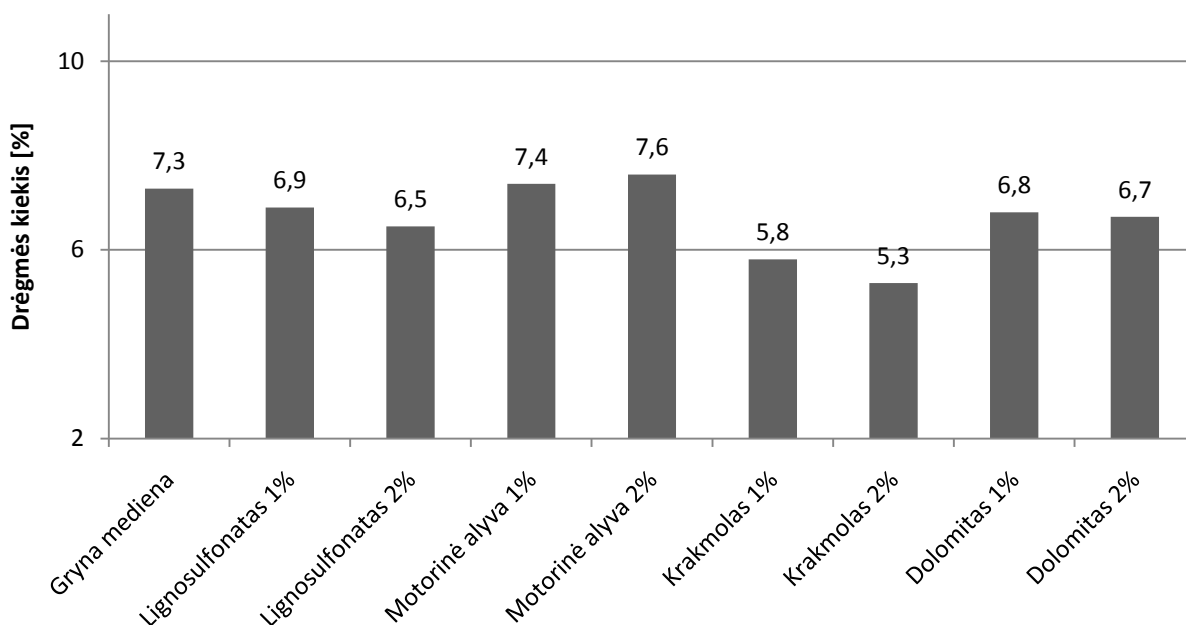
3. REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

3.1. Drėgmės kiekis

Pradinio bandinio masės drėgmės kiekis išreikštas procentais. Jis turi didelę įtaką kitų medienos granulių parametrams, pavyzdžiui, šildymo vertei, degimo veiksmingumui, granulių mechaniniam patvarumui ir tankiui.

Žaliava, naudota tyrimuose, buvo išdžiovinta iki 9,8-10% drėgmės kiekio. Nors įvairūs priedai dėl efektyvumo reikalauja skirtingo drėgmės kiekio žaliavoje [10], tyrimo tikslas buvo nustatyti priedų poveikį medienos granulių drėgnumui.

Pagal ES standartą, medienos granulėse drėgmės kiekis turėtų būti ne didesnis kaip 10% [4].



3.1 pav. Drėgmės kiekis medienos granulėse, naudojant įvairius priedus santykiu 1% ir 2%

Iš rezultatų matyti, kad priedų naudojimas nežymiai sumažina galutinį drėgmės kiekį. Akivaizdu, kad krakmolas turi didesnę poveikį, mažinant galutinį medienos granulių drėgnumą, lyginant su lignosulfonatu ar dolomitmilčiu. Motorinė alyva galutiniam produkte drėgmės kiekį padidino nežymiai, nes pati yra skystos konsistencijos.

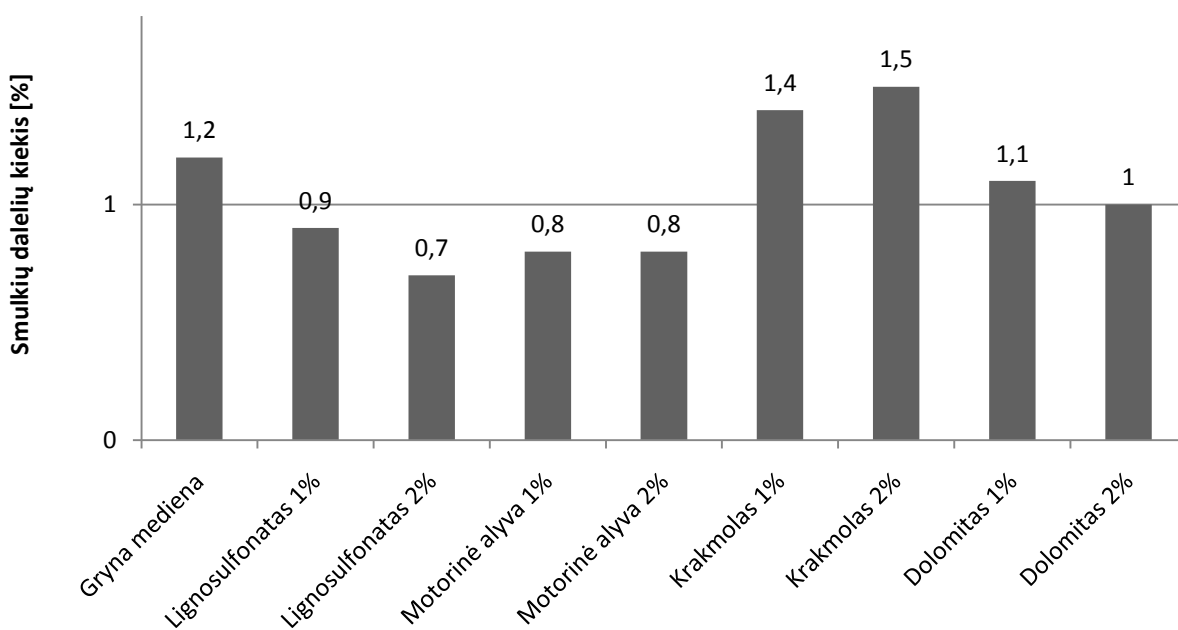
Remiantis [7] šaltiniu, geros kokybės granulių drėgmės kiekis yra nuo 6% iki 10%. Esant didesniai drėgnumui granulė subyrėtų.

3.2. Smulkių dalelių kiekis

Vis didėjant deginimui paduodamo oro srauto greičiui, gali būti pasiekta būseną, kai oras

pakelia kuro sluoksnį ir kuro dalelės pakimba oro sraute. Drėgmė, išsiskyrusios lakiosios medžiagos, pelenai ir smulkios kuro dalelės iš kuro sluoksnio išnešami. Smulkios kuro dalelės ir lakiosios medžiagos dega degimo kameroje virš verdančio sluoksnio. Kai oro srauto greitis išauga daugiau, negu reikia stacionariam verdančiam sluoksniui susidaryti, degančios kuro dalelės išnešamos kartu su oro srautu, o tai gali įtakoti dūmtraukio užsiliepsnojimą [6].

Pagal Europos standartus, smulkių dalelių kiekis turi būti ne mažesnis kaip 1% [4].



3.2 pav. Įvairių priedų rišamųjų savybių dinamika

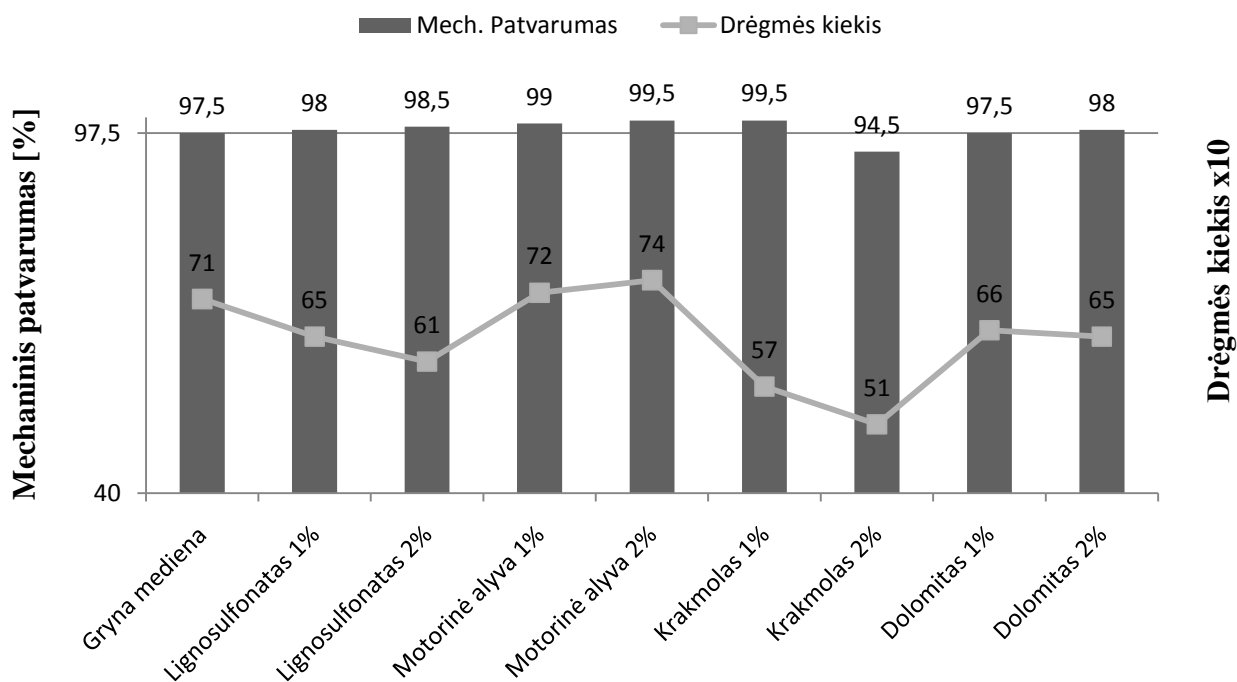
Visi naudoti priedai turi teigiamą įtaką žaliavos rišamosioms savybėms, išskyrus bulvių krakmolą, kuris žymiai sumažina galutinį medienos granulių drėgmės kiekį. Esant mažam drėgmės kiekiui, medienos granulės tampa birios. Krakmolas reikalauja didesnio drėgmės kiekio žaliavoje (12,5-13%) [8], negu buvo naudota eksperimente.

Nuobiros tarp granulių rodo, kad jos po pagaminimo turi būti kokybiškai atsijotos, kitaip jos praranda savo vertę.

3.3. Mechaninis patvarumas

Mechaninis patvarumas yra apibrėžiamas kaip atsparumas dilimui, mechaninis stiprumas gniuždant bei atsparumas smūgiams. Drėgmės kiekis, dalelių tankis ir žaliavų cheminė sudėtis turi įtakos medienos granulių mechaniniam patvarumui.

Pagal Europos standartus, aukštos klasės granulių mechaninis patvarumas turi būti ne mažesnis kaip 97,5% [4].



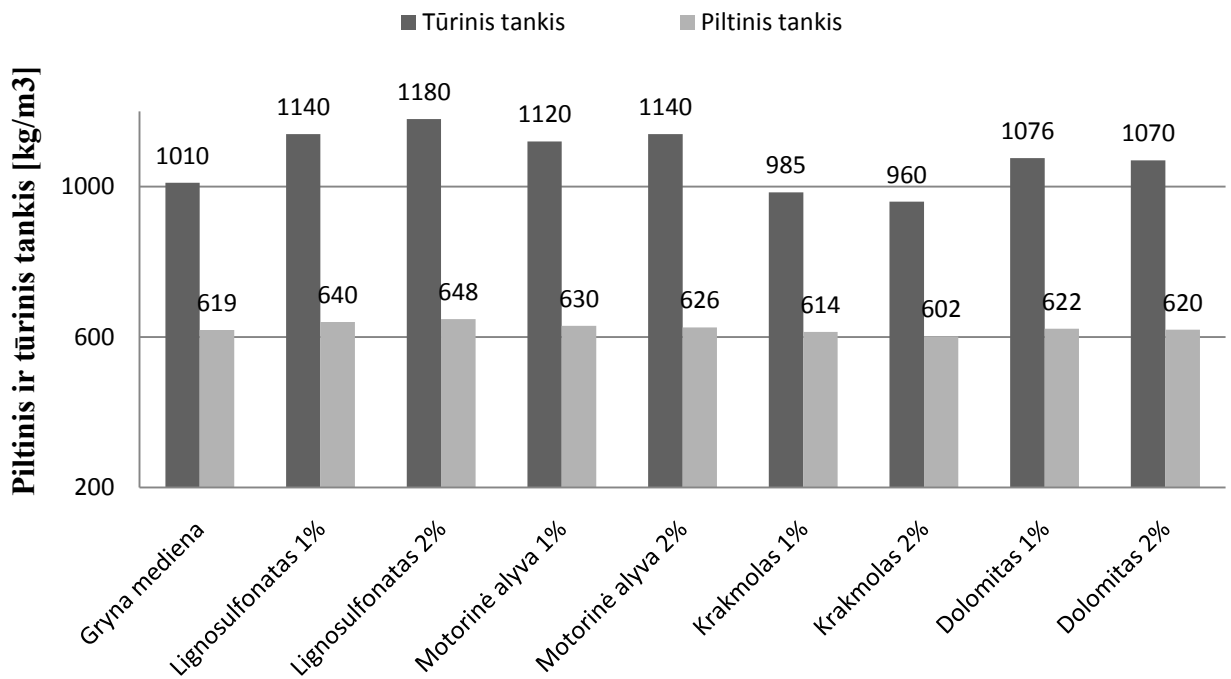
3.3 pav. Medienos granulių mechaninio patvarumo priklausomybė nuo drėgmės kiekio

Mechaninis patvarumas medienos granulėse buvo stabilus, kai drėgmės kiekis svyravo nuo 5,6% iki 6,5%. Įtaka dilimui dingsta, kai drėgmės kiekis – nuo 8% iki 10%. Jei žaliavos drėgmės kiekis mažesnis nei 5%, granulės neturi reikiamos atsparumo charakteristikos, nes nėra pakankamai drėgmės ir lignino suformuoti tvirtą ryšį tarp granulių dalelių [21].

3.4. Piltinis ir tūrinis tankis

Piltinis tankis yra parametras, kuris tiesiogiai veikia saugojimo ir transportavimo išlaidas, nes didesnis tankis lemia produkto kompaktiškumą. Tūrinis tankis priklauso nuo granulių dydžio ir drėgmės. Medienos granulių tankis yra kintamas ir priklauso nuo granulatoriaus mechaninių savybių, medienos rūšies bei naudojamų priedų. Ypač didelis tankis nėra gerai degimo veiksmingumui, kadangi prieiga prie deguonies negalima, o tai pablogina degimo procesą.

Šių parametru nenustato Europos standartai, tačiau, pasak Vokietijos ir Austrijos standartų, granulių tankis turi būti nuo 1000 iki 1400 kg/m³ [11].



3.4 pav. piltinio ir tūrinio tankio rezultatai

Atliktame tyrime nustatyta įvairių priedų (lignosulfonato, krakmolo, ir kitų priedų skirtingomis proporcijomis) poveikis dalelių tankiui. Granulės, kurios buvo pagamintos panašiomis pradinėmis sąlygomis (ta pati žaliava, tas pats drėgmės kiekis ir suspaudimo lygis).

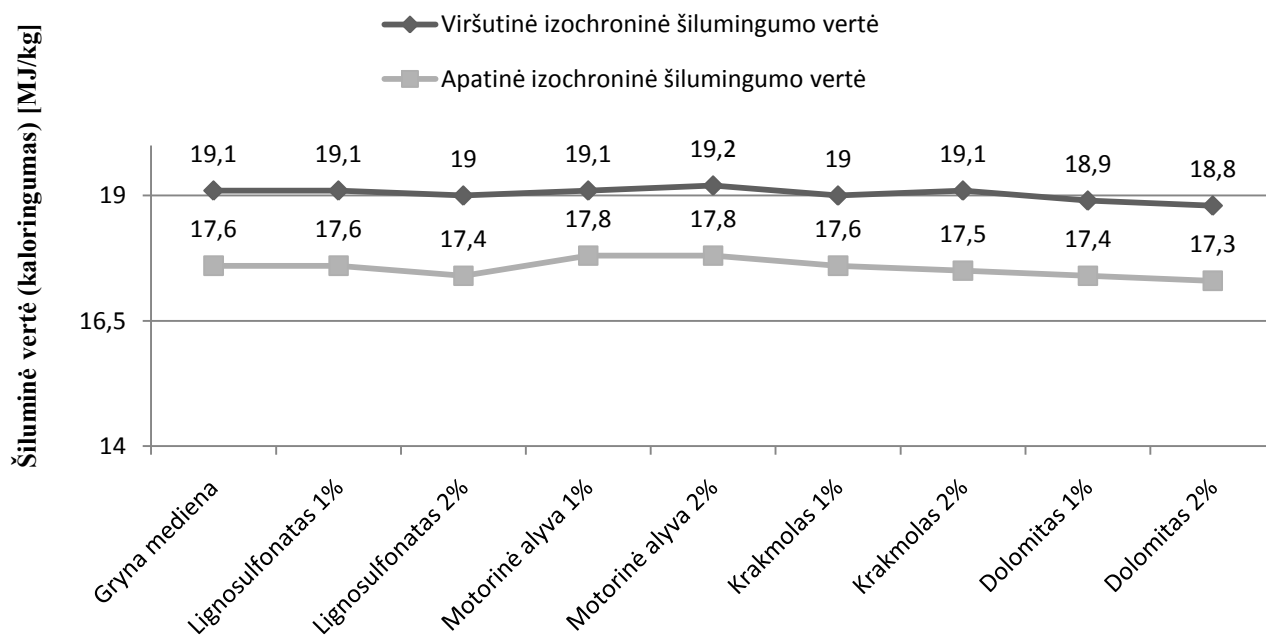
Dalelių tūrinis tankis svyravo nuo 988 kg/m^3 iki 1180 kg/m^3 . Nustatyta, kad naudojant krakmolą, sumažėjo medienos granuliu dalelių tankis.

Lyginant švarias spygliuočių medienos granules be priedų ir tą pačią žaliavą su lignosulfonato priedu, medienos granuliu tūrinis tankis buvo padidintas nuo 1105 iki 1180 kg/m^3 .

3.5. Šiluminė vertė (kaloringumas)

Bendrasis rišamųjų medžiagų ir atitinkamų granuliu kaloringumas pavaizduotas 3.1 iliustracijoje. Visi eksperimentai parodė, kad lignosulfonatas, krakmolas ir kiti priedai neturėjo reikšmingos įtakos medienos granuliu šilumingumo vertei. Tai logiška, dėl mažo rišamosios medžiagos kiekio granulėse.

Pagal Europos standartus, aukštos klasės granuliu grynasis kaloringumas turi būti ne mažesnis kaip $16,5 \text{ MJ/kg}$ [4].



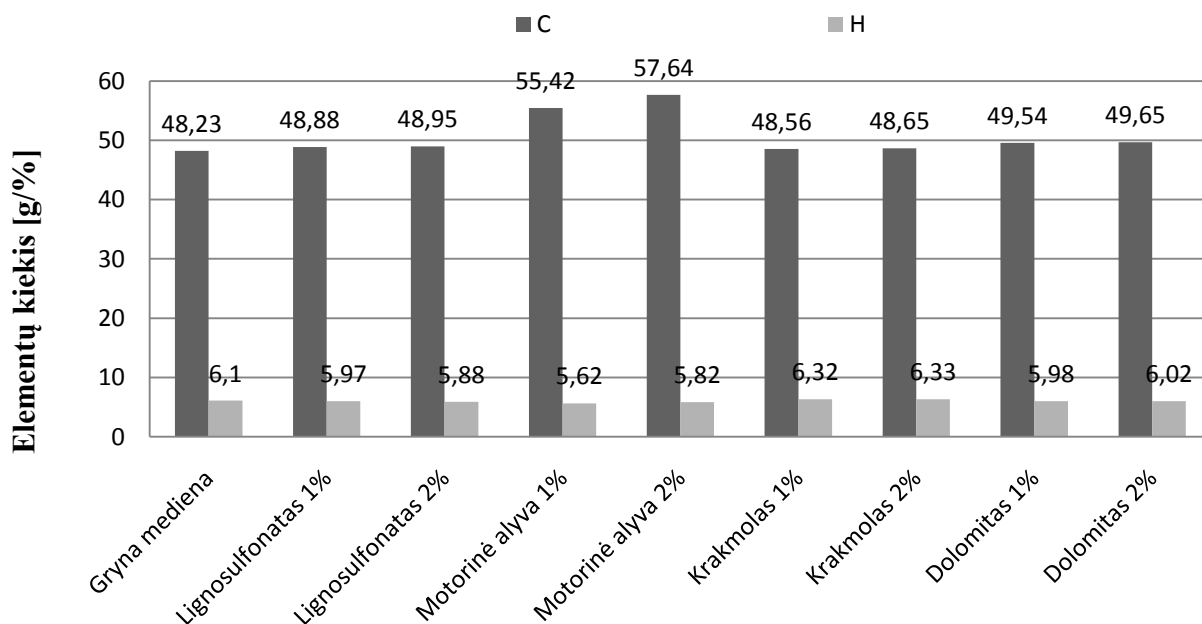
3.5 pav. Bendrasis atitinkamų rišamųjų medžiagų ir medžio granulių šilumingumas

Dėka stebėtų degimo karščio reikšmių tikslumo, lignosulfonato turinčių granulių su didėjančiu lignosulfonato kiekiu rezultatai gali būti paaiškinti šiek tiek mažesniu bendroju lignosulfonato kaloringumu, lyginant su atitinkama tirtos medienos verte.

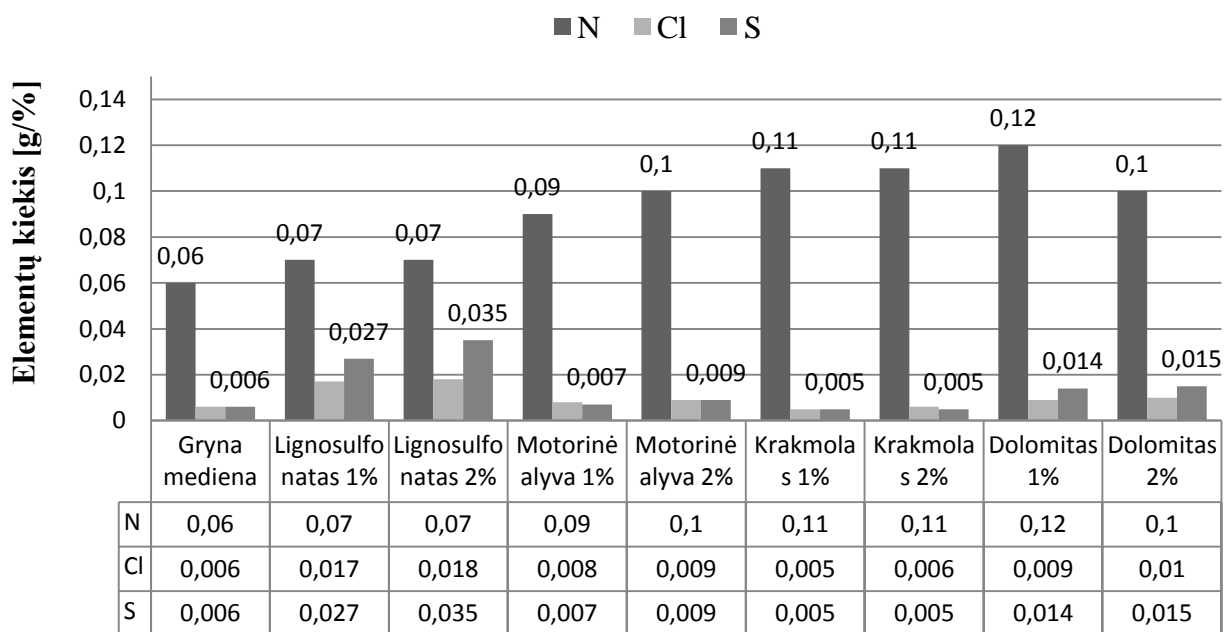
3.6. Visuminio anglies, vandenilio, azoto, sieros, chloro sudėtis

Priedai keičia medienos granulių elementų sudėtį, taip darydami poveikį pelenų kiekiui ir jų lydymosi temperatūrai.

Nustatyta, kad lignosulfonato priedo 1% ir 2% dozės padidina chloro kiekį nuo 0,006% (sausos medžiagos masės) medienos iki 0,018% , ir padidina sieros kiekį nuo 0,006% (sausos medžiagos masės) medienos iki 0,035% kūno svorio. Sieros kiekis padidėja 6 kartus, pridendant lignosulfonato priedo. Siera sukelia didelių problemų, sukurdamą nuosėdas ant deginimo šilumos perdavimo paviršiaus. Lignosulfonatas taip pat padidina išmetamųjų dujų kiekį.



3.6 pav. Anglies ir vandenilio kiekis tiriamose medienos granulėse

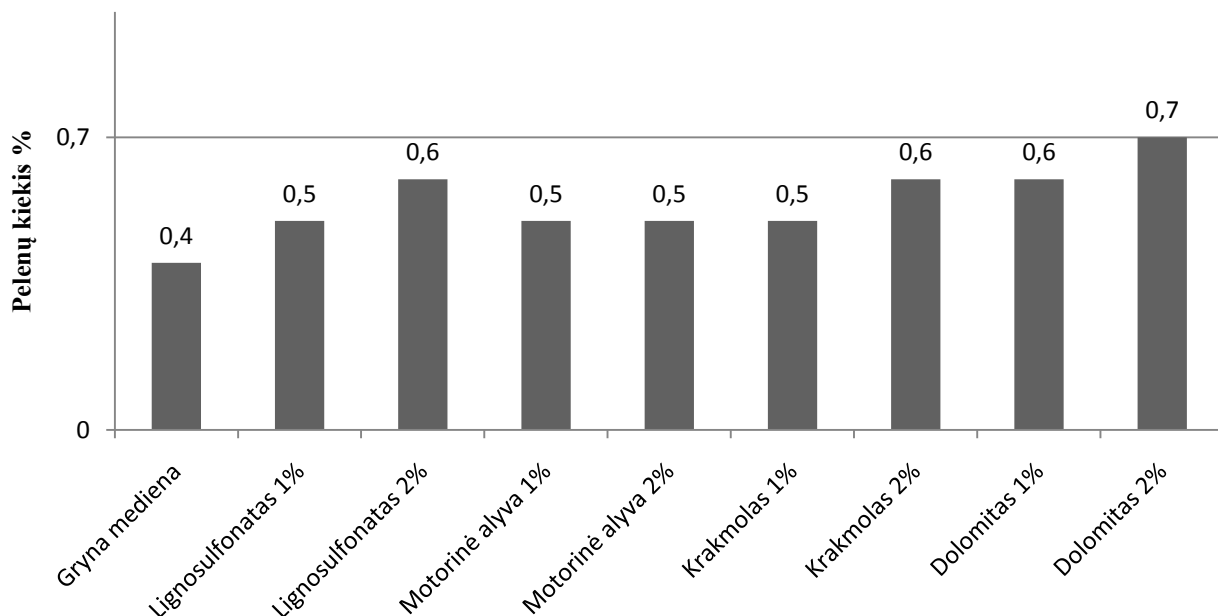


3.7 pav. Azoto, chloro ir sieros kiekis tiriamose medienos granulėse

3.7. Pelenų kiekis

Pelenai yra nedegus likutis, kuris susidaro iš kure esančių mineralinių priemaišų, kuriai visiškai sudegus. Dėl cheminių reakcijų degimo metu mineralinių priemaišų sudėtys ir pelenų kiekiai skiriasi, todėl mineralinių priemaišų kiekio kure išreiškimas peleningumu yra sąlygiškas.

Vienas pagrindinių veiksnių, įtakojančių granulių, kaip kuro, praktiškumą yra pelenų kiekis. Pagal ES standartą, aukščiausios klasės medienos granulėse pelenų kiekis turėtų būti ne didesnis kaip 0.7% [4].



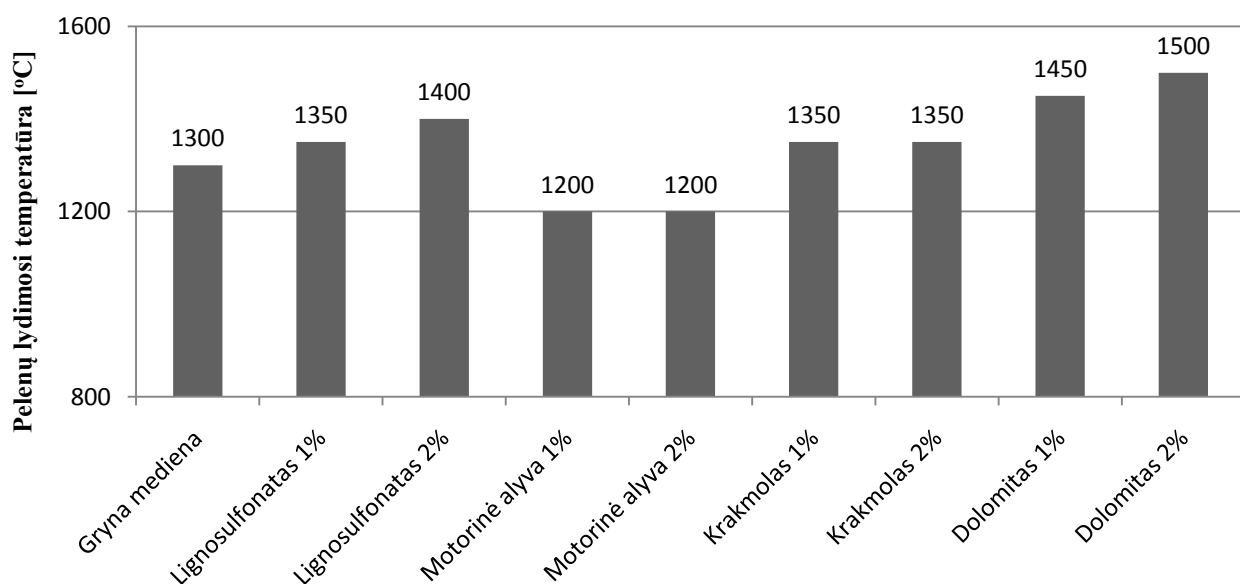
3.8 pav. Pelenų kiekis tiriamose granulėse

3.8. Pelenų lydymosi (šlakavimosi) temperatūra

Nors medienos granulėse esantis pelenų kiekis yra mažas ($\leq 3\%$), pelenų lydymo charakteristikos turi tiesioginę įtaką katilo darbui. Dėl pelenų lydymosi kūrinyje gali prasidėti šlakavimasis, o ant konvektyvinių šilumos perdavimo paviršių gali susidaryti sunkiai pašalinamos nuosėdos [14].

Pagal Europos standartus, aukščiausios klasės medienos granulėse pelenų lydymosi temperatūra turi būti didesnė, nei 1200°C , žemesnės klasės medienos granulėse pelenų lydymosi temperatūra turi būti didesnė, nei 1100°C [4].

Pelenų lydymosi temperatūra yra susijusi su medžio granulių gamyboje naudojamos biomasės cheminių elementų sudėtimi. Kalcio ir magnio koncentracija biomasėje padidina pelenų lydymosi temperatūrą, o kalio ir natrio koncentracija sumažina [5]. Žema pelenų lydymosi temperatūra gali sukelti šlakavimosi ir nuosėdų susidarymo problemą, kuri reikalauja dažnos degimo kameros priežiūros.



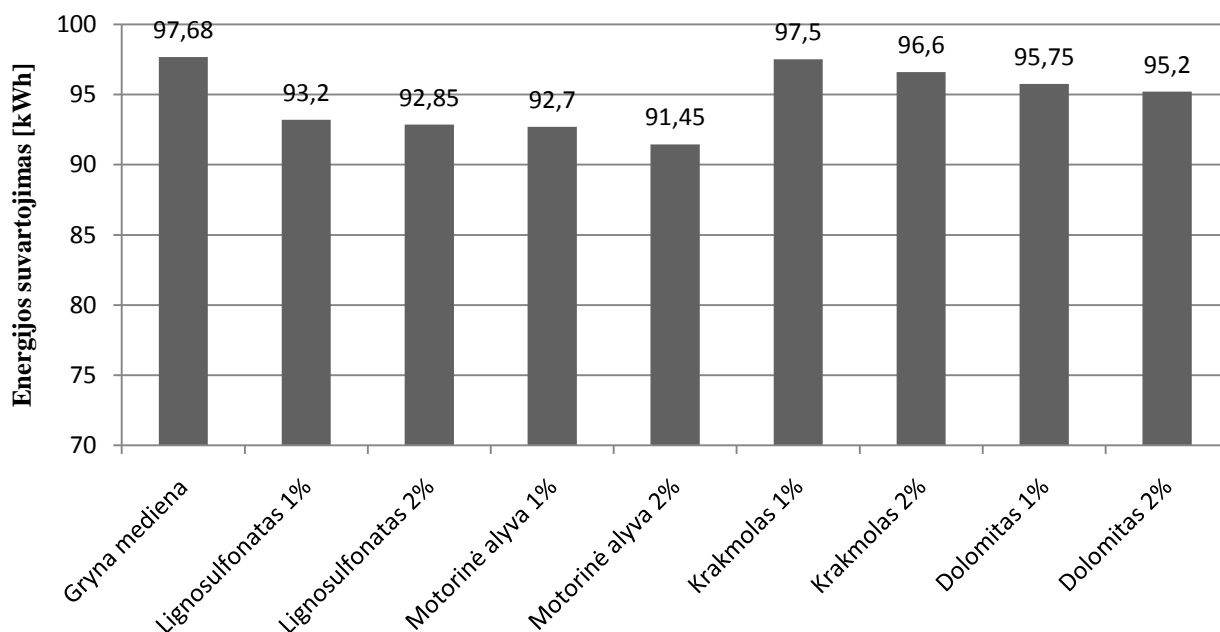
3.9 pav Pelenų lydimosi temperatūra tiriamose granulėse

Pelenų lydumas taip pat priklauso nuo jų mineralinės sudėties. Netgi nežymūs sudėties skirtumai gali smarkiai pakeisti lydumo charakteristikas. Pagal kuro ir pelenų sudėtį praktiškai negalima patikimai numatyti pelenų lydumo [4].

3.9. Įrengimų darbas

Buvo nustatyta, kad bulvių krakmolas ir lignosulfonatas yra geresni priedai energijos sąnaudai, tenkančiai medienos granulių produkcijos gamyboje, palyginti su kitais priedais.

Granulių be jokių priedų gamybos metu energijos suvartojimas buvo nustatytas 97,68 kWh sausai tonai [16]. Konkrečios energijos vartojimo vertė reikšmingai sumažėjo iki 105 kWh sausai tonai pridėdant 2% bulvių krakmolo. Iki 119 kWh sausai tonai pridėdant 2% lignosulfonato [16]. Mažesnis specifinis energijos suvartojimas naudojant krakmolą kaip priedą yra dėl krakmolo gebėjimo tepti.



3.10 pav. Priedų poveikis energijos suvartojimui

3.10. Apibendrinimas

Visi priedai turėjo teigiamą poveikį granulių mechaniniam patvarumui. Be to, panašu, kad lignosulfonatas turi ir tepimo savybę, kuri sumažino granuliavimo preso energijos suvartojimą eksperimentų metu. Krakmolas ir dolomitas – patrauklus priedas ekonominiu ir aplinkos apsaugos požiūriu. Kiti priedai turi reikšmingą poveikį granulių neorganinėms charakteristikoms. Dabartinis Europos standartas (CEN/TS 14961) riboja granulių pelenų kiekį dėl dabartinių degiklių, pritaikytų deginti granules, pagamintas iš nužievintos kamieninės medienos. Granulių gamintojai turi atsižvelgti į tai, kai svarstomas priedų naudojimo klausimas. Panašiai turi būti svarstomas ir priedų, turinčių ėsdinančių sudedamųjų dalių, panaudojimas granulių gamyboje. Pavyzdžiui, Vidurio Europos rinkose, kaminai yra gaminami iš paprasto plieno. Lignosulfonatas, kaip sieros turintis priedas, iš granulių gamintojų pareikalauja sieros kiekio analizės (papildomos išlaidos).

IŠVADOS

Priedai veikia kaip lubrikantai ir rišamosios medžiagos, kurios padidina gamybos apimtis ir sumažina energijos sąnaudas, tenkančias medžio granuliu gamybai. Kiekvienas priedas turi unikalių rezultatų fiziniams ir šiluminėms savybėms.

1. Krakmolas sumažina galutinį drėgmės kiekį daugiau, nei kiti priedai. Galutinis produktas gavosi per sausas, todėl pasireiškė silpnos medienos granuliu fizinės savybės. Norint išsiaiškinti krakmolo, kaip rišamojo priedo potencialą, reikia nustatyti didesnę žaliavos drėgmės kiekį, nei buvo atliekamas eksperimentas su likusiais priedais.

2. Trys ištirtos rišamosios medžiagos (lignosulfonatas, motorinė alyva ir dolomitas) turėjo teigiamą poveikį granuliu mechaniniam patvarumui bei kompaktiškumui.

3. Medienos granulėms su lignosulfonato ir motorinės alyvos priedu nebūtinai papildomas smulkių dalelių nusijojimas paskutiniame gamybos etape (prieš išpilstant į maišus). Tai gerina savikainą, nes nereikia papildomo įrengimo bei energijos.

4. Motorinė alyva padidino koringumą minimaliai. Kiti naudoti priedai neturėjo reikšmingo teigiamo ar neigiamo poveikio medienos granuliu šilumingumo reikšmėms.

5. Visi naudoti priedai turėjo neigiamą įtaką pelenų susidarymui, bet pagal Europos Sąjungos standartus nei vienas neviršijo normų, kadangi tyrime buvo naudojama labai švari (be žievės likučių) pjuvena. Esant didesniam pjuvenos užterštumui, tinkamiausia būtų naudoti lignosulfonatą 1%, krakmolą 1% bei motorinę alyvą 1-2%.

6. Lignosulfonatas, krakmolas, dolomitas, išskyrus motorinę alyvą, padidino pelenų lydymo temperatūrą. Tai aktualu turintiems brangius granulinio kuro degiklius.

7. Cheminių elementų kiekis medienos granulėse neviršijo Europos Sąjungos standartų. Šie standartai skirti tam, kad medienos granuliu gamyboje nebūtų naudojama chemiškai apdirbta mediena.

8. Lignosulfonatas ir motorinė alyva pagerino granuliu gamybos našumą, sumažino elektros energijos suvartojimą, tačiau lignosulfonato kiekis turi būti $\leq 1\%$, kad būtų išlaikyta sieros koncentracija granulėse žemiau normatyvinės EN 14961-2 ribos.

Ekonominių ir fizinių savybių atžvilgiu tinkamiausi priedai buvo lignosulfonato 1% ir motorinės alyvos 1-2%, tačiau šie priedai turi neigiamą poveikį granuliu spalvai, kuri gali turėti įtakos produkto kainai.

Norint tinkamai išnaudoti dolomito ir krakmolo priedus, reikia didesnių investicijų gamyboje, siekiant užtikrinti švarias bei tinkamo drėgnumo žaliavas.

LITERATŪRA

1. LIETUVOS RESPUBLIKOS VALSTYBINĖ KONTROLĖ. Valstybinio audito ataskaita. *Atsinaujinančių energijos išteklių potencialo naudojimas Lietuvoje*. Vilnius, 2010. 63 p.
2. LIETUVOS BIOMASĖS ENERGETIKOS ASOCIACIJA . Nacionalinės biomasės ir biokuro gamybos ir naudojimo technologijų platform. 2007. [žiūrėta 2014 kovo 08]. Prieiga per internetą: <<http://www.biokuras.lt/lt/biomases-ir-biokuro-ntp/ntp-dokumentai.html>>.
3. UAB “VILNIAUS ENERGIJA”. Energijos gamybos iš atsinaujinančių energijos išteklių plėtros planas. *Strateginio pasekmių aplinkai vertinimo ataskaita*. 2013.
4. EUROPOS GRANULIŲ TARYBA. Šildymui skirtų medžio granuliu sertifikavimo vadovas, *Versija 2.0*, Brussels, Belgium, 2013. 44p.
5. G. THEK and I. OBERNBERG. The Pellet Handbook. *The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets*, Earthscan, London, UK, 2010.
6. Villu VARES, Ülo KASK, Peeter MUISTE, Tõnu PIHU, Sulev SOOSAAR. Talino technologijos universitetas. *Biokuro Naudotojo žinynas*. Leidykla „Žara“ Vilnius, 2007. 168p. UDK 620.9(031) Bi294
7. HILLIS, W. E. High temperature and chemical effects on wood stability. *Wood Sci.& Technol.* 1984, 293p.
8. Matti KUOKKANEN, Teemu VILPPO, Toivo KUOKKANEN, Tuomas STOOR, Jouko NIINIMÄKI. Additives in wood pellet production. Peer-reviewed article. [žiūrėta 2013 lapkričio 10]. Available from internet: <<http://www.ncsu.edu/bioresources.com>>
9. FprCEN/TR 15404:2010 Final Report. Solid recovered fuels. *Methods for the determination of ash melting behaviour by using characteristic temperatures*. 2010.
10. Optimisation of pelletisation for conditions for popular energy crop. *Fuel Processing Technology Journal*, 2012. vol. 104. [žiūrėta 2014 vasario 04]. Prieiga per internetą: <<http://www.sipe-rtd.info/directive/prediction-ash-and-deposit-formation-biomass-report>>.
11. B. HAHN. Existing Guidelines and Quality Assurance for Fuel Pellets. *Pellets for Europe Project*. Austria, 2004. [žiūrėta 2014 Vasario 21]. Prieiga per internetą: <<http://www.pelletcentre.info/resources/120.pdf>>.
12. Ingwald OBERNBERGER, Gerold THEK. The pellet Handbook. The production and thermal utilization of biomass pellets. 2010. [žiūrėta 2014 Lapkričio 06]. Prieiga per <http://www.google.lt/books?hl=lt&lr=&id=69QL45Hd8wEC&oi=fnd&pg=PP10&dq=Production+and+Thermal+Utilization+of+Biomass+Pellets&ots=8ui0HMEczj&sig=1R0yw_Ar_vuWlzd0wjANemp3gscw&redir_esc=y#v=onepage&q=Production%20and%20Thermal%20Utilization%20of%20Biomass%20Pellets&f=false>

13. G. GIMBUTIS, K. KAJUTIS, V. KRUKONIS ir kt . Šiluminė technika. Vilnius: Mokslas. 1993. 333 p.
14. Habil. dr. V. MIŠKINIS. Kietojo biokuro apskaitos energijos gamybos šaltiniuose taisyklės. Lietuvos energetikos institutas. 2011 m.
15. Li and H. LIU. High-pressure densification of wood residues to form an upgraded fuel. *Biomass and Bioenergy*, vol. 19, no. 3. 2000. 186 p.
16. **LST EN ISO 9001:2008**, Kokybės valdymo sistemos. Reikalavimai
17. **LST ISO 3310-1:2003**, Laboratoriniai sietai – Techniniai reikalavimai ir bandymai. 1 dalis. Laboratoriniai pintometalinio vielinio tinkle sietai (tpt ISO 3310-1:2000)
18. **LST EN 14588:2011**, Kietasis biokuras – Termija, apibrėžtys ir aprašymai
19. **LST EN 14774-1:2010**, Kietasis biokuras – Drėgmės dalies nustatymas. Metodas naudojant džiovinimo spinta. 1 dalis: Visuminė drėgmė. Pamatinis metodas
20. **LST EN 14774-2:2010**, Kietasis biokuras – Drėgmės kiekio nustatymas. Metodas naudojant džiovinimo spinta. 2 dalis: Visuminė drėgmė. Supaprastintas metodas.
21. **LST EN 14774-3:2010**, Kietasis biokuras – Drėgmės kiekio nustatymas. Metodas naudojant džiovinimo spinta. 3 dalis: Visuminė drėgmė. Bendros analizės ėminio drėgmė
22. **LST EN 14775:2010**, Kietasis biokuras – Pelenų kiekio nustatymas
23. **LST EN 14778:2011**, Kietasis biokuras – Ėminių ėmimas
24. **LST EN 14780:2011**, Kietasis biokuras – Ėminių paruošimas
25. **LST EN 14918:2010**, Kietasis biokuras – Šilumingumo nustatymas
26. **LST EN 14961-1:2010/P2013**, Kietasis biokuras – Kuro specifikacija ir klasės. 1 dalis. Bendrieji reikalavimai
27. **LST EN 14961-2:2011**, Kietasis biokuras – Kuro specifikacija ir klasės. 2 dalis. Nepramoninio naudojimo medienos granules
28. **LST EN 15103:2010**, Kietasis biokuras – Piltinio tankio nustatymas
29. **LST EN 15104:2011**, Kietasis biokuras – Visuminio anglies, vandenilio ir azoto kiekio nustatymas. Instrumentiniai metodai
30. **LST EN 15210-1:2010**, Kietasis biokuras – Granulių ir briketų mechaninio patvarumo nustatymas. 1 dalis: granulės
31. **LST EN 15234-1:2011**, Kietasis biokuras – Kuro kokybės užtikrinimas. 1 dalis: Bendrieji reikalavimai
32. **LST EN 15234-2:2012**, Kietasis biokuras – Kuro kokybės užtikrinimas. 2 dalis: Medienos granulės, skirtos nepramoniniam naudojimui
33. **LST EN 15289:2011**, Kietasis biokuras – Visuminio sieros ir chloro kiekio nustatymas
34. **LST EN 15290:2011**, Kietasis biokuras – Pagrindinių elementų – Al, Ca, Fe, Mg, P, K, Si,

Na, ir Ti – nustatymas

35. **LST EN 15297:2011**, Kietasis biokuras – Šalutinių elementų – As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V ir Zn – nustatymas
36. **LST CEN/TS 15370-1:2007**, Kietas biokuras – Pelenų lydymosi nustatymo metodas. 1 dalis. Būdingųjų temperatūrų metodas
37. **LST EN 16127:2012**, Kietasis biokuras – Cilindrinų briketų ilgio ir skersmens nustatymas

1 PRIEDAS. Tyrimų protokolas



Kauno g. 1A
01314 Vilnius
Tel. +370 5 213-07-26
Faks.: +370 5 213-07-36
info@labtarna.lt
www.labtarna.lt

AKREDITUOTA TYRIMŲ LABORATORIJA

UAB "LABTARNA"

GAFTA ir FOSFA
LABORATORIJA-NARĖ

TYRIMŲ PROTOKOLAS Nr. [redacted]

2014-05-15

Užsakovas:

UAB "Gvijus"

Šiaulių g. 39, Meškuičiai, Šiaulių raj.,

Mėginių paėmimo data: 2014-05-08

Mėginys gautas: 2014-05-13

Tyrimai baigti: 2014-05-15

Mėginį paėmė: UAB "Gvijus"

Užsakymo Nr. [redacted]

Užsakymo data: 2014-05-13

| Mėginio Nr. | Tyrimų objektas | Analizė | Rezultatas |
|-------------|--|---|----------------|
| M14-16480 | 6 mm diametro spygliuočių medienos pjuvenų granulės, 1 kg | Apatinė izochorinė šilumingumo vertė analizuojamame ėminyje (LST EN 14918:2010) | 17.6 MJ/kg |
| | | Apatinė izochorinė šilumingumo vertė analizuojamame ėminyje (LST EN 14918:2010) | 4205.0 kcal/kg |
| | | Bendrosios analizės ėminio drėgmė (LST EN 14774-3:2010 (A)) | 6.1 % |
| | | Pelenai (LST EN 14775:2010 (A)) | 0.7 % |
| | | Pelenai S.M. (LST EN 14775:2010 (A)) | 0.7 % |
| | | Viršutinė izochorinė šilumingumo vertė analizuojamame ėminyje (LST EN 14918:2010) | 19.0 MJ/kg |
| | | Viršutinė izochorinė šilumingumo vertė analizuojamame ėminyje (LST EN 14918:2010) | 4529.0 kcal/kg |

Tyrimų rezultatai susiję tik su tiriamais mėginiais. Tyrimų protokolą dalimis dauginti leidžiama tik su raštišku UAB "LABTARNA" sutikimu.
(A) - laboratorijoje patvirtintas metodas, (S) - tyrimas atliktas pas subrangovus, n - nustatymo riba

| | |
|---|---------------------------------------|
| Atsakingi asmenys: [redacted], Chemijos skyriaus vedėjas | Patvirtinta: [redacted] 2014-05-15 |
|---|---------------------------------------|

1F/VSP 5.10-01 leidimas: 4/2013-01-02

2 PRIEDAS. Įvairių šalių standartai medienos granulėms

| MEDIENOS GRANULIŲ SPECIFIKACIJOS | Vienetai | CEN Standartas | Vokietijos Standartas EN plus | Europos Sąjungos standartas ENplus | | | Pramoninės medienos granulės | | Pastabos |
|---|-------------------|----------------|-------------------------------|---|--|---|---|---|----------------|
| | | | | A1 | A2 | A3 | I1 | I2 | |
| Kilmė ir šaltinis | | EN 14961-1 | | 1.1.3 Kamieninė mediena, 1.2.1 chemiškai neapdorotos medienos likučiai | 1.1.1 Visa kamieninė mediena be šaknų 1.1.4 kirtimo atlieka, 1.2.1.5, 1.2.1 | 1.1 Miškų plantacija ir jaunuolynas 1.2 Šalutiniai produktai ir likučiai | 1.1 Miškų plantacija ir jaunuolynas 1.2 Šalutiniai produktai ir likučiai | 1.1 Miškų plantacija ir jaunuolynas 1.2 Šalutiniai produktai ir likučiai | Žiūrėti 5) |
| Chemiškai apdorota biomasė | | EN 14961-1 | DRAUDŽIAMA | DRAUDŽIAMA | DRAUDŽIAMA | LEIDŽIAMA | DRAUDŽIAMA | DRAUDŽIAMA | Žiūrėti 5) |
| Priedai (sudėtis, mesė) | Masė % | EN 14961 | ≤ 2% | ≤ 2% | ≤ 2% | ≤ 2% | DRAUDŽIAMA | DRAUDŽIAMA | Žiūrėti 1) |
| Fiziniai parametrai | | | | | | | | | |
| Skersmuo | mm | EN16127 | 4 - 10 | 6 ar 8 | 6 ar 8 | 6 ar 8 | 6 to 8 | 6 to 8 | |
| Ilgis | mm | EN16127 | ≤ 5 x d | 3,15-40 mm | 3,15-40 mm | 3,15-40 mm | ≤ 40 mm | ≤ 40 mm | |
| Drėgmės kiekis | % | EN 14774 | ≤ 10% | ≤ 10% | ≤ 10% | ≤ 10% | ≤ 10% | ≤ 10% | |
| Piltinis tankis | kg/m ³ | EN 15103 | | ≥ 600 | ≥ 600 | ≥ 600 | ≥ 600 | ≥ 600 | |
| Didžiausia granulių temperatūra | °C | EN 15234-2 | | ≤ 50 | ≤ 50 | ≤ 50 | ≤ 60 | ≤ 60 | Žiūrėti 2) |
| Grynas kaloringumas esant pastoviam slėgiui | MJ/kg | EN 14918 | ≥ 18,0 | ≥ 16,5-19 | ≥ 16,5-19 | ≥ 16-19 | ≥ 16,5 | ≥ 16,5 | |
| Pelenų kiekis | Masė % | EN 14775 | ≤ 0,5 % | ≤ 0,7% | ≤ 1,5% | ≤ 3,0% | 1% | ≤ 2,0 % | |
| Pelenų lydimosi temperatūra | °C | EN 15370 | | ≥ 1200°C | ≥ 1100°C | ≥ 1100°C | ≥ 1200X | ≥ 1100 °C | Žiūrėti 3) |
| Cheminių element sudėtis | | | | | | | | | |
| CI | Masė % | EN 15289 | ≤ 0,02 % | ≤ 0,02 % | ≤ 0,02 % | ≤ 0,03 % | 0,03% | ≤ 0,1 % | |
| N | Masė % | EN 15104 | ≤ 0,3 % | ≤ 0,3 % | EN ≤ 0,5 % | ≤ 1,0 % | ≤ 0,5% | ≤ 1,5 % | |
| S | Masė % | EN 15289 | ≤ 0,04 % | ≤ 0,03 % | ≤ 0,03 % | ≤ 0,04 % | ≤ 0,05 % | ≤ 0,4 % | |
| Mikroelementai | | | | | | | | | |
| As | mg/kg | EN 15297 | ≤ 0,8 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 1 | ≤ 2 | ≤ 6 | |
| Cd | mg/kg | EN 15297 | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | ≤ 0,5 | ≤ 1 | ≤ 10 | |
| Cr | mg/kg | EN 15297 | ≤ 8 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 15 | ≤ 250 | |
| Cu | mg kg | EN 15297 | ≤ 5 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | | | |
| Hp | mg/kg | EN 15297 | ≤ 0,05 | ≤ 0,1 | EN ≤ 0,1 | ≤ 0,1 | | | |
| Pb | mg kg | EN 15297 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | ≤ 10 | | | |
| Zn | mg/kg | EN 15297 | ≤ 100 | ≤ 100 | ≤ 100 | ≤ 100 | | | |
| Smulkių dalelių kiekis ≤3,15mm | žiūrėti 4) | | | ≤ 1 % | ≤ 1 % | ≤ 1% | ≤ 4 % | ≤ 4 % | Kraunant uoste |
| Mechaninis patvarumas | | EN 15210 | ≥ 97,5% | ≥ 97,5% | ≥ 97,5% | ≥ 96,5% | 97,5-99% | 96,5%-99% | |
| Dalelių dydžio pasiskirstymas | | | | | | | | | |
| % < 4.0 mm | Masė % | EN 15149 | | | | | 100% | 100% | |
| % < 3.15 mm | Masė % | EN 15149 | | | | | > 97% | > 97% | |
| % < 2.0 mm | Masė % | EN 15149 | | | | | > 95% | > 90% | |
| % < 1.5 mm | Masė % | EN 15149 | | | | | > 75% | | |
| % < 1.0 mm | Masė % | EN 15149 | | | | | > 50% | > 50% | |
| % < 0.1 mm | Masė % | EN 15149 | | | EN 15149 | | < 3% | < 5% | |

2 PRIEDO tęsinys

1. Priedai

Gali būti rišamoji arba pašalinė medžiaga: turi būti pateiktas drėgnos masės kiekis ir tipas (pavyzdžiui, krakmolos, kukurūzų miltai, augalinis aliejus). Priedai neleidžiami I1 ir I2, išimtinai gali būti priimti, jei garantuojama augalinė kilmė, o kiekis - mažesnis nei 5%.

2. Temperatūra

Maksimali masės temperatūra turi būti patikrinta, kai granulės palieka galutinį pakrovimo tašką (paruošiamos pristatymui galutiniam vartotojui), t.y., palieka baigiamąjį saugojimo tašką arba gamyklą. Tikslė reikšmė turi būti paskelbta ir palyginta su aplinkos temperatūra +5°C.

3. Pelenų lydymosi temperatūra, savanoriškas EN 14961-2 standarte.

EN 14961-2 standartas pasižymi (savanoriška) informacija apie pelenų lydymosi temperatūrą. Reikalaujama ENPlus DT temperatūra. Pelenų turinys yra nustatomas 550°C temperatūroje. Visos būdingos temperatūros oksidavimosi sąlygomis (traukimosi pradžios temperatūra (SST), deformacijos temperatūra (DT), hemisferos temperatūra (HT) ir tekėjimo temperatūra (FT)) turėtų būti nurodytos.

4a. Namų naudojimo granulių nuostoliai

Nuostolių mastai turi būti patikrinti, kai granulės palieka galutinį pakrovimo tašką ir yra paruošiamos pristatymui vartotojui, t.y., kai palieka galutinį saugojimo tašką arba gamyklą, jei galutiniam vartotojui produktas yra pristatomas tiesiogiai. Nuostolių mastai, paliekant gamyklos vartus turi būti ≤ 1% (išskyrus atvejus, kai yra kitoks susitarimas tarp gamintojo ir kliento).

4b. Pramoninių granulių nuostoliai

Nuostolių mastai turi būti patikrinti, kai granulės palieka galutinį pakrovimo tašką ir yra paruošiamos pristatymui vartotojui, t.y., kai pakraunamos uoste. Nuostolių mastai jėgainėje turi būti ≤ 7% (išskyrus atvejus, kai yra kitoks susitarimas tarp gamintojo ir kliento).

5. Kilmė ir šaltinis

Žaliavos kilmė ir šaltinis turi būti nurodytas pagal 1 lentelę EN 14961-1 standarte.