



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Kanapių sėklų lukštų biokompozito formavimas ir savybės

Baigiamasis magistro projektas

Viktorija Perepečajeva

Projekto autorė

Doc. dr. Joana Bendoraitienė

Vadovė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Kanapių sėklų lukštų biokompozito formavimas ir savybės

Baigiamasis magistro projektas

Chemijos inžinerija (6211EX020)

Viktorija Perepečajeva

Projekto autorė

Doc. dr. Joana Bendoraitienė

Vadovė

Asist. dr. Monika Čekavičiūtė

Recenzentė

Kaunas, 2024



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Viktorija Perepečajeva

Kanapių sėklų lukštų biokompozito formavimas ir savybės

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.

Viktorija Perepečajeva

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kauno technologijos universitetas

Cheminės technologijos fakultetas

Tvirtinu:
Cheminės technologijos fakulteto dekanė
Doc. dr. V. Kitrytė-Syrpa

Suderinta:
Polimerų chemijos ir technologijos katedra
vedėjas Doc. dr. Audrius Bučinskas

Dekano potvarkis Nr. V25-02-23,
2024 m. gegužės mėn. 15 d.

2024 m. vasario mėn. 5 d.

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Projekto tema Kanapių sėklų lukštų biokompozito formavimas ir savybės

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas – nustatyti kanapių sėklų lukštų panaudojimo galimybes, gaunant termoplastinius biokompozitus ir ištirti gautų kompozicijų technologines bei mechanines savybes.

Darbo uždaviniai:

1. ištirti dviejų skirtingų gamintojų kanapių sėklų lukštų cheminę sudėtį;
2. suformuoti kanapių sėklų lukštų biokompozitus ekstruzijos būdu ir nustatyti technologinius rodiklius;
3. įvertinti gautų biokompozitų masinio takumo rodiklį ir gaminių mechanines savybes;
4. įvertinti biokompozito formavimo ir savybių pokyčius laikymo metu;
5. pateikti biokompozito granulių gamybos principinę technologinę schemą bei apskaičiuoti reikalingų žaliavų balansą.

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. Joana Bendoraitienė

2024-02-05

(vadovo pareigos, vardas, pavardė, parašas)

(data)

Užduotį gavau: Viktorija Perepečajeva

2024-02-05

(studento vardas, pavardė)

(parašas, data)

Perepečajeva, Viktorija. Kanapių sėklų lukštų biokompozito formavimas ir savybių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. dr. Joana Bendoraitienė; Kauno technologijos universitetas, Cheminės technologijos fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: termoplastikai, kanapių sėklų lukštai, biokompozitai, ekstruzija, mechaninės savybės.

Kaunas, 2024. 72 p.

Santrauka

Šiais laikais sintetinės medžiagos, tokios kaip plastikas, yra neatsiejama visuomenės gyvenimo dalis, dėl ypač plataus jų panaudojimo galimybių. Didėjanti produktų, iš sintetinių medžiagų, paklausa kelia didelį aplinkosauginį susirūpinimą dėl šių medžiagų ilgo gyvavimo ciklo. Sprendžiant šią problemą puiki alternatyva yra kanapių sėklų lukštų biokompozitai. Šios gamtinės kilmės medžiagos gali būti gražinamos į aplinką gyvavimo ciklo pabaigoje ir taip tapti žaliava tolimesniuose biologiniuose procesuose. Vis didėjanti produktų iš augalų gamyba, didina celiuliozinių atliekų kiekį, kuriuos panaudojus, šiuo atveju kanapių sėklų lukštus, galima gauti pridėtinę vertę sukuriantį produktą, mažinantį neigiamą poveikį aplinkai.

Šį darbą sudaro keturi pagrindiniai skyriai: literatūros apžvalga, tiriamoji dalis, inžinerinė dalis ir darbuotojų sauga ir sveikata. Darbe aptariamas svarbiausias aspektas – biokompozito formavimas ir savybių tyrimas. Biokompozito gamybai naudojami šie komponentai: kanapių sėklų lukštai, celiuliozės diacetatas ir triacetinas. Keičiant šių komponentų santykį ir kanapių sėklų lukštų dalelių dydį, suformuoti skirtingos komponentinės sudėties biokompozitai bei ištirtos jų savybės. Naudojant AutoCAD programinį paketą, darbe pateikta nubraižyta kanapių sėklų lukštų biokompozito granulių gamybos rekomenduojama technologinė linija bei detaliam aprašytas granulių gamybos technologinis procesas. Apskaičiuotas naudojamų medžiagų, skirtų granulėms gaminti, medžiagų balansas metams, savaitei, parai, pamainai, valandai. Taip pat yra aptarti galintys pasireikšti darbo aplinkoje profesinės rizikos veiksniai.

Perepečajeva, Viktorija. Preparation and Properties of Hemp Seed Husks Biocomposites. Master's Final Degree Project / supervisor Assoc. Prof. dr. Joana Bendoraitiene; Faculty of Chemical Technology, Kaunas University of Technology.

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

Keywords: thermoplastics, hemp seed husk, biocomposites, extrusion, mechanical properties

Kaunas, 2024. 72.

Summary

Nowadays, synthetic materials such as plastic are an integral part of society's life, due to their extremely wide range of uses. The growing demand for products made from synthetic materials is a major environmental concern due to the long-life cycle of these materials. Biocomposites of hemp seed husks are an excellent alternative to solving this problem. These materials of natural origin can be returned to the environment at the end of their life cycle and thus become raw material for further biological processes. The ever-increasing production of plant-based products increases the amount of cellulosic waste that can be used, in this case hemp seed husks, to create a value-added product that reduces the negative impact on the environment.

This work is divided into four main sections: literature review, a chapter on research section, engineering section and worker safety and health. This work discusses the most important aspect – the formation of a biocomposite and the investigations in its properties. The following components are used to produce the biocomposite: hemp seed husks, cellulose diacetate and triacetin. By changing the ratio of these components and the size of the hemp seed husk particles, biocomposites with different component composition were formed and their properties were investigated. Using the AutoCAD programming software, a recommended technological scheme for the production of hemp seed husk biocomposite pellets has been designed. A detailed description of the principal scheme for the production of hemp seed husk biocomposite pellets is provided. Yearly, weekly, daily, single-shift and hourly of components required for the production of hemp seed husk biocomposite pellets have been calculated. Professional risk factors that may appear in the work environment are also discussed.

Turinys

Lentelių sąrašas.....	9
Paveikslų sąrašas	10
Santrumpų sąrašas	12
Įvadas.....	13
1. Literatūros apžvalga	14
1.1. Kompozitai	14
1.2. Biokompozitai	15
1.3. Biokompozitų gamyboje naudojamos natūralios armuojančios medžiagos.....	15
1.4. Biokompozitų gamyboje naudojamos natūralios matricos.....	16
1.4.1. Celiuliozės diacetatas	16
1.4.2. Krakmolas.....	17
1.4.3. Chitozanas	17
1.5. Biokompozitų gamyboje naudojami plastifikatoriai	17
1.5.1. Trietilcitratas.....	18
1.5.2. Dietilftalatas	19
1.5.3. Tributilcitratas	19
1.5.4. Diacetinas	20
1.5.5. Triacetinas	20
1.6. Biokompozito formavimo į gaminius metodai.....	20
1.6.1. Tiesioginio presavimo metodas	20
1.6.2. Ekstruzija.....	21
1.6.3. Pultruzija.....	21
1.6.4. Rankų liejimo technika.....	21
1.6.5. Injekcinis liejimas.....	21
1.7. Pluoštinės kanapės.....	22
1.8. Ryžių lukštų biokompozitai.....	24
1.9. Literatūros apžvalgos apibendrinimas ir baigiamojo projekto pagrindimas	24
2. Tiriamoji dalis.....	25
2.1. Medžiagos ir metodai	25
2.1.1. α -celiuliozės kiekio nustatymas	25
2.1.2. Lignino kiekio nustatymas	26
2.1.3. Baltymų kiekio nustatymas	26
2.1.4. Riebalų kiekio nustatymas.....	27
2.1.5. Pelenų kiekio nustatymas	28
2.1.6. Drėgmės kiekio nustatymas.....	28
2.1.7. Žaliavos paruošimas ir kompozicijų sudarymas.....	29
2.1.8. Kompozito ekstrudavimas	30
2.1.9. Granuliavimas ir masinio takumo rodiklio nustatymas.....	31
2.1.10. Injekcinis liejimas.....	32
2.1.11. Tempimo bandymas	32
2.1.12. Kietumo nustatymas	33
2.1.13. Rezultatų tikslumo ir patikimumo įvertinimas	33
2.2. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas	33
2.2.1. Kanapių sėklų lukštų cheminė sudėtis.....	33

2.2.2. Kanapių sėklų lukštų frakcionavimas.....	35
2.2.3. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų gavimas ekstruzijos būdu	36
2.2.4. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų granulių morfologinė analizė.....	42
2.2.5. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų masinio takumo nustatymas	43
2.2.6. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų injekcinis liejimas	45
2.2.7. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų mechaninių charakteristikų nustatymas.....	49
3. Inžinerinė dalis.....	58
4. Darbuotojų sauga ir sveikata	63
Išvados	67
Literatūros sąrašas	68
Publikacijų sąrašas	72

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Natūralių biologiškai skaičių polimerų klasifikavimas [3]	16
2 lentelė. Tyrimams atlikti naudotos medžiagos.....	25
3 lentelė. Temperatūros skirtingose ekstruderio sekcijose.....	31
4 lentelė. Kanapių sėklų lukštų cheminė sudėtis.....	34
5 lentelė. Avižų lukštų cheminė sudėtis [42]	34
6 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL2) masinio takumo rodikliai po 6 mėnesių	45
7 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) kietumo rodikliai, esant vienodam TA kiekiui kompozite	49
8 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) kietumo rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35	49
9 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL2) stiprumo ribos rodikliai po 6 mėnesių.....	52
10 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL2) stiprumo ribos trūkimo momentu rodikliai po 6 mėnesių	54
11 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL2) stiprumo ribos santykinės ištisos rodikliai po 6 mėnesių	56
12 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL2) Jungo modulio rodikliai po 6 mėnesių	57
13 lentelė. Darbo režimo duomenys.....	60
14 lentelė. Biokompozito (58,5DAC:31,5TA:10KSL2) 1 t granulių pagaminti reikalingi žaliavų kiekiai	60
15 lentelė. Numatytam produkcijos našumui apskaičiuoti reikiamų žaliavų kiekiai.....	62
16 lentelė. Tiriamajame darbe naudotų cheminių medžiagų galintys pasireikšti pavojai ir reikiamos apsaugos priemonės [45]	63

Paveikslų sąrašas

1 pav. Kompozito pagrindinės sudedamosios dalys [4].....	14
2 pav. Augalinio pluošto nuotrauka (a) ir augalinio pluošto, plauto 24 valandas 0,1 M NaOH tirpalu, nuotrauka (b) [3].....	15
3 pav. Trietilcitrato struktūrinė formulė.....	19
4 pav. Dietilftalato struktūrinė formulė.....	19
5 pav. Tributilcitrato struktūrinė formulė.....	19
6 pav. Diacetino struktūrinė formulė	20
7 pav. Triacetino struktūrinė formulė.....	20
8 pav. Pluoštinių kanapių stiebo skersinis pjūvis (a); stiebo indų sienelė (b) [37]	23
9 pav. Sėklų lukštenimo įrenginys: 1 – vibruojantis korpusas; 2 – besisukantis vamzdinis tinklelis	23
10 pav. Skirtingų frakcijų kanapių sėklų lukštų nuotraukos, gautos optiniu mikroskopu: a) KSL1; b) KSL2.....	35
11 pav. Kanapių sėklų lukštų (KSL1 ir KSL2) skirtingų frakcijos dalelių dydžių pasiskirstymas masėje	36
12 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) masės pasiskirstymas, esant vienodam TA kiekiui biokompozite	37
13 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) masės pasiskirstymas, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35	38
14 pav. Ekstruzijos proceso našumas, formuojant kompoziciją (DAC:TA35:KSL1), esant vienodam TA kiekiui kompozite ir naudojant skirtingo dydžio ir kiekio KSL1	39
15 pav. Ekstruzijos proceso našumas, formuojant kompoziciją (DAC:TA:KSL1/KSL2), kai DAC:TA masės santykis yra 65:35	39
16 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) specifinės mechaninės energijos rodikliai, esant vienodam TA kiekiui biokompozite	41
17 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) specifinės mechaninės energijos rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35	41
18 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) granulių nuotraukos, gautos optiniu mikroskopu, esant vienodam TA kiekiui kompozite	42
19 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) granulių nuotraukos, gautos optiniu mikroskopu, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35	43
20 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) masinio takumo rodikliai, esant vienodam TA kiekiui kompozite	44
21 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) masinio takumo rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35.....	44
22 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) injekcinio liejimo bandinių nuotraukos, gautos optiniu mikroskopu, esant vienodam TA kiekiui kompozite.....	46
23 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) injekcinio liejimo bandinių nuotraukos, gautos optiniu mikroskopu, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35	47
24 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) injekcinio liejimo suformuoti bandiniai, esant vienodam TA kiekiui kompozite.....	48
25 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) injekcinio liejimo bandiniai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35.....	48
26 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) stiprumo ribos rodikliai, esant vienodam TA kiekiui kompozite	50

27 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) stiprumo ribos rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35	51
28 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) stiprumo ribos trūkimo momentu rodikliai, esant vienodam TA kiekiui kompozite	52
29 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) stiprumo ribos trūkimo momentu rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35	53
30 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) stiprumo ribos santykinė ištįsa, esant vienodam TA kiekiui kompozite	54
31 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) stiprumo ribos santykinės ištįsa, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35	55
32 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) Jungo modulio rodikliai, esant vienodam TA kiekiui kompozite	56
33 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) Jungo modulio rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35	57
34 pav. Biokompozito (DAC58,5:TA31,5:10KSL2) gamybos technologinė schema: 1 – celiuliozės diacetato saugojimo silosas, 2 – triacetino saugojimo talpykla, 3 – kanapių sėklų lukštų saugojimo silosas, 4 – rotacinė džiovykla, 5 – išcentrinis siurblys, 6 – sraigtinis transporteris, 7 – sraigtinė maišyklė, 8 – ekstruderis, 9 – juostinis transporteris, 10 – granulatorius, 11 – sietas su optiniu spinduliu, 12 – išmetimo talpa, 13 – didmaišiai	58

Santrumpų sąrašas

DAC – celiuliozės diacetatas;

DAC:TA35:KSL1 – kompozicija, kurioje yra toks pat kiekis triacetino (35%), apskaičiuotas nuo bendros kompozito masės, keičiant kanapių sėklų lukštų, gautų iš MB „Bioproduktas“, kiekį ir frakcijų dalelių dydį bei celiuliozės diacetato kiekį;

DAC:TA:KSL1/KSL2 – kompozicija, kurioje yra tos pačios frakcijos skirtingas kiekis kanapių sėklų lukštų (MB „Bioproduktas“ arba „Rolando ir Irenos Šimkų natūrinis ūkis“), apskaičiuotas nuo bendros kompozito masės, o triacetino ir celiuliozės diacetato masės santykis atitinkamai sudaro 35:65;

KSL1 – kanapių sėklų lukštai, gauti iš MB „Bioproduktas“;

KSL2 – kanapių sėklų lukštai, gauti iš „Rolando ir Irenos Šimkų natūrinis ūkis“;

MTR – masinio takumo rodiklis;

TA – triacetinas;

TBC – tributilcitratas;

TEC – trietilcitratas.

Ivadas

Visuomenės susirūpinimas dėl vis didėjančio iškastinio kuro naudojimo, plastiko atliekų kiekio susidarymo ir šiltnamio efekto didėjimo, padidino susidomėjimą alternatyvių, aplinkai nekenksmingų medžiagų naudojimu. Plastikinės atliekos lėtai skaidosi dėl jų tam tikros struktūros, cheminės sudėties ir tai kelia didžiulę grėsmę. Remiantis aplinkos mokslininkų prognozėmis, iki 2050 m. sąvartynuose pasaulio plastiko atliekų bus apie 12 000 mln. tonų. Irstant plastikinėms medžiagoms išsiskiria kenksmingos cheminės medžiagos, kurios kelia grėsmę ne tik aplinkai, bet ir žmonių sveikatai [1].

Biokompozitai – viena iš pagrindinių alternatyvų, galinčių sumažinti neigiamą poveikį aplinkai. Biokompozitai, gauti iš natūralių atsinaujinančių šaltinių, gali tapti naftos pagrindų pagaminto plastiko pakaitalas. Biokompozitų kūrimui gali būti naudojamos tokios žaliavos kaip įvairios atliekos, surinktos iš maisto, miško ir žemės ūkio liekanų. Vienas iš svarbiausių ir pagrindinių biokompozitų privalumų – valdomas eksploatavimo pabaigos potencialas [1].

Atliekamo projekto mokslinė vertė yra naudojant biologinės kilmės žaliavas sukurti biokompozitą bei ištirti jo savybes, siekiant gauti pridėtinę vertę sukuriant produktą. Tyrimo metu yra naudojami kanapių sėklų lukštai – atliekinis produktas, kuris naudojamas termoplastinio biokompozito gamybai. Besiplečianti pluoštinių kanapių paklausa visame pasaulyje lemia šių atliekų – kanapių sėklų lukštų, didėjimą. Šios atliekos yra ekologiškos, draugiškos aplinkai, todėl naudojamos kartu su kitomis augalinės kilmės medžiagomis gali tapti alternatyva neekologiškoms, sintetinėms medžiagoms. Projektas yra aktualus ir patraukus šiuolaikiniai visuomenei dėl vis didėjančio šiltnamio efekto, kuris daro neigiamą poveikį ne tik aplinkai, bet ir žmonių sveikatai. Itin svarbu, kad ateities kartos galėtų džiaugtis švaria, gražia ir nepavojinga sveikatai aplinka.

Darbo tikslas – nustatyti skirtingos cheminės sudėties kanapių sėklų lukštų panaudojimo galimybes, gaunant termoplastinius biokompozitus ir ištirti gautų kompozicijų technologines ir mechanines savybes.

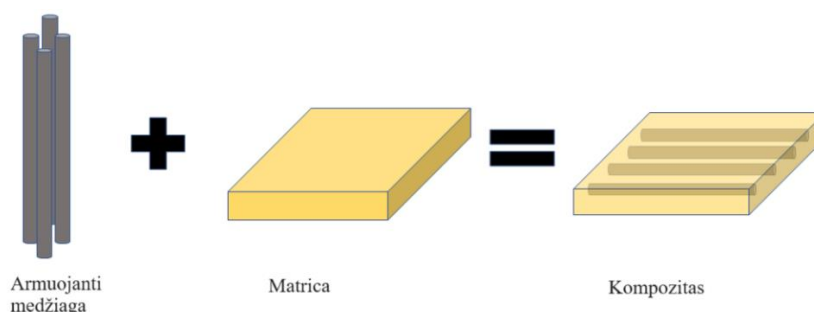
Darbo uždaviniai:

1. ištirti dviejų skirtingų gamintojų kanapių sėklų lukštų cheminę sudėtį;
2. suformuoti kanapių sėklų lukštų biokompozitus ekstruzijos būdu ir nustatyti technologinius rodiklius;
3. įvertinti gautų biokompozitų masinio takumo rodiklį ir gaminių mechanines savybes;
4. įvertinti biokompozito formavimo ir savybių pokyčius laikymo metu;
5. pateikti biokompozito granulių gamybos principinę technologinę schemą bei apskaičiuoti reikalingų žaliavų balansą.

1. Literatūros apžvalga

1.1. Kompozitai

Kompozitai – medžiagos sudarytos iš dviejų ar daugiau tarpusavyje netirpių, skirtingos cheminės sudėties komponentų. Kompozitą sudaro rišamoji medžiaga (matrica) ir joje pasiskirstęs užpildas (armuojanti medžiaga) [2] (žr. 1 pav. [4]). Taip pat dažnai yra pridama ir priedų, tokių kaip plastifikatorių, šviesos iš šilumos stabilizatorių, pigmentų, siekiant suteikti kompozitui tam tikrų savybių [3].



1 pav. Kompozito pagrindinės sudedamosios dalys [4].

Kiekviena kompozito sudedamoji dalis atlieka skirtingas funkcijas, susidarant stipriai struktūrinei medžiagai. Rišamoji medžiaga kompozitui suteikia formą, pagerina medžiagos kietumą, o užpildas suteikia standumo, stiprumo bei kitų mechaninių savybių [5].

Kompozitinės medžiagos turi daug privalumų, todėl šių medžiagų gamyba ir panaudojimo galimybės vis didėja. Kompozitinės medžiagos pasižymi lengvumu ir mažu tankiu. Šios savybės padeda lengviau ir greičiau formuoti sudėtingų formų gaminius. Kompozitams būdingas atsparumas valkšnumui, didelis standumas, stiprumas, mažas šiluminis plėtimasis, atsparumas korozijai, smūgiams, todėl dažnai tokios medžiagos naudojamos kaip alternatyva metalui (aliuminiui, plienui). Viena pagrindinių kompozitinių medžiagų privalumų yra galimybė integruoti į matricą jutiklius, kurie panaudojami medžiagų eksploatacinėms savybėms koreguoti ir stebėti [5].

Nors kompozitai turi nemažai privalumų, yra tam tikrų ir trūkumų. Kompozicinių medžiagų yra mažas eksploataavimo temperatūros intervalas, matricos dažnai būna trapios, pasižyminčios mažu kietumu [5].

Nepaisant turimų trūkumų, kompozitai jau daugelį metų yra labai plačiai naudojami įvairiose pramonės šakose. Pirmasis patentuotas kompozitas yra 1867 metais – gelžbetoninis gėlių padėklas, kurį išrado Joseph'as Monier'as. Šis išradimas pradėtas gaminti dvidešimtojo amžiaus viduryje Jungtinėse Amerikos valstijose [2]. Šiandien kompozicinės medžiagos naudojamos tokiose srityse kaip automobilių pramonė (automobilių kėbulai, sijos, plokštės), sporto prekės (snieglentės, slidės, šalmai, dviračiai, ritulio lazdos), kompiuterių, lėktuvų, mobiliųjų telefonų gamyboje [4].

Iš daugybės kompozitų klasifikavimo kriterijų, aktualiausias skirstymas yra pagal poveikį gamtai. Priklausomai nuo to ar kompozito gamybai naudojamos medžiagos iš atsinaujinančių šaltinių ar gaunamos naudojant naftos produktus, kompozitai skirstomi į sintetinius ir natūralius. Pastaruojų metu sintetiniai kompozitai kelia didelį susirūpinimą visuomenei, nes yra neperdirbami, naudojami

neatsinaujinantys šaltiniai, todėl pradėta ieškoti naujų alternatyvų, galinčių pakeisti sintetinius kompozitus natūraliais [6].

1.2. Biokompozitai

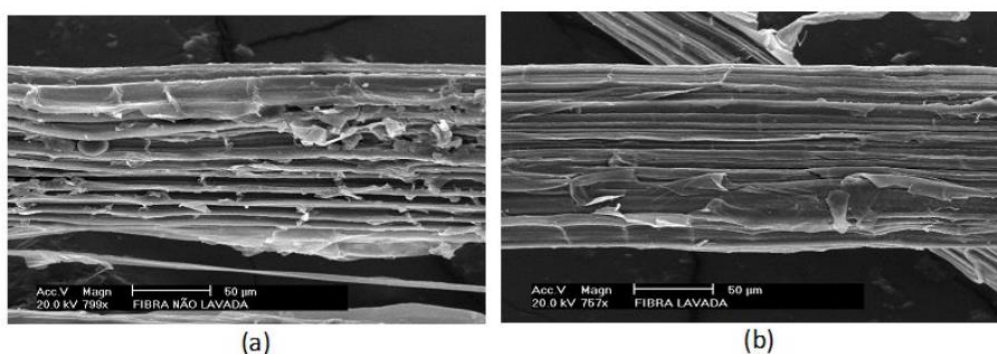
Biokompozitai – medžiagos, kurių viena iš sudedamųjų dalių (matricos ir armuojančios medžiagos) arba abi yra biologinės kilmės. Biokompozitų paklausa pastaruoju metu labai išaugo. Šių medžiagų panaudojimas dėl jų mažos kainos, lengvumo, biologinio skaidumo ir susirūpinimo dėl sintetinių, neatsinaujinančių medžiagų, išplito nuo namų apyvokos prekių iki automobilinių dalių [7]. Biokompozitai naudojami gaminant medicininę tekstilę, ugniai atsparius drabužius, jutiklius, kuro bakus, ginklus [8].

Tvarūs produktai ir medžiagos, taip pat ir biokompozitai jau nuo 2000 metų pradžios pradėjo traukti daugelį žmonių dėmesį, ypač po 2017 metais spalio mėnesio išleisto dokumentinio serialo „Blue Planet II“, kuriame pristatytas taršos poveikis įvairioms ekologinėms sistemoms, padidino žmonių suvokimą apie tvarumą, ypač apie biologinį skaidumą [9].

1.3. Biokompozitų gamyboje naudojamos natūralios armuojančios medžiagos

Biokompozitų gamybai dažniausiai naudojamos armuojančios medžiagos yra natūralūs augaliniai pluoštai. Kai kurie augaliniai pluoštai yra gaunami iš lapo dalies (bananų, kanapių, ananasų lapų pluoštai) iš žievės (linai, džiuatas), iš augalų sėklų (medvilnė, kapokas). Taip pat augaliniai pluoštai gali būti iš ryžių, kviečių ir avižių šiaudų, bambuko. Lyginant su sintetiniais, augaliniai pluoštai turi matmenų ir mechaninių savybių nevienodumą. Taip pat augalinio pluošto, naudojamo biokompozituose žema apdorojimo temperatūra (iki 200 °C), didelis drėgmės kiekio sugėrimas dėl pluošto hidrofiliškumo. Nepaisant trūkumų, augaliniai pluoštai vis labiau populiarėjanti medžiaga naudojama biokompozitų gamyboje, nes yra lengvai perdirbami, biologiškai skaidūs, netoksiški, nebraižantys liejimo mašinų, pigūs, lengvai dažomi, sunaudojamos mažesnės energijos sąnaudos biokompozito gamybos metu lyginant su sintetiniais pluoštais. Augaliniai pluoštai taip pat turi didesnę atsparumą dužimui, mažą šiluminio plėtimosi koeficientą, gerai slopiną garsą, didelį stiprį tempimo momentu, mažą susitraukimą [3].

Biokompozitų gamyboje augaliniai pluoštai sunkiai sukimba su matrica, dėl didelio pluoštų hidrofiliškumo. Šarminis pluoštų apdorojimas yra vienas dažniausiai naudojamų būdų norint pagerinti augalinių pluoštų paviršiaus lipnumo savybes (žr. 2 pav.) [3].



2 pav. Augalinio pluošto nuotrauka (a) ir augalinio pluošto, plauto 24 valandas 0,1 M NaOH tirpalu, nuotrauka (b) [3]

Apdorojant šarmais efektyvumas priklauso nuo šarminio tirpalo koncentracijas bei apdorojimo laiko ir temperatūros[3].

Visi augaliniai pluoštai yra sudaryti iš lignino, hemiceliuliozės ir celiuliozės. Pagrindinė augalinio pluošto sudedamoji dalis yra – celiuliozė [3].

Celiuliozė – polisacharidas, kurį sudaro β -gliukozės liekanos, sujungtos β -1,4-gliukozidiniais ryšiais. Celiuliozė 210 °C temperatūroje skyla, kaitinama be oro anglėja, nesilydo, atspari tempimui, netirpsta etanolyje, vandenyje, eteryje, gerai sugeria drėgmę. Celiuliozė atspari praskestiems rūgščių ir šarmų tirpalams [10]. Didelis hidroksigrupių kiekis celiuliozėje suteikia augaliniams pluoštams hidrofilinių savybių [3].

Hemiceliuliozės molekulinė masė mažesnė už celiuliozės. Pagrindinis skirtumas tarp hemiceliuliozės ir celiuliozės yra tas, kad hemiceliuliozės grandinė daug trumpesnės nei celiuliozės bei yra šakota, o celiuliozės linijinė. Priešingai nei celiuliozė, hemiceliuliozė sudaryta iš kelių monomerų: galaktozės, ksilozės, manozės, arabinozės. Ligninas – sudėtingos sudėties polimeras, kurį sudaro metoksi, karbonilo, ir hidroksi funkcinės grupės [3].

1.4. Biokompozitų gamyboje naudojamos natūralios matricos

Biokompozitų gamyboje dažniausiai naudojamos matricos yra natūralūs biologiškai skaidūs polimerai (celiuliozės dariniai, krakmolas, chitozanas). Natūralūs polimerai skirstomi į dvi grupes: gauti iš augalinių šaltinių ir gauti iš gyvulinių šaltinių (žr. 1 lentelę) [3].

1 lentelė. Natūralių biologiškai skaidžių polimerų klasifikavimas [3]

Augalų šaltinis	Angliavandeniai	Polisacharidai	Celiuliozė
			Krakmolas
			Pektinas
	Baltymai	Ligninai	Sojos dariniai
			Polipeptidai
			Polifenoliai
Gyvūnų šaltinis	Baltymai	Polisacharidai	Šilkas
			Vilna
			Polipeptidai
	Polisacharidai	Chitinas	
		Chitozanas	
		Glikogenas	

Natūralūs biologiškai skaidūs polimerai – tai polimerai, kurie susidaro natūraliai įvairių gyvų organizmų augimo ciklo proceso metu. Biologiškai skaidūs polimerai yra ekologiški, netoksiški, pigesni už sintetines medžiagas [3].

1.4.1. Celiuliozės diacetatas

Vienas iš natūralių biologiškai skaidžių polimerų, naudojamų biokompozitų matricoms, yra celiuliozės diacetatas (DAC). DAC pripažintas kaip vienas svarbiausių celiuliozės esterų, kadangi

yra labai plačiai naudojamas farmacijos pramonėje, dažų gamyboje, tekstilės gaminiuose, statybos pramonėje [3].

DAC yra balta, beskonė, bekvapė, netoksiška medžiaga dažniausiai gaminama granuliu ar miltelių pavidalu [11]. DAC gaminamas iš pradžių celiuliozę veikiant acto rūgštimi, o po acto rūgšties anhidridu esant katalizatoriui, pavyzdžiui sieros rūgščiai [12].

DAC pasižymi geromis mechaninėmis charakteristikomis (stiprumu, atsparumu smūgiams) bei skaidrumu [13]. Didžiausias ir pagrindinis šios medžiagos trūkumas yra aukšta stiklėjimo temperatūra, todėl gaminiai iš DAC negali būti formuojami terminio formavimo būdu (ekstruzijos, injekcinio liejimo). Dėl šios priežasties polimerą būtina plastifikuoti. Plastifikatoriai sumažina celiuliozės diacetato stiklėjimo temperatūrą, padidina lankstumą ir ištįsą trūkimo momentu [14].

1.4.2. Krakmolas

Krakmolas – gamtinis polisacharidas, kuris sudarytas iš gliukozės molekulių, sujungtų α -1,4 ir α -1,6 glikozidinėmis jungtimis. Jis kaupiasi augaluose vandenyje netirpių granuliu pavidalu, kurių dalelių dydis svyruoja nuo 1 μm iki 100 μm . Granuliu forma būna įvairi: disko, sferinės, plokščios formos. Krakmolo granuliu skaičius ir dydis gali labai skirtis net ir tos pačios rūšies augale [15].

Krakmolas yra kiekybiškai labiausiai dominuojantis angliavandenilis Žemėje, kuris daugiausiai sintetinamas augaluose bei kai kuriose meslvabakterijose. Tai universali medžiaga dėl savo pigumo, gausumo, biologinio skaidumo ir netoksiškų savybių. Krakmolas plačiai naudojamas daugelyje duonos, pieno gaminių, sriubų ir padažų. Pastaruoju metu krakmolas vis plačiau naudojamas ne tik maisto pramonėje, bet ir baldų, klijų, tekstilės gamyboje [15].

Naudojant plastifikatorius, pavyzdžiui gliceriną, kuris sumažina krakmolo stiklėjimo temperatūrą, galima pagerinti jo plastiškumą ir taip palengvinti gamininių, į kurių sudėti įeina krakmolas, formavimą [3].

1.4.3. Chitozanas

Chitozanas – polisacharidas, kuris gaunamas cheminiu būdu deacetylinaut chitiną. Taip pat chitozaną galima rasti ir gamtoje esančiuose kai kuriuose grybuose (lot. *Mucoraceae*). Chitinas yra gausus biopolimeras, kurį galima rasti vabzdžių odelėse, vėžiagyvių išoriniame skelete, grybų ląstelių sienelėse, dumbliuose [16]. Chitozано savybėms didelė įtaką daro gamybos procesas, nes nuo to priklauso chitozано acetilinimo laipsnis, t. y. laisvųjų amino grupių kiekis, kurios suteikia galimybę jungtis su neigiamą krūvį turinčiomis molekulėmis [17].

Chitozано struktūroje didelis kiekis amino grupių lemia jo gerą tirpumą rūgščiose vandeninėse terpėse. Tirpumas priklauso nuo įvairiausių veiksnių, tokių kaip temperatūra, pH, acetilinimo laipsnis. Chitozanas yra biologiškai skaidomas, netoksiškas, todėl gali būti plačiai naudojamas įvairiose pramonės šakose, ypač medicinoje, nes pasižymi antimikrobinėmis savybėmis [16].

1.5. Biokompozitų gamyboje naudojami plastifikatoriai

Plastifikatorius – tai priedas, kuris naudojamas padidinti medžiagos lankstumą, tempimą, perdirbimą, minkštumą bei sumažinti stiklėjimo temperatūrą [18] [19]. Plastifikatoriai taip pat sumažina polimero kietumą, klampumą, tankį, atsparumą lūžiams, turi įtakos polimero elektriniam laidumui, atsparumui biologiniam skilimui bei kitoms fizikinėms savybėms. Plastifikatoriai įprastai yra skysčiai,

pasižymintys aukšta virimo temperatūra, turintys ciklišką arba linijinę anglies grandinę (14–40 anglies atomų) [19]. Šiuo metu pasaulyje gaminama apie 100 įvairiausių plastifikatorių, tačiau iš jų tik apie 50 priskiriami prie komerciškai svarbių [18].

Tam, kad plastifikatorius pagerintų polimero savybes, jis turi būti gerai išmaišytas ir įterptas į polimerinę matricą. Dažniausiai tai atliekama polimerą kaitinant ir maišant kartu su plastifikatoriumi. Plastifikatorius su matrica nesukuria cheminių ryšių. Siekiant, kad plastifikatoriaus veikimas būtų efektyvus, jis turi matricoje judėti. Plastifikatoriaus mobilumo svarbą moksliniais tyrimais įrodė R. Navarro ir kiti mokslininkai, ištyrę ftalatinio plastifikatoriaus, surišto su polivinilchloridu migraciją matricoje. Atlikti tyrimai parodė, kad chemiškai su polimero matrica sujungtas plastifikatorius gerokai padidina stiklėjimo temperatūrą nuo $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ iki $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, todėl gautas gaminys pasižymi mažu lankstumu ir dideliu trapumu [18].

Skirtingi plastifikatoriai suteikia skirtingą poveikį polimero savybėms, kadangi skiriasi plastifikatoriaus ir makromolekulių sąveikos stiprumas [18]. Makromolekulių ir plastifikatoriaus suderinamumas yra labai svarbus, todėl plastifikatoriaus tirpumas turi būti artimas polimero, taip pat jis turi turėti mažą difuzijos greitį polimere bei mažą garų slėgį. Lengvam polimero formavimui didelę įtaką turi plastifikatoriaus koncentracija ir tipas [19].

Plastifikatoriai skirstomi į dvi grupes: vidinius ir išorinius. Išoriniai yra mažai lakios medžiagos, kurios sąveikauja su polimero grandinėmis, tačiau nėra chemiškai susiję su polimeru, todėl gali būti paprastai atskiriamos ekstrahuojant [19] [20]. Vidiniai plastifikatoriai yra neatskiriamos polimero molekulių dalys ir tampa galutinio produkto dalis. Jie minkštindami polimerus sumažina stiklėjimo temperatūrą ir tampro modulį. Taip pat plastifikatoriai gali būti skirstomi į pirminius ir antrinius. Jei esant didelio polimero koncentracijai polimeras tirpsta plastifikatoriuje, tuomet jis bus pirminis. Tokio tipo plastifikatorius naudojamas kaip vienintelis ir pagrindinis polimero plastifikatorius. Antriniai plastifikatoriai pasižymi ribotu suderinamumu su polimeru, todėl dažniausiai būna maišomi su pirminiais plastifikatoriais tam, kad būtų sumažintos gamybos sąnaudos ir pagerintos galutinio produkto savybės [19].

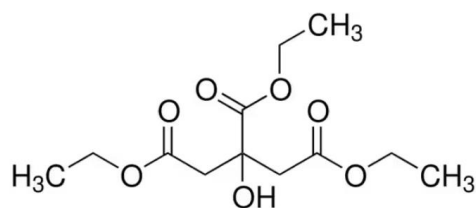
Plečiantis plastikinių gaminių gamybai, didėja ir plastifikatorių paklausa. Dabartinė rinka siūlo daug įvairiomis savybėmis pasižyminčių plastifikatorių, kuriuos galima pritaikyti skirtingoms reikmėms. Tačiau paskutiniu laikotarpiu kyla daug ginčų dėl ftalato naudojimo ir jo neigiamo poveikio žmonių sveikatai bei aplinkai, todėl vis didėja natūralių, netoksiškų plastifikatorių paklausa [19].

Idealus plastifikatorius turi pasižymėti tokiomis savybėmis kaip geru suderinamumu su polimeru, stabilumu plačiame temperatūrų intervale, turi būti nebrangus, atsparus migracijai ir išplovimui iš gaminio, atsparus fotolizei, užtikrinti lengvą polimero formavimą plačiame temperatūrų intervale, nekenkti sveikatai bei atitikti saugumo normas [21].

1.5.1. Trietilcitratas

Trietilcitratas (TEC) – citrinos rūgšties esteris (žr. 3 pav.). Ši medžiaga gaunama esterifikuojant citrinų rūgštį ir etanolį, naudojant katalizatorių. Tai bekvapis, bespalvis, klampus, higroskopinis, kartaus skonio skystis. TEC tankis $1,14\text{ g/ml}$ (esant $25\text{ }^{\circ}\text{C}$), virimo temperatūra $235\text{ }^{\circ}\text{C}$, lydymosi temperatūra $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ [22].

TEC naudojamas kaip tirpiklis, kvapioji medžiaga bei pūtų stabilizavimo priemonė maisto produktuose, plastifikatorius celiuliozės acetatams, vinilo dervoms [22].

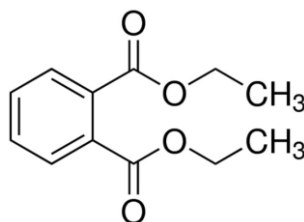


3 pav. Trietilcitrato struktūrinė formulė

Taip pat naudojamas kaip skonio stipriklis maisto pramonėje, kai priedas asmens higienos, kosmetikos gaminiuose, cigarečių filtrų gamyboje [22].

1.5.2. Dietilftalatas

Dietilftalatas – ftalio rūgšties dietilo esteris (žr. 4 pav.). Ši medžiaga gaunama ftalio anhidridui reaguojant su etilo alkoholiu, esant sieros rūgščiai. Tai bespalvis, stipraus kvapo, praktiškai netirpstantis vandenyje, kartaus skonio skystis. Dietilftalato tankis 1 g/l (esant 25 °C), lydymosi temperatūra -3 °C, virimo temperatūra 298 °C. Dietilftalatas gerai tirpsta benzene, acetone, alkoholiuose, ketonuose, aromatiniuose angliavandeniliuose, anglies tetrachloride [23].

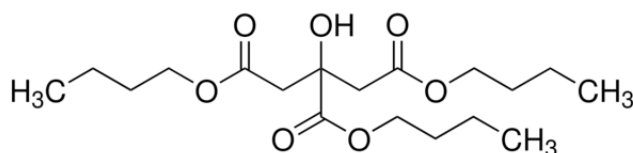


4 pav. Dietilftalato struktūrinė formulė

Dietilftalatas plačiai visame pasaulyje naudojamas kaip tirpiklis, plastifikatorius (padidina polimero lankstumą), fiksatorius, putojantis agentas spalvotiems metalams. Taip pat naudojamas kosmetikos pramonėje gaminant dezodorantus, kvėpalus, emolientus [23].

1.5.3. Tributilcitratas

Tributilcitratas (TBC) – citrinų rūgšties esteris (žr. 5 pav.). Ši medžiaga gaunama esterifikuojant citrinų rūgštį ir n-butanolį, naudojant katalizatorių [24].



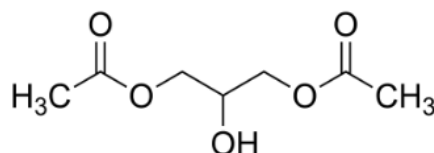
5 pav. Tributilcitrato struktūrinė formulė

TBC bekvapis, bespalvis, nelakus, vandenyje praktiškai netirpus skystis. TBC virimo temperatūra 234 °C, tankis 1,043 g/ml (esant 20 °C), lydymosi temperatūra 300 °C, tirpsta daugumoje organinių tirpiklių. TBC naudojamas kaip plastifikatorius, pakuočių, skirtų maistui gamyboje, medicinos bei

kosmetikos pramonėje, žaislams gaminti. Ši medžiaga gaminiams suteikia atsparumą vandeniui, šalčiui, spalvų stabilumą [24].

1.5.4. Diacetinas

Diacetinas – glicerolio esteris (žr. 6 pav.). Tai bespalvis, higroskopiškas skystis. Diacetinas gerai tirpsta alkoholyje, benzene, eteryje ir vandenyje. Virimo temperatūra 280 °C, lydymosi temperatūra -30 °C, tankis 1,17 g/ml (esant 25 °C), santykinis garų tankis lyginant su oru 6,1 [25].

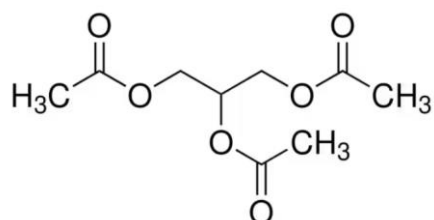


6 pav. Diacetino struktūrinė formulė

Diacetinas plačiai naudojamas kaip tirpiklis, minkštiklis ir plastifikatorius [25].

1.5.5. Triacetinas

Triacetinas (TA) – glicerolio esteris (žr. 7 pav.). Ši medžiaga gaunama esterifikuojant glicerolį ir acto rūgštį, esant katalizatoriui. TA yra bekvapis, bespalvis, kartaus skonio, klampus, tirpstantis vandenyje, eteryje, alkoholyje ir kituose organiniuose tirpikliuose skystis. TA santykinis garų tankis lyginant su oru 7,52, virimo temperatūra 258 °C, lydymosi temperatūra 3 °C, tankis 1,16 g/ml (esant 25 °C) [26].



7 pav. Triacetino struktūrinė formulė

TA yra netoksiškas, nedirginantis, todėl labai plačiai naudojamas kaip plastifikatorius, kvapų fiksatorius, dažų sintezėje, vaistų, kosmetikos, cigarečių filtrų, kvėpalų bei maisto produktų gamyboje [26].

1.6. Biokompozito formavimo į gaminius metodai

Biokompozitus formuoti galima vykdant tiesioginį presavimą, ekstruziją, pultruziją, rankų liejimo technika, injekcinį liejimą [27].

1.6.1. Tiesioginio presavimo metodas

Tiesioginio presavimo metodas yra labai plačiai naudojamas, kadangi yra vienas iš paprasčiausių metodų, naudojamų biokompozitų gamyboje. Paruošta biokompozito masė dedama tarp dviejų įkaitintų aliuminio lakštų. Apatinėje dalyje esantis lakštas turi tam tikrą formą, kurią po tiesioginio presavimo įgauna galutinis produktas. Formavimo proceso metu yra kontroliuojama lakštų temperatūra ir presavimo slėgis. Toks formavimo metodas neužtrunka daug laiko, užtikrina gerą produkto vienalytiškumą, suteikia galimybę formuoti įvairaus dydžio ir formos gaminius [27]. Šis

procesas susideda iš biokompozito masės kaitinimo, veikiant tam tikram slėgiui uždaroje formos ertmėje. Uždaroje formos ertmėje biokompozito masė suskystėja ir įgauna apatinio aliuminio lakšto formą. Sumažinus proceso temperatūrą gaminys sukietėja įgaudamas galutinę produkto formą, tuomet ištraukiamas iš vėsintame kambario temperatūroje [28].

1.6.2. Ekstruzija

Ekstruzija – sudėtingas formavimo metodas. Naudojant šį formavimo metodą biokompozito masė tiekama į ekstruderį patenką ant besisukančio sraigto ar sraigtų. Ekstruderio korpusas yra šildomas, todėl tiekama masė išsilydo ir išteka pro ekstruderio galvutę. Ekstruzijos metu yra kontroliuojama proceso temperatūra, slėgis, sraigtų sukimosi greitis. Nuo šių parametrų, taip pat ir nuo biokompozito drėgmės, plastifikatoriaus kiekio priklauso galutinio produkto savybės [27].

Pagrindinės ekstruderio dalys yra cilindras, sraigtas, variklis ir profiliojanti galvutė. Variklis teikia energiją ekstruderio sraigtams, todėl taip užtikrinamas reikiamas sraigtų sukimosi greitis, o cilindro korpusas suskirstytas į kelias sekcijas suteikia galimybę kaitinti arba vėsinti tam tikras ekstruderio vietas. Ekstruderis skirstomas į tris zonas: transportavimo, suspaudimo/maišymo bei dozavimo/lydymosi. Transportavimo zona skirta nuolat medžiagą tiekti į suspaudimo zoną, suspaudimo zonoje medžiaga maišoma ir sutankinama vienu metu, o dozavimo zonoje išsilydžiusi medžiaga tiekiamo pro ekstruderio profiliojančią galvutę [29].

1.6.3. Pultruzija

Pultruzija – nenutrūkstamas bei efektyvus procesas gaminant labai ilgus pluoštu sustiprinto polimero kompozitus. Šis metodas plačiai ir dažnai naudojamas kompozitų pramonėje dėl automatizuoto, nuolatinio ir produktyvaus gamybos pobūdžio. Pultruzijos formavimo metodas užtikrina greitą gaminių formavimą, gerą gaminių kokybę bei mažas gamybos sąnaudas. Pultruzijos procesas prasideda traukiant pluoštą ant ištisinių pusverpalių arba ritinėlių. Armuojantis pluoštas nuolat tiekiamas į specialią vonią, kurioje yra impregnuojamas polimero lydalu. Po impregnavimo gautas produktas, prieš tiekiant į kaitinamą presą, yra pašildomas. Tuomet sukietėjęs produktas, naudojant pjovimo įrenginį yra supjaustomas į reikiamo dydžio gaminius. Pultruziniai gaminiai pasižymi geru matmenų stabilumu, bei stiprumu [30].

1.6.4. Rankų liejimo technika

Rankų liejimo technika – metodas pagrįstas pluošto impregnavimu rulonu arba šepėčiu, įdėta į formą, rankomis. Tuomet polimeru impregnuotas pluoštas paliekamas išdžiūti atmosferos slėgyje, kambario temperatūroje. Priklausomai nuo pluošto savybių, vienu metu galima tepti ir keliais sluoksniais. Ši gamybos procesą sudaro atskirų sluoksnių klojimas rankiniu būdu. Pluoštai, pagal norimas produkto savybes gali būti išdėstomi skirtingai, taip sukuriant vienkryptį sluoksnį arba skirtingų kryptių. Rankų liejimo technikos formavimo būdas yra pigus, tačiau sunku gauti aukštos kokybės produktus, gamyba užtrunka daug laiko bei gaunamos didelės medžiagų sąnaudos [27].

1.6.5. Injekcinis liejimas

Injekcinis liejimas – ekonomišką, perspektyvų, dažniausiai papildomos apdailos nereikalaujantis biokompozitų formavimo metodas. Daugelis liejimo mašinų yra universalios, pritaikant atitinkamas sudėtingas geometrines formas, reikalingas galutiniams produktams gaminti. Injekcinio liejimo gamybos būdas yra gana paprastas. Suformuota biokompozito masė yra kaitinama cilindre

tol, kol tampa klampiu tirpalu, tuomet išspaudžiama iš cilindro į uždara formą. Formoje medžiaga kurį laiką aušinama, po aušinimo forma atidaroma, o suformuotas gaminys išimamas. Injekcinio liejimo metu biokompozito masė yra kaitinama aukščiau jos lydymosi temperatūros, todėl kieta biokompozito masė virsta mažo klampumo išlydytu skysčiu. Mažas lydalo klampumas leidžia visiškai pilnai užpildyti formą. Injekcinį liejimą apima šios stadijos: medžiagos lydymas, įpurškimas į formą, uždarytos formos laikymas, gauto produkto ataušinimas ir išėmimas [31].

Biokompozitų, gautų injekcinio liejimo metu pagrindiniai trūkimai yra įtrūkimai ir tuštumos. Šių defektų atsiradimas priklauso nuo proceso slėgio ir temperatūros. Didinant slėgį, galima išvengti tuštumų, tačiau didelė tikimybė atsiranda įtrūkimų formavimui, todėl kiekvienu atveju reikia parinkti tinkamas proceso sąlygas [32].

1.7. Pluoštinės kanapės

Pluoštinė kanapė – kanapinių (lot. *Cannabaceae*) šeimos augalų rūšis. Šios rūšies kanapėse pagal bendrosios žemės ūkio politikos nuostatus, tetrahidrokanabinolio kiekis yra labai mažas (neviršija 0,3 %). Pluoštinės kanapės auginamos dėl šių augalų panaudojimo pramoniniais tikslais galimybių [33].

Kanapės žmonių civilizacijoje yra naudojamos jau nuo 8000 m. per. Kr. Tai yra vienas seniausių kultivuojamų augalų pasaulyje, išsivystęs iš laukinių kanapių, augusių Vidurinėje Azijoje, o vėliau išplitęs į Afriką, Pietų Ameriką, Europą. Pirmos kanapės buvo pasodintos Čilėje 1500 m. Šis augalas ilgą laiką buvo naudojamas tekstilėi, maisto, kosmetikos, medicinos pramonėje [34].

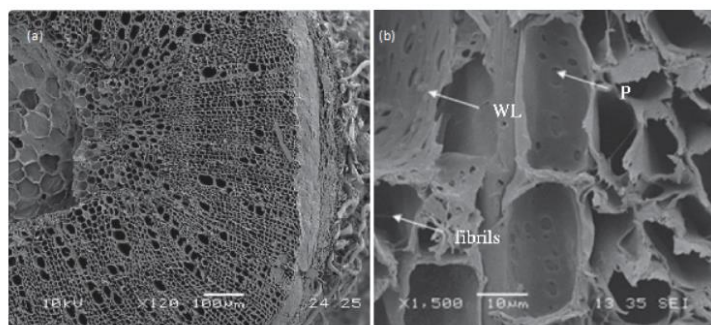
Kanapė – vienmetis kultūrinis augalas, kuris priklauso kanapinių (lot. *Cannabaceae*) šeimai ir magnolijūnų (lot. *Magnoliophyta*) skyriui [36].

Pastaraisiais metais Europos sąjungoje žemės plotas, skirtas pluoštinėms kanapėms auginti smarkiai padidėjo nuo 19970 ha (2015 m.) iki 34960 ha (2019 m), t.y. plotas skirtas pluoštinėms kanapėms auginti padidėjo net 75 %. Lygiagrečiai padidėjo ir pluoštinių kanapių auginimo apimtys nuo 94120 tonų iki 152820 tonų. Prancūzija – didžiausia pluoštinių kanapių augintoja. Šioje šalyje išauginama daugiau kaip 70 % visoje Europos sąjungoje išauginamų pluoštinių kanapių. Antrąją vietą pagal kanapių auginimą užima Nyderlandai, trečiąją Austriją [33].

Pluoštinių kanapių nauda aplinkai yra didelė. Jos sugeria anglies dioksidą. Vienas hektaras auginamų pluoštinių kanapių sugeria nuo 9-15 tonų anglies dioksido (panašiai tiek kiek sugeria visiškai jaunas miškas). Pluoštines kanapes naudojant sėjomainoje galima apsaugoti augalus nuo per dirvožemį plintančių ligų. Šios kultūros augalai greitai užauga, taip užstodamos dirvožemį nuo saulės šviesos ir neleisdamos piktžolėms augti. Taip pat tankūs pluoštinių kanapių lapai padeda apsaugoti dirvožemį nuo vandens praradimo. Pluoštinės kanapės užauga vos per penkis mėnesius, o auginti galima prisidedant prie biologinės įvairovės palaikymo – nenaudojant insekticidų, fungicidų, herbicidų [33].

Cheminė pluoštinių kanapių sudėtis yra viena iš pagrindinių biomasės savybių nuo kurios priklauso galutinių produktų savybės. Į pluoštinių kanapių biomasės cheminę sudėtį įeina celiuliozė, hemiceliuliozė, ligninas, riebalai, baltymai. Skirtingų rūšių pluoštinių kanapių biomasės cheminė sudėtis gali nežymiai skirtis [37]. Kanapių sėklose baltymų yra apie 20-30 %, lipidų 20-25 %, celiuliozės ir hemiceliuliozės 20-30 %, riebalų 20-30 % [38].

Pagrindinės pluoštinių kanapių dalys yra stiebas, žiedai, lapai, šaknys ir sėklos. Kanapių stiebą sudaro du sluoksniai: vidinis ir išorinis (žr. 8 pav.) [38].

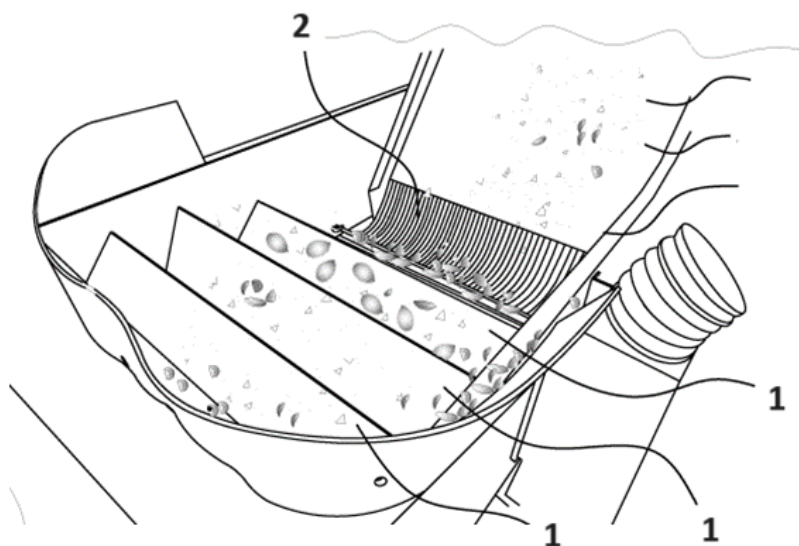


8 pav. Pluoštinių kanapių stiebo skersinis pjūvis (a); stiebo indų sienelė (b) [37]

Išorinį sluoksnį sudaro vertingi pluošto ryšuliai, kurie vadinami karnienos pluoštu. Vidinį sluoksnį sudaro sumedėjęs (ksilemo šerdies korpusas), mažiau vertingas komponentas, vadinamas šerpeto arba šerdies pluoštu. Kanapių stiebo ksilemo šerdis sudaro 85 % visos biomasės, o karnienos pluoštas 15 % [38].

Pluoštinės kanapės yra tvarus, universalus augalas, kurio praktiškai visas dalis galima panaudoti įvairiems produktams gaminti. Tiek išlukštentos tiek neišlukštentos sėklos naudojamos kaip pašaras gyvūnams, maisto produktų gamyboje, kosmetikos gaminiuose, aliejaus gamyboje. Iš stiebo yra gaunami pluoštai ir spalvai, kurie plačiai naudojami statybinėms medžiagoms, tekstilei, popieriui gaminti. Iš kanapių žiedo yra gaminami įvairiausi farmacijos bei kosmetikos produktai, eteriniai aliejai [87].

Kanapių sėkloms atskirti nuo lukštų yra sukurti specialūs lukštenimo įrenginiai (žr. 9 pav.) [39].



9 pav. Sėklų lukštenimo įrenginys: 1 – vibruojantis korpusas; 2 – besisukantis vamzdinis tinklelis

Lukštenimo procesas apima tris stadijas. Pirmojoje stadijoje sėklos paduodamos į vibruojantį korpusą (1). Šioje stadijoje besidaužanti neišlukštentą sėklą į korpuso sieneles ir vieną į kitą atsiskiria nuo lukšto. Antroje stadijoje nuo lukšto atsiskyrusi sėkla patenka ant besisukančio vamzdinio tinklelio (2). Tinklelį sudaro skylutes, pro kurias pasišalina lukštai. Trečiojoje stadijoje atskirtos nuo lukštų sėklos paduodamos į surinkimo angą, kur toliau gali būti tiekiamos į maišus arba į separavimo įrenginį [39].

1.8. Ryžių lukštų biokompozitai

Ryžių atliekos (lukštai) yra nebrangūs, o jų susidarymo kiekiai labai dideli, todėl vis plačiau biokompozitai iš ryžių lukštų yra naudojami pakavimo pramonėje. Gamybinių požiūriu ryžių lukštai gali būti naudojami siekiant sumažinti gamybos sąnaudas ir atitikti keliamus reikalavimus ekologiškoms pakavimo medžiagoms [40].

Ryžiai auginami daugelyje pasaulio šalių, o tokiose šalyse kaip Kinija, Tailandas, Indija, Filipinai yra laikomi pagrindiniu maisto šaltiniu, todėl atitinkamai ir šios augalo rūšies atliekų kiekiai yra pakankamai dideli [40].

Biokompozitai, pagaminti iš ryžių lukštų pasižymi dideliu atsparumu termitams, grybams, maža drėgmės adsorbcija. Į tokio biokompozito sudėtį dažniausiai įeina 50–70% polimero (polietileno). Biokompozitai iš ryžių lukštų dažniausiai formuojami ekstruzijos ar injekcinio liejimo būdu [40].

1.9. Literatūros apžvalgos apibendrinimas ir baigiamojo projekto pagrindimas

Biokompozitai žinomi jau daugelį metų. Šių tvarių, biologiškai skaidžių medžiagų panaudojimas, lyginant su sintetinėmis medžiagomis, tokiomis kaip plastikas, vis dar nėra toks paklausus. Biokompozitų gamyboje naudojamų matricų, armuojančių medžiagų ir užpildų pasirinkimas yra ganėtinai didelis. Taip pat didelis ir formavimo į gaminius technologinis pasirinkimas.

Vis didėjanti sintetinių medžiagų, naudojamų įvairių produktų gamyboje, paklausa kelia didelį aplinkosauginį susirūpinimą, todėl ypač aktualu ieškoti alternatyvių, gamtai draugiškų medžiagų. Biologinės kilmės atliekos gali tapti puikia produkta, pagamintu iš sintetinių medžiagų, alternatyva. Didėjant pluoštinių kanapių auginimo plotams, didėja ir celiuliozinių atliekų kiekis, o šias panaudojus biokompozitų gamybai, galima gauti pridėtinę vertę sukuriančius, gamtai draugiškus, produktus, tačiau literatūroje vis dar nėra duomenų apie kanapių sėklų lukštų naudojimą biokompozito gamyboje.

Projekto tema atspindi visiškai naują, dar netirtą, kanapių sėklų lukštų utilizavimo būdą, panaudojant juos biokompozito gamyboje, kurio matrica taip pat sudaryta iš gamtai draugiškos, netoksiškos medžiagos – DAC. Toks kanapių sėklų lukštų panaudojimo būdas leistų ateityje sumažinti celiuliozinių atliekų kiekį bei išvengti aplinkosauginį susirūpinimą keliančių nedraugiškų aplinkai medžiagų naudojimą, tuo pačiu metu gaminant pridėtinę vertę sukuriančius produktus bei prisidedant prie tvarios žiedinės ekonomikos kūrimo.

2. Tiriamoji dalis

2.1. Medžiagos ir metodai

Tyrimams atlikti naudotos medžiagos pateiktos 2 lentelėje.

2 lentelė. Tyrimams atlikti naudotos medžiagos

Medžiaga	Elementinė formulė	Gamintojas	Papildomi duomenys
Kanapių sėklų lukštai (KSL1)	-	MB „Bioproduktas“	Drėgnis 7,3 %
Kanapių sėklų lukštai (KSL2)	-	„Rolando ir Irenos Šimkų natūrinis ūkis“	Drėgnis 8,5 %
Azoto rūgštis	HNO ₃	UAB „Eurochemicals“	Koncentruota (98 %)
Etanolis	C ₂ H ₅ OH	UAB „Eurochemicals“	Naudojamas α-celiuliozės kiekio nustatymui kanapių sėklų lukštuose
Sieros rūgštis	H ₂ SO ₄	UAB „Eurochemicals“	Lignino kiekio nustatymui naudojama 72 %, o baltymų kiekio nustatymui 98 %
Vanduo	H ₂ O	Pagaminta KTU	Distiliuotas
Kjeldalio katalizatorius	-	Pagaminta KTU	Sudėtis: 96,5 % K ₂ SO ₄ , 1,5 % CuSO ₄ , 2,0 % SeO ₂
Kalio hidroksidas	KOH	UAB „Eurochemicals“	Naudojamas baltymų kiekio nustatymui kanapių sėklų lukštuose
Natrio hidroksidas	NaOH	UAB „Eurochemicals“	Naudojamas baltymų kiekio nustatymui kanapių sėklų lukštuose
Heksanas	C ₆ H ₁₄	UAB „Eurochemicals“	Naudojamas kaip tirpiklis riebalų kiekio nustatymui kanapių sėklų lukštuose
Celiuliozės diacetatas	[C ₁₄ H ₂₈ O ₁₃] _n	UAB „Daicel Corporation“	Kieta medžiaga, naudojama biokompozito matriciai
Triacetinas	C ₉ H ₁₄ O ₆	UAB „Eurochemicals“	Plastifikatorius

2.1.1. α-celiuliozės kiekio nustatymas

α-celiuliozės kiekio nustatymas atliekamas iš pradžių svarstyklėmis pasveriant 1 g bandinio (KSL1 ir KSL2) 0,001 g tikslumu. Pasverti lukštai suberiami į apvaliadugnę kolbą ir užpilami 30 ml tirpalų mišiniu, sudaryto iš koncentruotos azoto rūgšties (HNO₃konc.) ir etanolio (C₂H₅OH), santykiu 1:4. Gautas lukštų ir tirpalo mišinys kaitinamas virimo temperatūroje, naudojant kaitlentę, 1 valandą. Praėjus nustatytam terminui, tirpalas nupilamas per iš anksto konvekciniėje krosnyje iškaitintą, eksikatoriuje atvėsintą ir pasvertą stiklo filtrą. Apvaliadugnėje kolboje likę kanapių sėklų lukštai vėl užpilami 30 ml HNO₃konc. ir C₂H₅OH mišiniu. Procedūra iš viso kartojama tris kartus (bendra kaitinimo trukmė 3 valandos). Pasibaigus trečiajam kaitinimui bandinys filtruojamas pro stiklo filtrą

ir plaunamas, iš pradžių $\text{HNO}_{3\text{konc}}$. ir $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ mišiniu, po to karštu vandeniu iki neutralios pH terpės. pH terpės nustatymui naudojami indikatoriaus lapeliai.

Stiklo filtras su bandiniu džiovinamas $105\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje konvekciniėje džiovykloje iki pastovios masės. Po džiovinimo apskaičiuojamas likusio bandinio kiekis procentais, kuris lygus α -celiuliozės kiekiui bandinyje (žr. 1 formulę).

$$C = \frac{m_{\text{st1}} - m_{\text{st0}}}{m_{\text{prad}}} \cdot 100, \% \quad (1)$$

Čia:

m_{st0} – iškaitinto tuščio stiklo filtro masė, g;

m_{st1} – iškaitinto stiklo filtro masė po atlikto bandymo, g;

m_{prad} – pradinė bandinio masė, g;

C - α -celiuliozės kiekis bandinyje, %.

2.1.2. Lignino kiekio nustatymas

Lignino kiekiui nustatyti, svarstyklėmis pasveriami 1 g kanapių sėklų lukštų, kurie suberiami į karščiui atsparią 400 ml matavimo stiklinę. Į matavimo stiklinę taip pat įpilama 15 ml 72 % H_2SO_4 . Kambario temperatūroje ($\sim 21\text{ }^\circ\text{C}$) bandinys laikomas 24 valandas. Po to į matavimo stiklinę įpilama 200 ml distiliuoto vandens ir naudojant kaitlentę virinama 4 valandas. Praėjus 4 valandoms, tirpalas kartu su kanapių sėklų lukštais filtruojamas pro iš anksto konvekciniėje krosnyje iškaitintą, eksikatoriuje atvėsintą ir pasvertą stiklo filtrą. Po to karštu vandeniu plaunama iki neutralios pH terpės. pH terpės nustatymui naudojami indikatoriaus lapeliai.

Stiklo filtras kartu su bandiniu džiovinamas konvekciniėje krosnyje $105\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje iki pastovios masės. Po džiovinimo apskaičiuojamas likusio bandinio kiekis procentais, kuris lygus lignino kiekiui bandinyje, pagal formulę:

$$L = \frac{m_{\text{st1}} - m_{\text{st0}}}{m_{\text{prad}}} \cdot 100, \% \quad (2)$$

Čia:

m_{st0} – iškaitinto tuščio stiklo filtro masė, g;

m_{st1} – iškaitinto stiklo filtro masė po atlikto bandymo, g;

m_{prad} – pradinė bandinio masė, g;

L - lignino kiekis bandinyje, %.

2.1.3. Baltymų kiekio nustatymas

Baltymų kiekio nustatymas atliekamas Kjeldalio metodu. Svarstyklėmis pasveriami 0,7 g kanapių sėklų lukštų, kurie suberiami į Kjeldalio kolbas. Į Kjeldalio kolbas taip pat įberiami 1,5 g Kjeldalio katalizatoriaus ir naudojant matavimo pipetę, įpilama 4,5 ml koncentruotos sieros rūgšties

($H_2SO_{4\text{konc.}}$). Naudojant kaitlentę, kolbos atsargiai kaitinamos virimo temperatūroje tol, kol bandiniai tampa skaidrūs.

Pasibaigus kaitinimo procesui vykdoma distiliacija vandens garais. Mėginiai iš Kjeldalio kolbos kiekybiškai perpilami į 100 ml matavimo kolbas, kruopščiai, kelis kartus, praplaunant Kjeldalio kolbą distiliuotu vandeniu. Po to į matavimo kolbą įpilama 20 ml 50 % KOH tirpalo. Susidaręs NH_4SO_4 sureaguoja su šarmu, susidarant amoniakui, kurio garai susikondensavę kondensatoriuje, patenka į kūginę 300 ml kolbą. Distiliatui surinkti kondensatoriaus išėjimo vamzdelio galiukas turi būti pamerktas į 300 ml talpos kolbą, kurioje yra įpilta 25 ml 0,05 M koncentracijos H_2SO_4 tirpalo ir 2-3 lašai Kjeldalio indikatoriaus tirpalo.

Surinktas distiliatas titruojamas 0,1 M koncentracijos NaOH tirpalu. Analogiškai atliekamas tuščio bandymo titravimas. Azoto kiekis, % apskaičiuojamas pagal formulę:

$$N = \frac{(V_0 - V) \cdot C \cdot 1,4}{m_{\text{band}}}, \% \quad (3)$$

Čia:

V_0 – 0,1 M NaOH kiekis, sunaudotas tuščiam bandiniui nutitruoti, ml;

V – 0,1 M NaOH kiekis, sunaudotas bandiniui nutitruoti, ml;

C – NaOH koncentracija (0,1 M);

m_{band} – bandinio masė, g;

N – azoto kiekis, %.

Azoto kiekis perskaičiuojamas į baltymų kiekį, dauginant gautą reikšmę iš koeficiento – 6,25 [41].

2.1.4. Riebalų kiekio nustatymas

Ekstrahavimas – tai procesas kurio metu naudojant tirpiklį iš skystos ar kietos fazės išskiriamos tam tikros medžiagos. Riebalų kiekio nustatymui naudojamas Soksleto aparatas.

Svarstyklėmis pasveriamas iš anksto konvekciniame krosnyje išdžiovinintas ir eksikatoriuje atvėsintas filtrinis popierius. Kanapių sėklų lukštai susukami į filtrinio popieriaus paketą ir pasveriami. Bandinys sudedamas į Soksleto aparato ekstrakcijos kamerą ir vykdomas ekstrahavimas, kaip tirpiklį, naudojant heksaną.

Kolboje esantis tirpiklis, naudojant kaitlentę, kaitinamas garuoja, vėliau susikondensuoja ir patenka į ekstrahavimo kamerą, kurioje yra bandinys, taip naudojamas tirpiklis – heksanas, tirpina riebalus ir kaupiasi kolboje. Ekstrakcija vykdoma 7 valandas.

Pasibaigus ekstrakcijai, paketas džiovinamas, iš pradžių kambario temperatūroje laikant 24 valandas, tam, kad nugaruotų likęs tirpiklis ir po to, džiovinama 105 °C temperatūroje konvekciniame krosnyje iki pastovios masės. Iš gauto mėginio sumažėjimo apskaičiuojamas riebalų kiekis, % pagal formulę:

$$R = \frac{(m_{f1} - m_{f0}) - (m_{f2} - m_{f0})}{m_{f1} - m_{f0}} \cdot 100, \% \quad (4)$$

Čia:

m_{f0} – filtro masė, g;

m_{f1} – filtro masė su bandiniu eksperimento pradžioje, g;

m_{f2} – filtro masė su bandiniu eksperimento pabaigoje, g;

R – riebalų kiekis, %.

2.1.5. Pelenų kiekio nustatymas

Pelenų kiekiui nustatyti, svarstyklėmis pasveriamas tuščias tiglio, tuomet pasveriamas 2,00 g kanapių sėklų lukštų, kurie po svėrimo įberiami į tigli. Tigliai su bandiniu kaitinami ant kaitlentės 30 min. Kaitinami tigliai ant kaitlentės periodiškai maišomi kas 5-6 min, esant poreikiui ir dažniau. Pasibaigus kaitinimo procesui, tigliai su bandiniu dedami į mufelinę krosnį, kurioje kaitinami 5 valandas 525 °C temperatūroje.

Po kaitinimo tigliai su pelenais atvėsinami eksikatoriuje ir pasveriami. Apskaičiuojamas likusio bandinio kiekis procentais, kuris lygus pelenų kiekiui bandinyje, pagal formulę:

$$P = \frac{m_{t1} - m_{t2}}{m_{prad}} \cdot 100, \% \quad (5)$$

Čia:

m_{prad} – pradinė bandinio masė, g;

m_{t0} – tuščio tiglio masė, g;

m_{t1} – tiglio masė po atliko eksperimento, g;

P – pelenų kiekis, kanapių sėklų lukštuose %.

2.1.6. Drėgmės kiekio nustatymas

Drėgnumui nustatyti, svarstyklėmis pasveriamas tuščias biuksas, tuomet įberiami kanapių sėklų lukštai ir biuksas su kanapių sėklų lukštais vėl pasveriamas. Po svėrimo biuksas su kanapių sėklų lukštais dedamas į konvekcinę džiovyklą džiovinimui. Džiovinimas vykdomas 105 °C temperatūroje iki tol, kol kanapių sėklų lukštų masė nebekinta.

Drėgmės kiekis, % kanapių sėklų lukštuose apskaičiuojamas pagal formulę:

$$W = \frac{(m_{bk0} - m_b) - (m_{bk1} - m_b)}{m_{bk0} - m_b} \cdot 100, \% \quad (6)$$

Čia:

m_b – tuščio biukso masė, g;

m_{bk0} – biukso masė su kanapių sėklų lukštais prieš džiovinimą, g;

m_{bk1} – biukso masė su kanapių sėklų lukštais po džiovinimo, g;

W – drėgmės kiekis, kanapių sėklų lukštuose, %.

Absoliučiai sausos medžiagos kiekis, % apskaičiuojamas pagal formulę:

$$SM = 100 - W, \% \quad (7)$$

Čia:

SM – absoliučiai sausos medžiagos kiekis, %.

2.1.7. Žaliavos paruošimas ir kompozicijų sudarymas

Biokompozitų gamybai naudojamos žaliavos: kanapių sėklų lukštai (KSL1 ir KSL2) ir DAC, frakcionuojami mechaniniu būdu, naudojant skirtingo akučių dydžio sietus. Lukštai išfrakcionuojami į 5 frakcijas, kurių dalelių dydis:

- >1,25 mm;
- <1,25 mm, bet > 1,00 mm;
- <1,0 mm, bet >0,63 mm;
- <0,63 mm, bet >0,16 mm;
- <0,16 mm.

Tyrimui naudojamas DAC frakcionuojamas, naudojant sietą, kurio akučių dydis 1 mm.

Kompozicijoms sudaryti apskaičiuojamas reikiamas komponentų kiekis. Siekiant nustatyti kokią įtaką kompozito savybėms turi kanapių sėklų lukštai, paruošiamas kompozitas į kurio sudėtį neįeina kanapių sėklų lukštai. Tokį kompozitą sudaro 35 % TA ir 65 % DAC. Reikiamų komponentų kiekis apskaičiuojamas pagal formules:

$$m_{TA} = \frac{m_k \cdot 35}{100}, g \quad (8)$$

Čia:

m_{TA} – TA kiekis kompozite, g;

m_k – kompozicijos bendra masė, g.

$$m_{DAC} = \frac{m_k \cdot 65}{100}, g \quad (9)$$

Čia:

m_{DAC} – DAC kiekis kompozite, g

Tyrimui, kai kompozicijoms sudaryti, naudojamas toks pat kiekis TA (35 %), tačiau keičiamas kanapių sėklų lukštų (KSL1) frakcijų dalelių dydis ir kiekis, kintant DAC kiekiui kompozite, TA kiekis apskaičiuojamas pagal 8 formulę, o DAC ir kanapių sėklų lukštų kiekiai apskaičiuojami pagal formules:

$$m_{DAC} = \frac{(m_k - m_{TA}) \cdot (100 - X)}{100}, g \quad (10)$$

Čia:

X – kanapių sėklų lukštų kiekis kompozite, %

$$m_{KSL} = m_k - m_{TA} - m_{DAC}, \text{ g} \quad (11)$$

Čia:

m_{KSL} – kanapių sėklų lukštų kiekis kompozite, g.

Tyrimui, kai kompozicijoms sudaryti, naudojamas tos pačios frakcijos skirtingas kiekis kanapių sėklų lukštų (KSL1 arba KSL2), o TA ir DAC kiekis kompozite atitinkamai sudaro 35 % ir 65 % nuo likusios masės, komponentų kiekiai apskaičiuojami pagal formules:

$$m_{KSL} = \frac{m_k \cdot X}{100}, \text{ g} \quad (12)$$

$$m_{DAC} = \frac{(m_k - m_{KSL}) \cdot 65}{100}, \text{ g} \quad (13)$$

$$m_{TA} = \frac{(m_k - m_{KSL}) \cdot 35}{100}, \text{ g} \quad (14)$$

Siekiant tarpusavyje palyginti kompozitų sudėtį, apskaičiuojama procentinė kompozito sudėtis pagal formulę:

$$m_{\text{komp}\%} = \frac{m_{\text{komp}} \cdot 100}{m_k}, \text{ \%} \quad (15)$$

Čia:

$m_{\text{komp}\%}$ – komponento (TA, DAC ar kanapių sėklų lukštų) sudėtis kompozicijoje, %;

m_{komp} – apskaičiuota komponento (TA, DAC ar kanapių sėklų lukštų) masė kompozicijoje, g;

Apskaičiavus reikiamus komponentų kiekius kompozitams sudaryti, visi komponentai suberiami į 500 ml matavimo stiklinę ir gerai mechaniniu būdu išmaišomi stikline lazdele. Matavimo stiklinė uždengiama plėvele ir paliekama kambario temperatūroje 24 valandoms, tam, kad TA molekulės įsiskverbtų į DAC, siekiant pagerinti gijų formavimą ekstruzijos būdu.

2.1.8. Kompozito ekstrudavimas

Ekstruzijos procesas vykdomas naudojant laboratorinį dviejų sraigtų ekstruderį ZE 12 HMI (TREE-Tec, Šveicarija), turintį 6 individualiai kontroliuojamas temperatūros zonas. Ekstruderio darbinės temperatūros intervalas nuo 20 °C iki 400 °C, galimas našumas nuo 50 g/val. iki 2,5 kg/val., maksimalus slėgis 150 bar, sraigtų diametras 12 mm. Sraigtų ilgio ir skersmens santykis 40:1.

Ekstruzijos procesas vykdomas nuolat beriant gautą kompoziciją į ekstruderio vertikalusį įkrovimo bunkerį. Įkrovimo bunkeryje kompozicija yra nuolat mechaniniu būdu maišoma, kad nesušoktu į didelius gabalus. Iš įkrovimo bunkerio bandinys patenka ant dviejų besisukančių sraigtų ir judėdamas sraigtų kanalais, lydosi. Proceso pabaigoje išsilydžiusi masė praspaudžiama pro profiliuojančią galvutę, taip suformuojant kompozito gijas.

Tyrimo metu parenkami atitinkami ekstruderio parametrai:

- sraigtų sukimosi greitis: 40 aps./min.;
- slėgis 6 sekcijoje: 20 bar;
- dozatoriaus greitis: 3,5 %.

Viso proceso metu ekstrudero skirtingose sekcijose palaikomos nekintančios temperatūros, kurios pateiktos 3 lentelėje.

3 lentelė. Temperatūros skirtingose ekstrudero sekcijose

Ekstrudero sekcija	1	2	3	4	5	6
Temperatūra, °C	60	130	190	190	190	190

Siekiant nustatyti ekstruzijos proceso našumą, chronometru matuojama ir pasveriami kiek gramų gaminio, per vieną minutę, išteka iš ekstrudero bei siekiant nustatyti kokį darbą atlieką ekstruderis, 1 kg medžiagos pagaminti, apskaičiuojama specifinė mechaninė energija (toliau – SME) kJ/kg, pagal formulę:

$$SME = \frac{\text{sukimosi momentas (Nm)} \cdot \text{sraigtų sukimosi greitis (aps./min)}}{\text{paduodamos medžiagos kiekis (kg/h)}}, \text{ kJ/kg} \quad (16)$$

2.1.9. Granuliavimas ir masinio takumo rodiklio nustatymas

Iš ekstrudero gautos gijos, tiekiamos į granuliatorių, kuris supjausto gijas 3m/min greičiu į atitinkamo dydžio granules. Gautos granulės vėliau naudojamos masinio takumo rodikliui nustatyti.

Siekiant nustatyti suformuoto kompozito gebėjimą tekėti prie atitinkamų temperatūrų ir apkrovų, tyrimo metu ištirtas masinio takumo rodiklis, kuris nustatomas naudojant plastomatį Thermo C – Flow. Plastomačio cilindro ilgis 170 mm, diametras 9,55 mm, darbinės temperatūros intervalas nuo 50 iki 400 °C.

Masinio takumo rodiklio nustatymas vykdomas, iš pradžių, po granuliavimo gautas granules svarstyklėmis pasveriant po 5 g. Pasirenkama reikiama cilindro temperatūra, kuri viso proceso metu palaikoma pastovi, bei laukiama, kol numatyta temperatūra bus pasiekta. Tuomet 5 g granulių rankiniu būdu, naudojant piltuvėlį, suberiami į vertikalų plastomačio cilindrą, į kurį įstatomas stūmoklis, apkrautas tam tikro svorio svareliu. Pakrovimas negali užtrukti ilgiau nei 1 minutę. Cilindro viduje esanti medžiaga juda žemyn, dėl stūmoklių veikiančios apkrovos, ir taip klampiatakėje būsenoje esantis bandinys yra išstumiamas pro plastomačio galvutę. Gauta ekstruduota gija, naudojant nukirtimo mechanizmą esantį plastomatyje, tam tikrais laiko tarpais yra nupjaunama. Matavimas baigiasi, kai stūmoklyje esanti nubrėžta riba pasiekia cilindro viršų. Surinktos, supjaustytos gijos pasveriamos, o eksperimentas kartojamas kelis kartus, siekiant vėliau įsivertinti standartinį kvadratinį nuokrypį.

Tyrimo metu parenkami atitinkami plastomačio parametrai:

- cilindro temperatūra: 190 °C;
- svarelio masė: 10 kg.

Lydalo masinio takumo rodiklis g/10 min, apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\text{MTR}(\theta, m_{\text{nom}}) = \frac{t_{\text{ref}} \cdot m_g}{t}, \text{ g/10 min} \quad (17)$$

Čia:

θ – bandinio klampiatakės būsenos temperatūra, °C;

m_{nom} – nominalioji apkrova, kg;

m_g – vidutinė nukirstų gijų masė, g;

t_{ref} – atskaitinė trukmė, s (600 s);

t – bandinio nukirtimo intervalas, s.

2.1.10. Injekcinis liejimas

Mechaninėms biokompozitų savybėms ištirti bei išsiaiškinti biokompozitų su kanapių sėklų lukštais formavimo į gaminius galimybes, atliktas injekcinis liejimas, naudojant Thermo Scientific HAAKE MiniJet Pro injekcinio liejimo aparatą. Po injekcinio liejimo gaunami kauliuko pavidalo formos kompozitai.

Injekcinis liejimas atliekamas, iš pradžių, svarstyklėmis pasveriant 5 g po granulatoriaus gautas granules. Tuomet parenkami atitinkami parametrai (temperatūra, slėgis, išlaikymo trukmė), kurie reikalingi bandiniui išsilydyti ir suformuoti norimą formą. Injekcinio liejimo aparato cilindrinis korpusas rankiniu būdu, naudojant piltuvėlį, pakraunamas granulėmis (5 g). Po pakrovimo, granulės rankiniu būdu, naudojant metalinę lazdelę, supresuojamos. Pakrovimas vykdomas ne ilgiau 1 minutės. Tuomet i cilindrinio korpuso vidų įstačius stūmoklį, cilindrinis korpusas įstatomas virš formos, į atitinkamą laikiklį. Laukiama kol cilindrinio korpuso temperatūra pasieks 190 °C bei paspaudus mygtuką, vykdoma injekcija. Pasibaigus procesui, prietaiso durelės atsidaro ir suformuotas gaminyš išimamas iš liejimo formos.

Tyrimo metu parenkami atitinkami injekcinio liejimo aparato parametrai:

- cilindro temperatūra: 190 °C;
- formos temperatūra: 20 °C;
- slėgis presavimo metu: 800 bar;
- slėgis po presavimo: 200 bar;
- išlaikymo trukmė: 20 s.

2.1.11. Tempimo bandymas

Tempimo bandymams atlikti naudojama tempimo mašina BDO – FBO. 5TH.P, kurios nominali jėga F_{nom} yra 500 N, ribinė jėga, 150 % F_{nom} , maksimali jėga 120 % F_{nom} , eksploatacijos temperatūra 20 °C – 60 °C.

Tyrimas atliekamas kambario temperatūroje, naudojant bandinius, suformuotus injekcinio liejimo metu. Tarp gnybtų parenkamas 50 mm atstumas, taip pat parenkamas suformuotų bandinių storis ir plotis, kuris atitinkamai lygus 2 mm ir 4 mm.

Bandinys įstatomas tarp lygiagrečiai esančių dviejų gnybtų ir paleidus tempimo mašiną bandinys yra tempiamas iki tol kol įtrūksta. Gaunami tempimo bandymo rezultatai, kurie parodo bandinio mechanines charakteristikas (stiprumo ribą σ_B , stiprumo ribą trūkimo momentu σ_R , stiprumo ribos santykinę ištįsą ϵ_R , Jungo modulį E).

2.1.12. Kietumo nustatymas

Kietumui nustatyti naudojamas Šoro D tipo kietmatis, kuris yra skirtas polimerinių medžiagų kietumui matuoti. Šoro D tipo kietmatis turi adatėlę, kuri, nuleidus prietaiso rankenėlę, nusileidžia ir įsminga į bandinį. Kietmačio skalė yra nuo 0 – 100, kuo gaunama vertė yra didesnė (artimesnė 100), tuo bandinys yra kietesnis.

Tyrimas atliekamas naudojant injekcinio liejimo metu suformuotus bandinius. Matavimai atliekami kambario temperatūroje, nesant vibracijai, stabilioje aplinkoje.

2.1.13. Rezultatų tikslumo ir patikimumo įvertinimas

Bandymai kiekvieno tyrimo atveju kartojami kelis kartus, o gautų bandymų rezultatų aritmetinis vidurkis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$X_{\text{vid}} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (18)$$

Čia:

N – bandymų skaičius;

X_i – vieno bandymo rezultatas;

X_{vid} – aritmetinis vidurkis.

Standartinis nuokrypis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{\text{vid}} - X_i)^2}{N-1}} \quad (19)$$

Čia:

$\sum_{i=1}^N (X_{\text{vid}} - X_i)^2$ – visų bandymų nuokrypio nuo aritmetinio vidurkio kvadratų suma;

S – standartinis kvadratinis nuokrypis.

2.2. Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

2.2.1. Kanapių sėklų lukštų cheminė sudėtis

Atlikto tyrimo metu, naudojant atitinkamas chemines medžiagas ir metodus, iširta KSL1 ir KSL2 cheminė sudėtis. Analizuojamų kanapių sėklų lukštų, laboratorijoje nustatyta cheminė sudėtis, pateikta 4 lentelėje. Tyrimo metu nustatyta, kokią procentinę lukštų dalį sudaro, α -celiuliozė, pelenai,

ligninas, riebalai ir drėgmė. Likęs, eksperimentiškai neatliktas, bet apskaičiuotas, remiantis gautais atlikto tyrimo duomenimis, yra hemiceliuliozės kiekis, kuris atitinkamai yra lygus 17,02 % (KSL1) bei 20,2 % (KSL2).

4 lentelė. Kanapių sėklų lukštų cheminė sudėtis

Sudedamosios dalys	KSL1	KSL2
α - celiuliozė	29,7±0,56 %	20,5±0,59 %
Pelenai	12,1±0,51 %	12,2±0,47 %
Ligninas	30,3±0,55 %	35,1±0,38 %
Baltymai	2,97±0,14 %	1,98±0,24 %
Riebalai	0,61±0,02 %	1,20±0,03 %
Drėgnis	7,3±0,26 %	8,5±0,04 %
Hemiceliuliozė	17,02±0,00 %	20,2±0,00 %

Analizuojant gautus rezultatus, matyti, kad kanapių sėklų lukštų didžiąją komponentų dalį sudaro ligninas, α -celiuliozė ir hemiceliuliozė. Atlikto tyrimo duomenimis KSL1 sudėtyje yra apie 1,5 karto daugiau α -celiuliozės ir baltymų, kurių kiekiai atitinkamai yra lygus 29,7±0,56 % ir 2,97±0,14 %, kai KSL2 nustatyta, kad šių medžiagų kiekiai yra 20,5±0,59 % ir 1,98±0,24 %. Tačiau KSL2 sudėtyje yra dvigubai daugiau riebalų (1,20±0,03 %), šiek tiek daugiau lignino (35,1±0,38 %), hemiceliuliozės (20,2±0,29 %) ir drėgnio (8,5±0,04 %). Tuo tarpu KSL1 šių komponentų kiekis atitinkamai lygus 0,61±0,02 %, 30,3±0,55 %, 17,02±0,34 % ir 7,3±0,26 %. Charakterizuojant žaliavą pagal 4 lentelėje pateiktus duomenis, matyti, kad pelenų kiekis, esantis KSL1 ir KSL2 ir charakterizuojantis mineralinių medžiagų kiekį, skiriasi tik per 0,1 %.

Panašių tyrimų, atliktų su kanapių sėklų lukštų komponentinės sudėties nustatymu, mokslinėje literatūroje nerasta, tačiau siekiant palyginti tyrimo metu gautus rezultatus, su kitais lukštais, 5 lentelėje pateikiami avižų lukštų tyrimų rezultatai, gauti iš mokslinių literatūros šaltinių.

5 lentelė. Avižų lukštų cheminė sudėtis [42]

Sudedamosios dalys	Avižų lukštai, auginti prie 15-16,5 °C temperatūros, ir 49-130 mm iškritusių kritulių kiekio	Avižų lukštai, auginti prie 17,7 °C temperatūros, ir 47,2 mm iškritusių kritulių kiekio
α - celiuliozė	17,2 %	25,7 %
Pelenai	6,0 %	6,3 %
Ligninas	25,4 %	12,9 %
Baltymai	1,7 %	7,4 %
Hemiceliuliozė	33,1 %	24,0 %

Analizuojant avižų lukštų cheminės sudėties nustatymo rezultatus, gautus iš mokslinių literatūros šaltinių, matyti, kad avižų lukštų cheminė sudėtis šiek tiek nuo kanapių sėklų lukštų skiriasi, tačiau nekardinaliai. Lyginant avižų lukštų cheminę sudėtį su kanapių sėklų lukštais – avižų lukštuose vyrauja didesnis pelenų (dvigubai daugiau) ir hemiceliuliozės kiekis, tačiau kanapių sėklų lukštų sudėtyje yra šiek tiek daugiau lignino. Mokslinėje literatūroje rasti cheminės sudėties nustatymo rezultatai, tos pačios rūšies avižų lukštų, augintų skirtingomis sąlygomis, paaiškina KSL1 ir KSL2 cheminės sudėties skirtumą, kuris priklauso nuo auginimo sąlygų (temperatūros ir drėgmės).

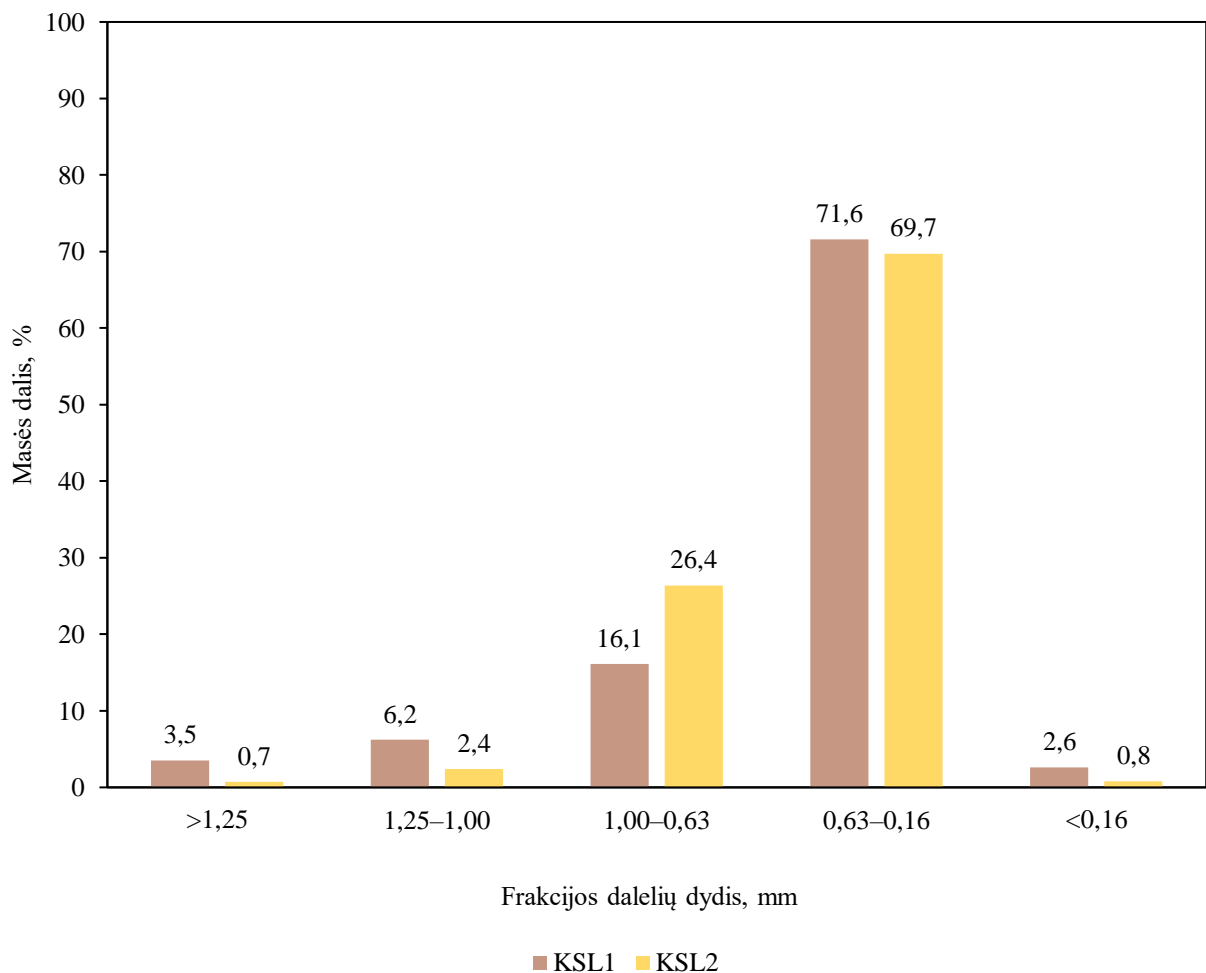
2.2.2. Kanapių sėklų lukštų frakcionavimas

Atlikto tyrimo metu, naudojant skirtingo dydžio sietus, nustatytas KSL1 ir KSL2 frakcijų pasiskirstymas bendroje kanapių sėklų lukštų masėje. Iš viso lukštai buvo suskirstyti į 5 frakcijas, kurių mikroskopo nuotraukos pavaizduotos 10 paveikslėlyje.



10 pav. Skirtingų frakcijų kanapių sėklų lukštų nuotraukos, gautos optiniu mikroskopu: a) KSL1; b) KSL2

Analizuojant tyrimo metu optiniu mikroskopu padarytas nuotraukas, pastebima, kad KSL2 yra žymiai tamsesni, turintys rudesnį atspalvį. Taip pat pastebima, kad KSL1 mažiausias frakcijų dalelių dydis ($< 0,16\text{ mm}$), sunkiai atsiskiria ir vis lieka prikibęs prie kitų frakcijų. Iš skirtingų tiekėjų gautų kanapių sėklų lukštų pasiskirstymas bendroje masėje pavaizduotas stulpelinėje diagramoje (žr. 11 pav.).



11 pav. Kanapių sėklų lukštų (KSL1 ir KSL2) skirtingų frakcijos dalelių dydžių pasiskirstymas masėje

Analizuojant gautus tyrimo rezultatus matyti, kad frakcijų pasiskirstymas, skirtingų tiekėjų kanapių sėklų lukštuose, yra panašus. Didžiausią dalį, abiem atvejais, sudaro dalelių dydis, kuris yra 0,63 mm–0,16 mm. Ženkliai mažiau yra frakcijų, kurių dalelių dydis 1,00 mm–0,63 mm ir 1,25 mm–1,0 mm. Mažiausią dalį sudaro kanapių sėklų lukštų dydis, kuris yra >1,25 mm ir <0,16 mm. Skirtingos kanapių sėklų lukštų frakcijos naudojamos tolimesniems tyrimams atlikti, siekiant nustatyti tam tikrų frakcijų tinkamumą biokompozito formavimo galimybėms.

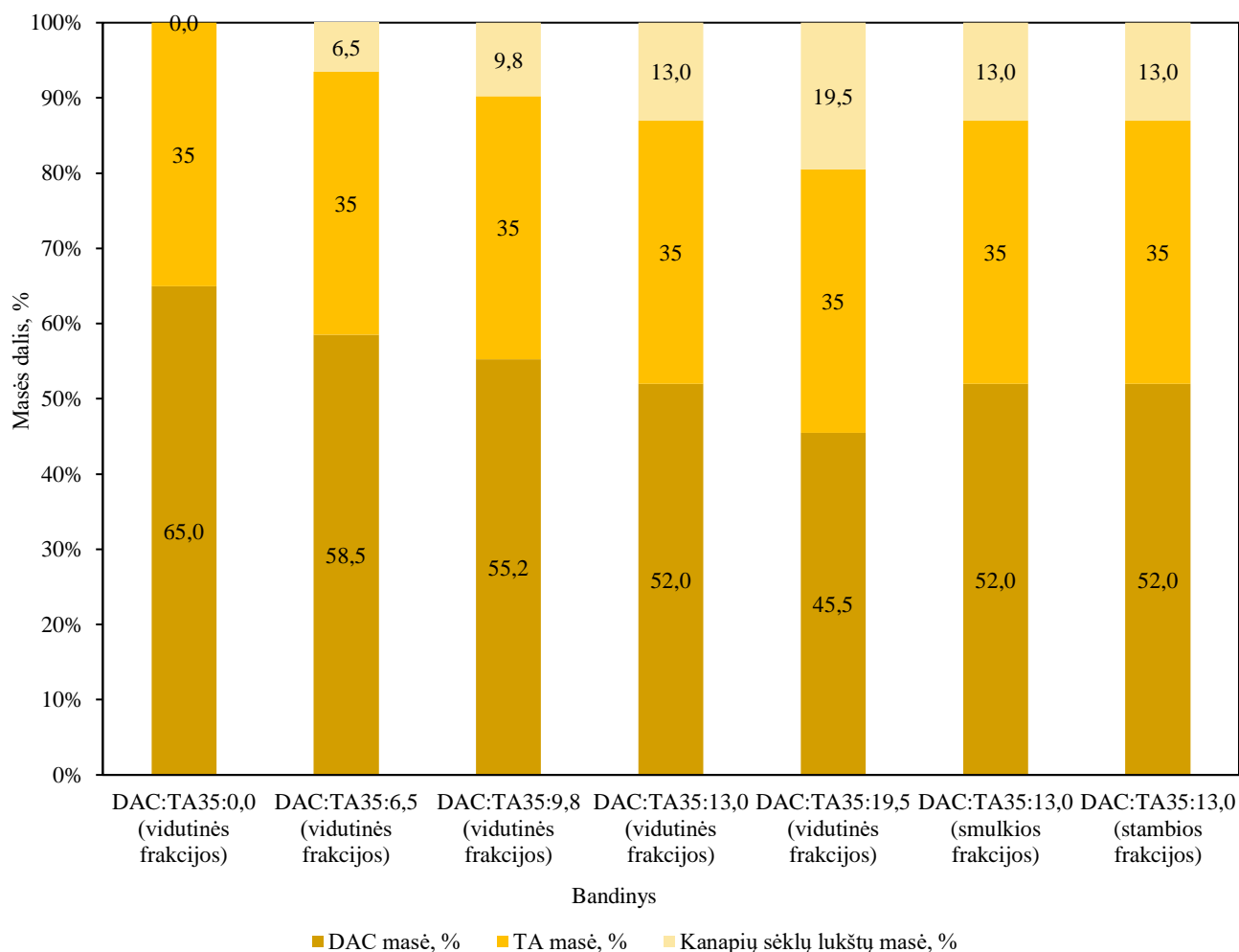
2.2.3. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų gavimas ekstruzijos būdu

Kanapių sėklų lukštų biokompozitų formavimui naudojamos šios žaliavos: kanapių sėklų lukštai (KSL1 ir KSL2), TA ir DAC. Parenkant skirtingą kanapių sėklų lukštų (KSL1 ir KSL2) kiekį bei dalelių dydį, taip pat TA ir DAC kiekį, formuojamos kompozicijos, kurių masės pasiskirstymas (%) pateiktas paveikslėliuose (žr. 12 pav. ir žr. 13 pav.). Biokompozitų formavimui naudojamos trys kanapių sėklų lukštų frakcijos:

- stambi (1 mm–0,63 mm);
- vidutinė (0,63 mm–0,16 mm);
- smulki (< 0,16 mm).

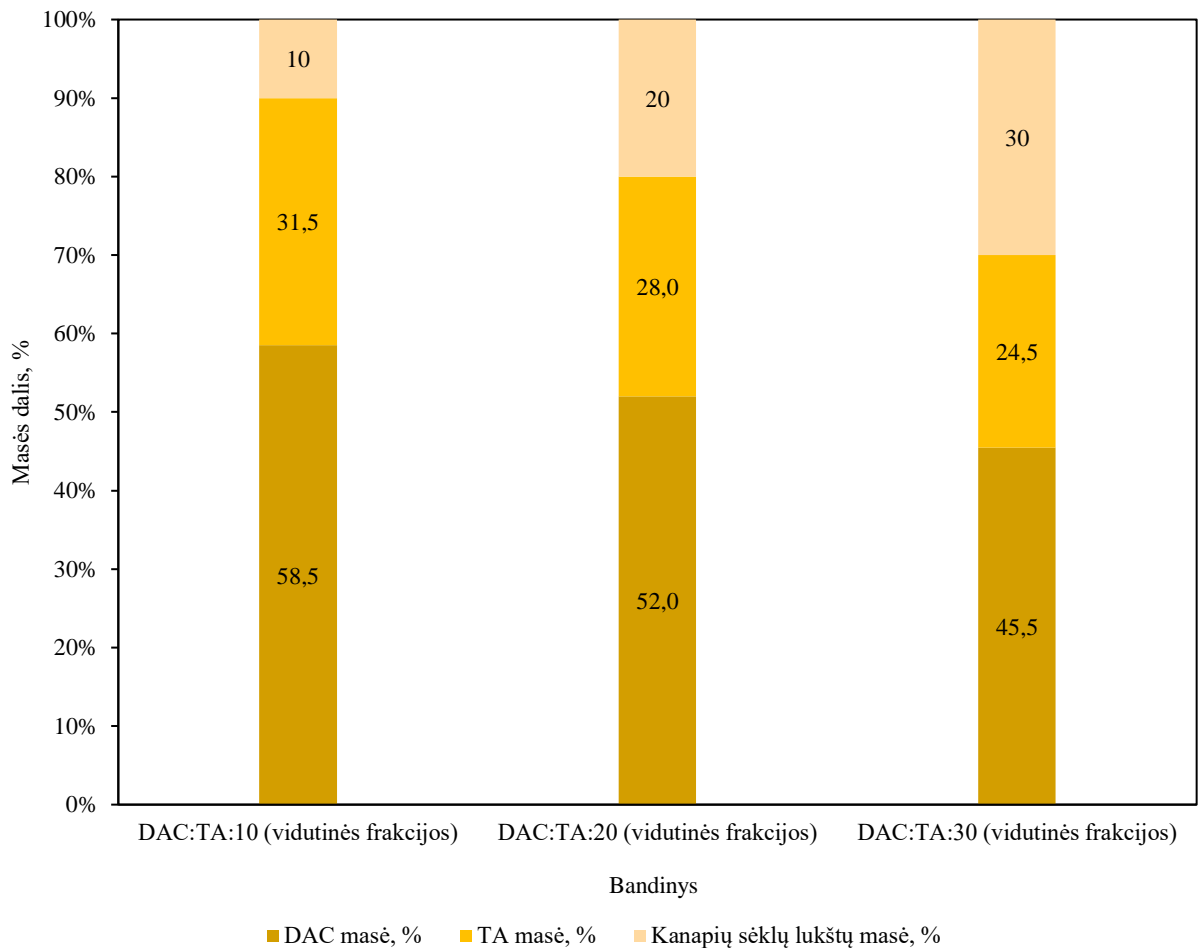
12 paveikslėlyje pateiktas biokompozitų, kuriuose naudojama KSL1, masės pasiskirstymas (%), kai naudojamas toks pat kiekis TA (35%), apskaičiuotas nuo bendros kompozito masės, keičiant kanapių sėklų lukštų frakcijų dalelių dydį ir kiekį, taip kintant DAC kiekiui kompozite (DAC:TA35:KSL1).

Siekiant nustatyti kanapių sėklų lukštų įtaką gaminių formavimo ir mechaninių savybių įtakai iširti sudaromas kompozitas, į kurio sudėtį neįeina KSL1 (žr. 12 pav.).



12 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) masės pasiskirstymas, esant vienodam TA kiekiui biokompozite

13 paveikslėlyje pateiktas biokompozitų, kuriuose naudojama KSL1 ir KSL2, masės pasiskirstymas (%). Kompozicijoms sudaryti, naudojamas tos pačios frakcijos skirtingas kiekis kanapių sėklų lukštų (KSL1 ir KSL2), apskaičiuotas nuo bendros kompozito masės, o TA ir DAC kiekis kompozite atitinkamai sudaro 35% ir 65% nuo likusios masės (DAC:TA:KSL1/KSL2). Sudaromos iš viso 6 kompozicijos: 3 kompozicijos, naudojant KSL1 ir 3 kompozicijos, naudojant KSL2. Šių kompozicijų masės pasiskirstymas (%) yra identiškas, todėl 13 paveikslėlyje pavaizduotos iš viso tik trys kompozicijos.

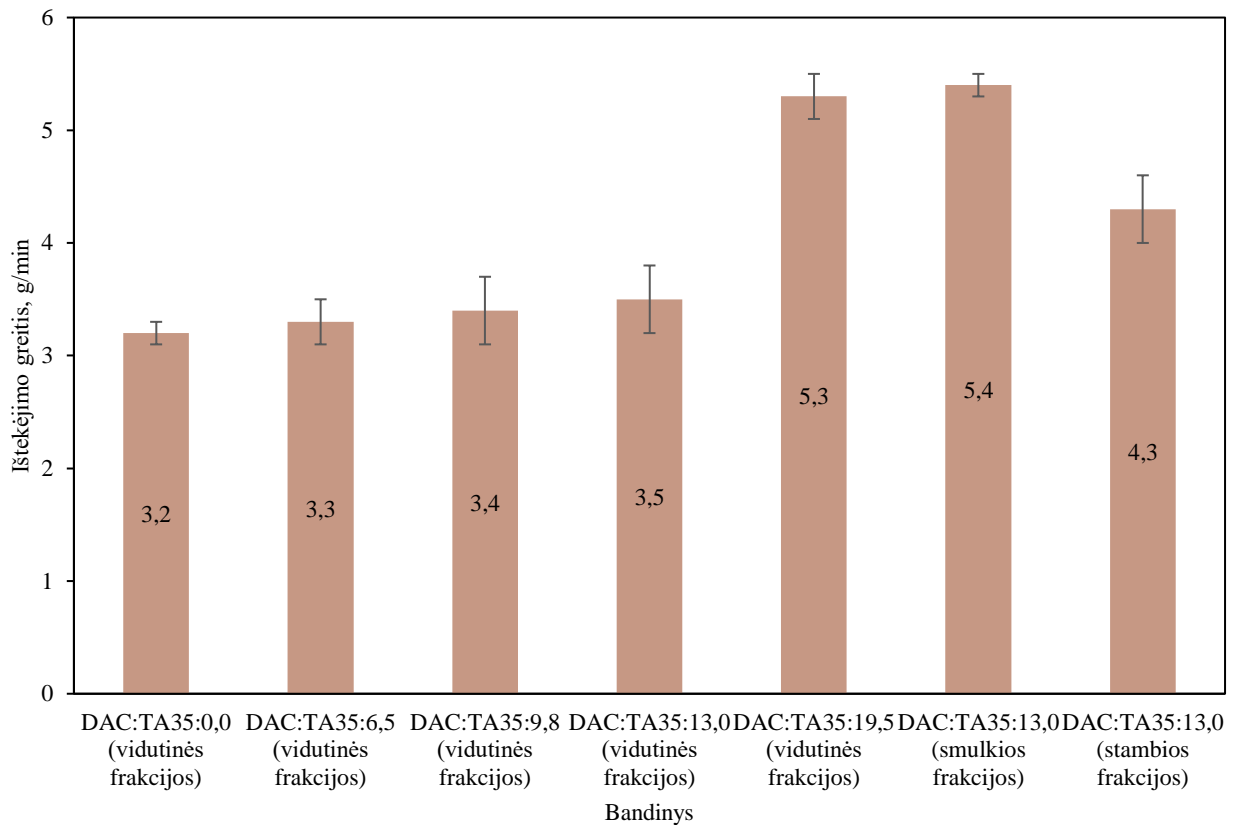


13 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) masės pasiskirstymas, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

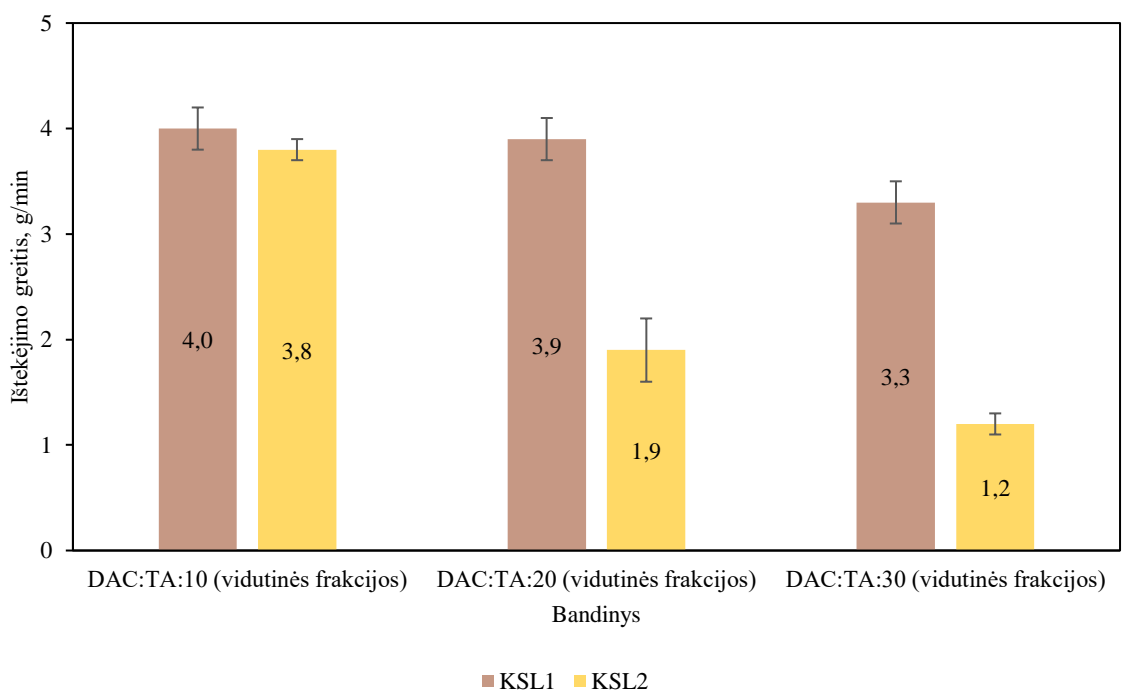
Biokompozitų gamybai vienas iš svarbiausių faktorių yra tinkamas žaliavų išmaišymas (homogenizavimas), todėl prieš ekstruziją visi komponentai gerai išmaišomi ir tiekiami į ekstruderį gijų formavimui.

Suformuotų gijų storis yra 2 mm. Pastebėta, kad mažėjantis gijų sudėtyje esantis plastifikatoriaus TA kiekis, t.y. biokompozitai, kurių sudėtis sudaryta iš 13 paveikslėlyje pateiktų bandinių, padidina gijų trapumą. Trapumas nematuotas, tačiau įvertintas laužiant gijas ranka. Remiantis, literatūroje rastais duomenis apie plastifikatorius, kad šios medžiagos padidina medžiagų lankstumą [22], tai pastebima ir atliktuose tyrimuose.

Formavimo ekstruzijos būdu gauti ištekėjimo iš ekstruderio greičiai, pavaizduoti paveikslėliuose (žr. 14 pav. ir žr. 15 pav.).



14 pav. Ekstruzijos proceso našumas, formuojant kompoziciją (DAC:TA35:KSL1), esant vienodam TA kiekiui kompozite ir naudojant skirtingo dydžio ir kiekio KSL1



15 pav. Ekstruzijos proceso našumas, formuojant kompoziciją (DAC:TA:KSL1/KSL2), kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

Analizuojant gautus rezultatus (žr. 14 pav.) pastebima, kad kompozituose, kuriuose naudojamas vienodas TA kiekis, didinant vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekį, ištekėjimo greitis iš ekstrudero didėja nuo 3,2 g/min iki 5,3 g/min. Todėl galima daryti išvadą, kad kompozite mažėjantis DAC ir didėjantis vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekis padidina ištekėjimo iš ekstrudero greitį. Lyginant tos pačios sudėties kompozitus, kuriuose kanapių sėklų lukštai sudaro 13 % (žr. 14 pav.), su skirtingomis kanapių sėklų lukštų frakcijomis, didžiausias ištekėjimo greitis (5,4 g/min) gaunamas naudojant smulkiausią kanapių sėklų lukštų frakciją, kurios dalelių dydis yra <0,16 mm, tuomet šiek tiek mažesnis greitis (4,3 g/min) naudojant stambiausią (1 mm–0,63 mm) ir mažiausias (3,5 g/min) – vidutinę (1 mm–0,63 mm).

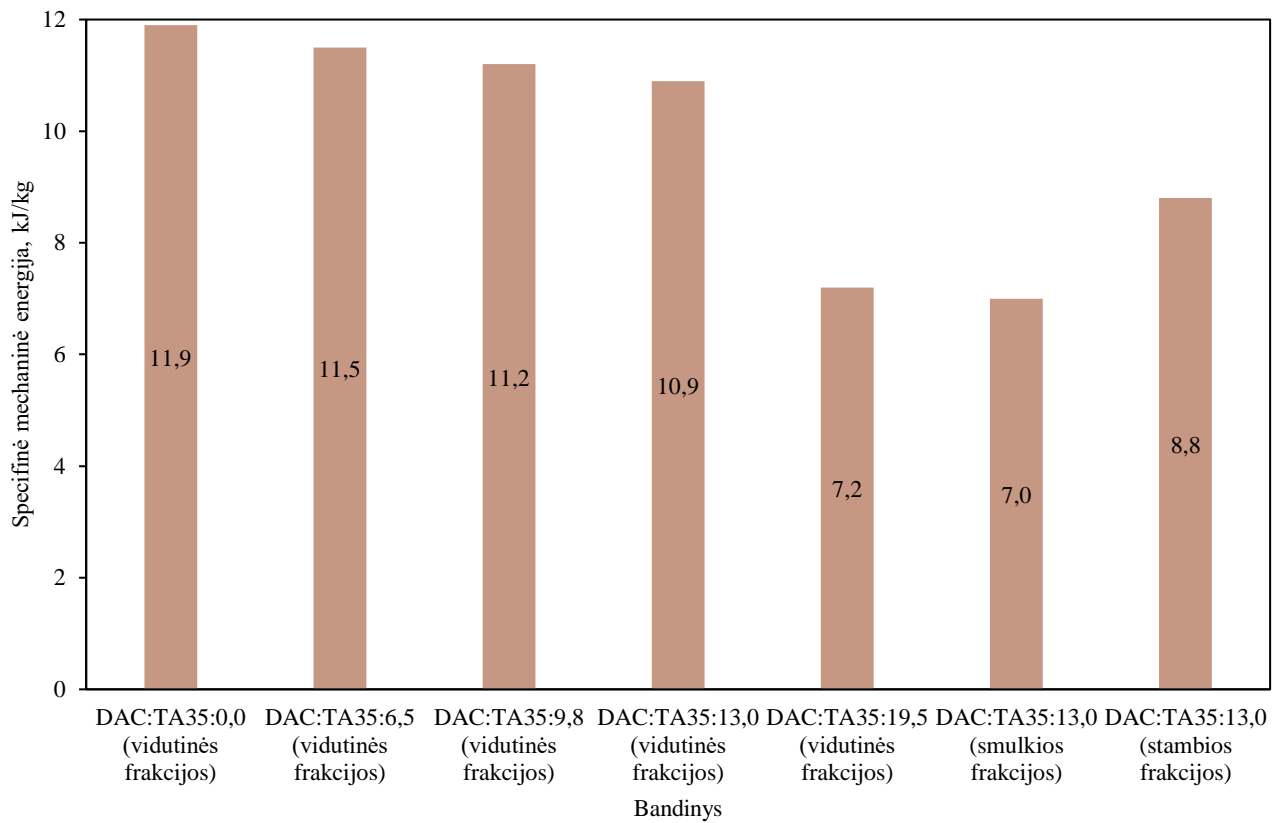
Analizuojant gautus 15 paveiksle gautus rezultatus matyti, kad kompozitų, gautų naudojant KSL1 ir KSL2 ištekėjimo iš ekstrudero greičiai skiriasi. Nors iš skirtingų tiekėjų gautų kanapių sėklų lukštų suformuotų gijų rezultatai skiriasi, tačiau galima įžvelgti tendenciją, kad abiem atvejais, didinant kanapių sėklų lukštų kiekį kompozite, ištekėjimo iš ekstrudero greičiai mažėja ir tam įtakos turi mažėjantis TA kiekis. TA sumažėjimas, sumažina kompozito plastiškumą ir gebėjimą tekėti.

Analizuojant 15 paveiksle gautus rezultatus matyti, kad ištekėjimo iš ekstrudero greičiai didesni naudojant KSL1. Didžiausias ištekėjimo greitis siekia net 4 g/min. Taip pat pastebima, kad didinant KSL2 kiekį kompozite, ištekėjimo iš ekstrudero greitis ženkliai sumažėja (nuo 3,8 g/min iki 1,2 g/min) ir su kompozitu (DAC:TA:30KSL1) skiriasi net per 2,1 %. Atsiradusiam skirtumui turi įtakos skirtinga kanapių sėklų lukštų cheminė sudėtis. Kadangi KSL2 yra mažesnis α -celiuliozės bei dvigubai didesnis riebalų kiekis nei KSL1, todėl TA sunkiau įsiterpia į matricą, taip sumažindamas plastiškumą ir gebėjimą tekėti.

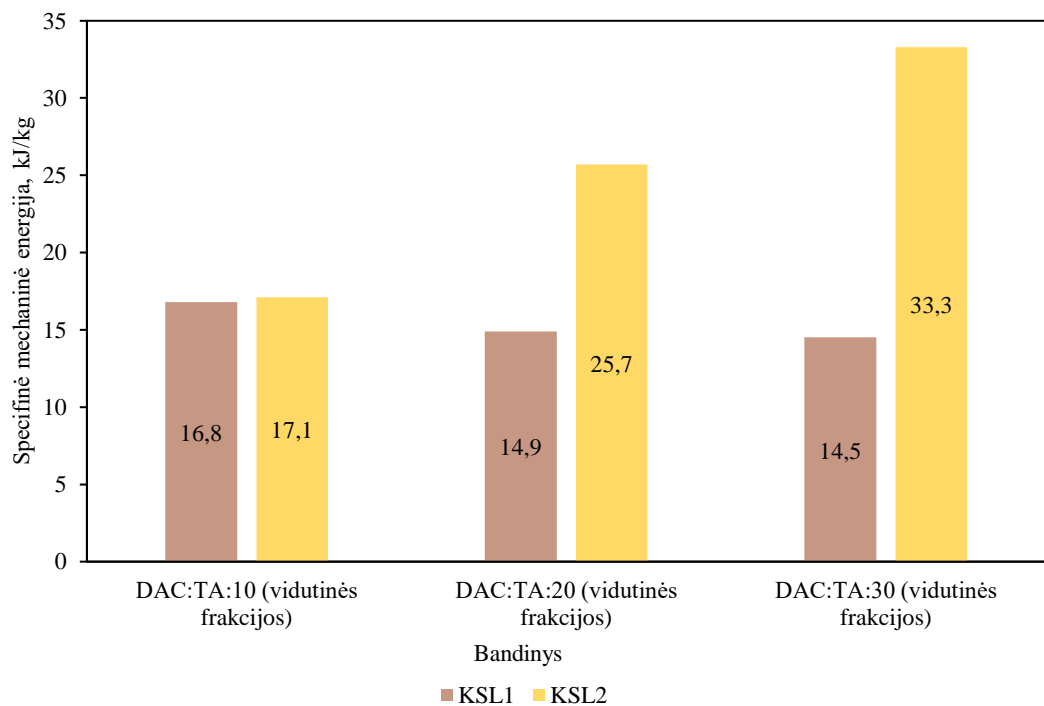
Ekstruzijos formavimo metu pastebėta, kad tiekiant skirtingos sudėties biokompozitus, skiriasi ekstrudero parametrai, tokie kaip:

- sraigčių sukimosi momentas, Nm;
- paduodamos medžiagos kiekis, g/min (ištekėjimo iš ekstrudero greitis).

Todėl norint įvertinti ekstrudero atliekamą darbą, apskaičiuota specifinė mechaninė energija. Gauti rezultatai pavaizduoti grafiškai (žr. 16 pav., žr. 17 pav.).



16 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) specifinės mechaninės energijos rodikliai, esant vienodam TA kiekiui biokompozite



17 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) specifinės mechaninės energijos rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

Analizuojant gautus rezultatus (žr. 16 pav.) pastebima, kad kompozituose, kuriuose naudojamas vienodas TA kiekis, didinant vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekį, specifinė mechaninė energija mažėja nuo 11,9 kJ/kg iki 7,2 kJ/kg. Galima daryti išvadą, kad kompozite mažėjantis DAC ir didėjantis vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekis sumažina specifinę mechaninę energiją. Lyginant tos pačios sudėties kompozitus, kuriuose kanapių sėklų lukštai sudaro 13 % (žr. 16 pav.), su skirtingomis kanapių sėklų lukštų frakcijomis, didžiausia specifinė mechaninė energija (10,9 kJ/kg) gaunama naudojant vidutinę kanapių sėklų lukštų frakciją, kurios dalelių dydis yra 1 mm – 0,63 mm, tuomet šiek tiek mažesnė specifinė mechaninė energija (8,8 kJ/kg) naudojant stambiausią (1 mm–0,63 mm) ir mažiausia (7,0 kJ/kg) – smulkiausią (<0,16 mm).

Pagal gautus rezultatus (žr. 17 pav.) matyti, kad kompozitų, gautų naudojant KSL1 ir KSL2 ištekėjimo iš ekstruderio greičiai skiriasi. Didėjant kanapių sėklų lukštų kiekiui kompozite, gauto biokompozito, naudojant KSL1, specifinė mechaninė energija nežymiai mažėja nuo 16,8 kJ/kg iki 14,5 kJ/kg, tačiau, naudojant KSL2 – ženkliai didėja nuo 17,1 kJ/kg iki 33,3 kJ/kg ir su kompozitu DAC:TA:30KSL1, specifinė mechaninė energija skiriasi net per 18,8 kJ/kg.

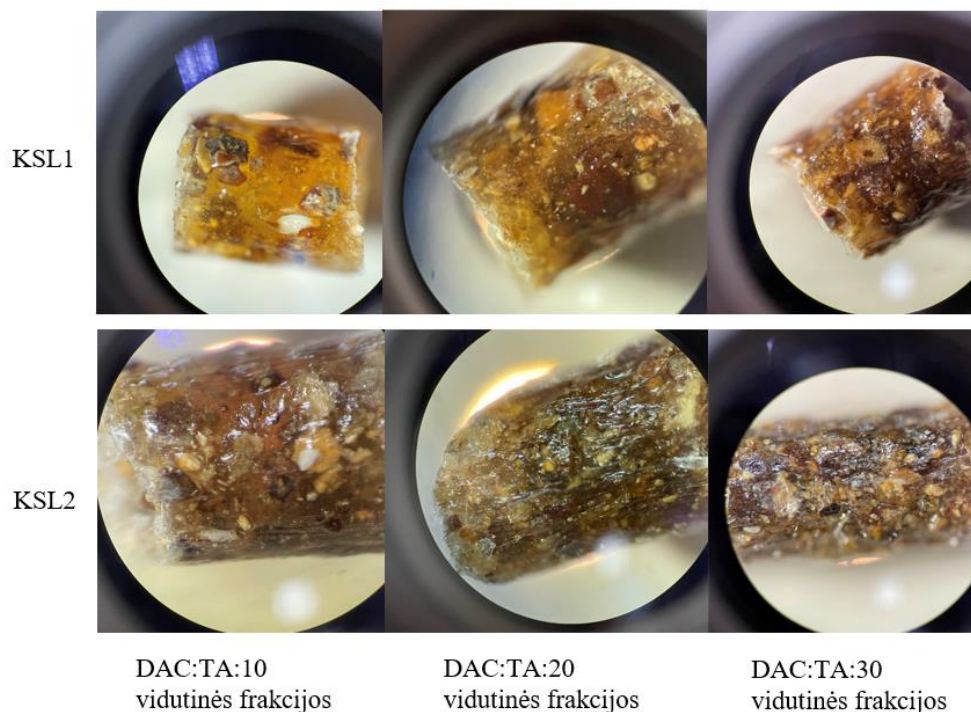
Padidėjusi specifinė mechaninė energija parodo, kad ekstruderis atlieka didesnę darbą 1 kg medžiagos pagaminti, todėl toks padidėjimas, padidina eksploataavimo sąnaudas (elektrą), o ir patys gaminio kaštai susidaro ženkliai didesni.

2.2.4. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų granulių morfologinė analizė

Po granuliavimo gautos granulės, siekiant atlikti paviršiaus analizę, stebimos optiniu mikroskopu, naudojant 500 kartų didinimą. Gautos nuotraukos optiniu mikroskopu pavaizduotos paveikslėlyje (žr. 18 pav., žr. 19 pav.).



18 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) granulių nuotraukos, gautos optiniu mikroskopu, esant vienodam TA kiekiui kompozite



19 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) granulių nuotraukos, gautos optiniu mikroskopu, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

Atlikus gautų biokompozito granulių morfologinę paviršiaus analizę pastebėta, kad DAC yra pilnai išsilydęs, kadangi nėra pastebimi jokie balti taškeliai, kuriuos galima būtų laikyti, kaip neišsilydžiusio DAC pėdsaką. Stebint mikroskopu darytas nuotraukas pastebima, kad didėjantis kanapių sėklų lukštų kiekis kompozite suteikia granulei vis tamsesnę spalvą.

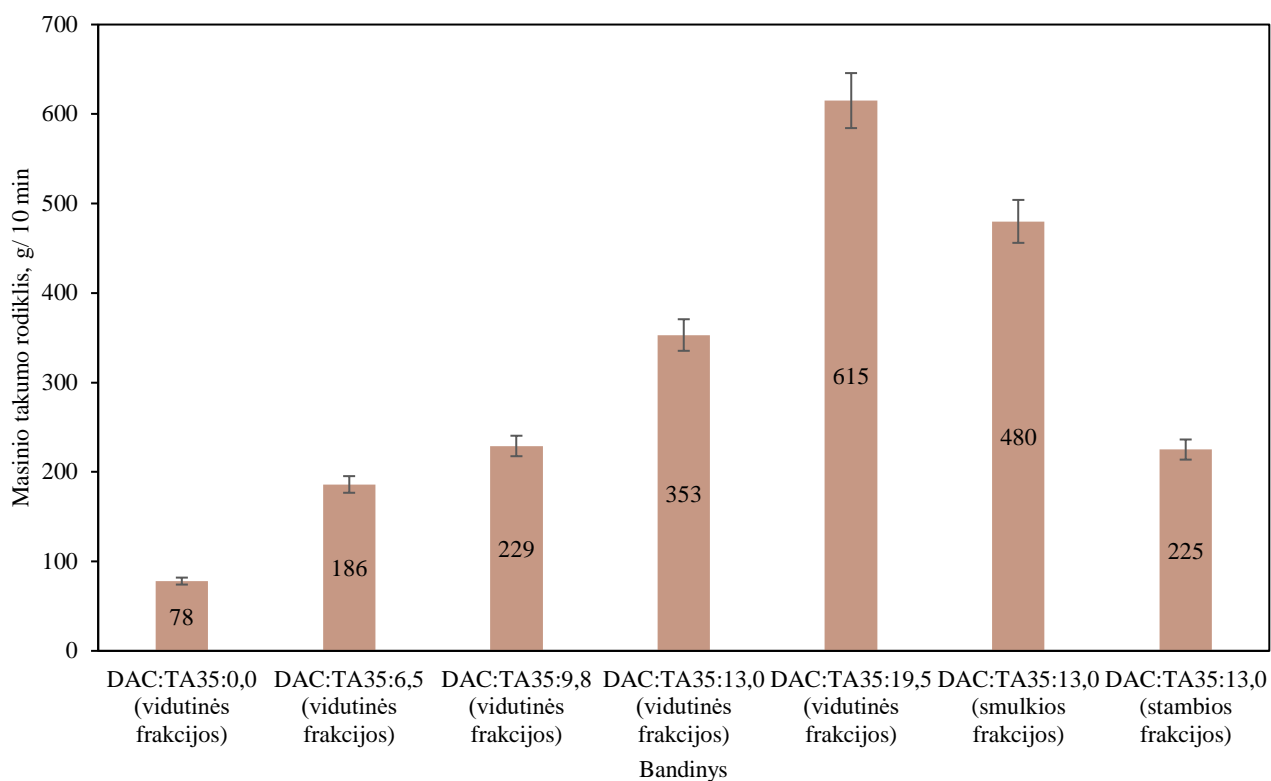
Analizuojant rezultatus (žr. 18 pav.) pastebima, kad didinant vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekį kompozite, didėja granulės paviršiaus nelygumai, kurių dydis siekia 0,02 mm. Lygiausias granulės paviršius gavosi naudojant stambiausią kanapių sėklų lukštų frakciją. Kompozitas su smulkiausia frakcija taip pat turėjo nelygumų, tačiau <0,01 mm.

Lyginant tos pačios sudėties tik iš skirtingų tiekėjų naudotų kanapių sėklų lukštus biokompozitų gamybai, granulių paviršių (žr. 19 pav.) pastebima, kad kompozitų, gautų naudojant KSL2, granulės yra daug tamsesnės, turinčios šiek tiek didesnių netolygumų paviršiuje.

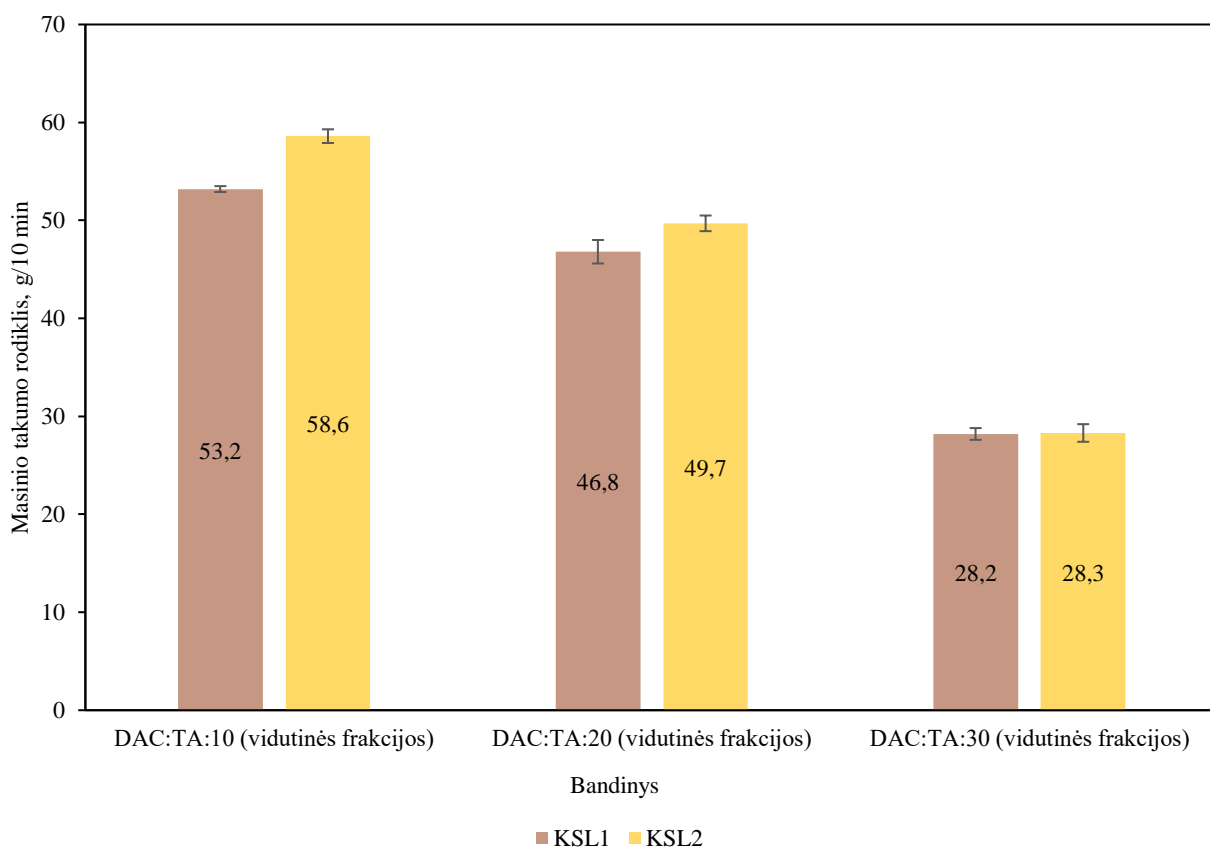
Susidarę paviršiaus netolygumai, analizuojant skirtingos sudėties granules, nėra labai dideli ir neturi aiškių adhezijos nesuderinamumo požymių, todėl galima teigti, kad formavimui yra tinkamai parinkta ekstrudero sekcijų temperatūra bei plastiklis – TA, leidžiantis DAC pilnai išsilydyti ir suformuoti vienalytes granules.

2.2.5. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų masinio takumo nustatymas

Siekiant nustatyti biokompozito formavimo į gaminius injekcinio liejimo metu galimybes, atliktas po granuliatoriaus gautų granulių masinio takumo rodiklio nustatymas. Tyrimo rezultatai, gauti skirtingos sudėties kompozituose, pateikti grafiškai (žr. 20 pav. ir žr. 21 pav.).



20 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) masinio takumo rodikliai, esant vienodam TA kiekiui kompozite



21 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) masinio takumo rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

Kompozitų formavimui vienas iš svarbiausių rodiklių yra takumas. Siekiant parinkti optimalius injekcinio liejimo parametrus, įsivertinamas masinio takumo rodiklis (MTR), kuris parodo išsilydžiusios medžiagos, apdorojimo metu, gebėjimą tekėti. Didėjant MTR vertei, greičiau ir tolygiau užsipildo forma, naudojama injekcinio liejimo metu gaminiui suformuoti, tačiau per didelės MTR vertės gali pabloginti gautų biokompozitinių gaminių mechanines charakteristikas.

Analizuojant gautus rezultatus (žr. 20 pav.) pastebima, kad kontrolinio bandinio (be kanapių sėklų lukštų) MTR vertė yra mažiausia. Didėjant vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekiui kompozite, MTR didėja nuo 186 g/10min iki 615 g/10min. Lyginant tarpusavyje tos pačios sudėties kompozitus tik naudojant skirtingos frakcijos kanapių sėklų lukštus, pastebima, kad geriausi rezultatai (didžiausias MTR) gaunami su smulkiausia kanapių sėklų lukštų frakcija, kurios dalelių dydis yra <0,16 mm., o mažiausias, naudojant stambiausią frakciją (1 mm– 0,63 mm). Pagal gautus rezultatus galima daryti išvadą, kad kompozituose didinant vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekį, atitinkamai mažėjant DAC ir išlaikant pastovų TA kiekį, MTR vertės didėja ir didžiausios vertės pasiekiamos naudojant 19,5 % kanapių sėklų lukštų kiekį.

Pagal gautus rezultatus (žr. 21 pav.) galima išvelgti tendenciją, kad didėjantis kanapių sėklų lukštų kiekis kompozite, atitinkamai mažėjant plastikliui – TA, sumažina MTR abiem atvejais (naudojant skirtingų tiekėjų kanapių sėklų lukštus). Taip pat pastebima, kad kompozitai, sudaryti naudojant KSL2, turi šiek tiek didesnę MTR vertę. Tai galima paaiškinti tuo, kad šiuose kanapių sėklų lukštuose, esantis dvigubai didesnis riebalų kiekis, pagerina kompozitų tekėjimą.

Iš bendrai gautų rezultatų galima daryti išvadą, kad MTR labai priklauso nuo TA kiekio kompozite. Sumažinus TA kiekį kompozite nuo 35 % iki 24,5 %, pastebimas ženklus MTR skirtumas, kuris siekia net 586,7 g/min.

Atliktas pakartotinis biokompozitų (DAC:TA:KSL2) masinio takumo nustatymas, praėjus pusei metų nuo atlikto tyrimo, siekiant išsiaiškinti ar gauti bandiniai yra stabilūs (žr. 6 lentelę).

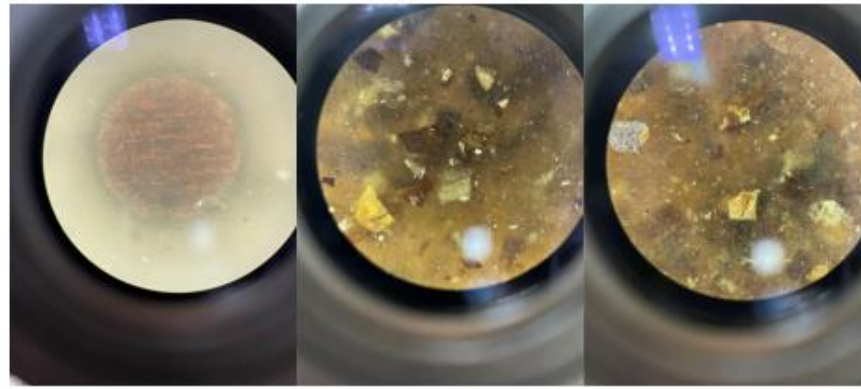
6 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL2) masinio takumo rodikliai po 6 mėnesių

Bandinys	Masinio takumo rodiklis, g/10 min
DAC:TA:10	58,4±0,1
DAC:TA:20	49,4±0,1
DAC:TA:30	28,2±0,2

Analizuojant gautus rezultatus matyti, kad po tokio trumpo laikotarpio, bandinių masinio takumo rodiklis vidutiniškai skiriasi tik per 0,4 %. Priimant, kad gautas pokytis yra praktiškai nereikšmingas, galima daryti išvadą, kad gauti bandiniai yra stabilūs.

2.2.6. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų injekcinis liejimas

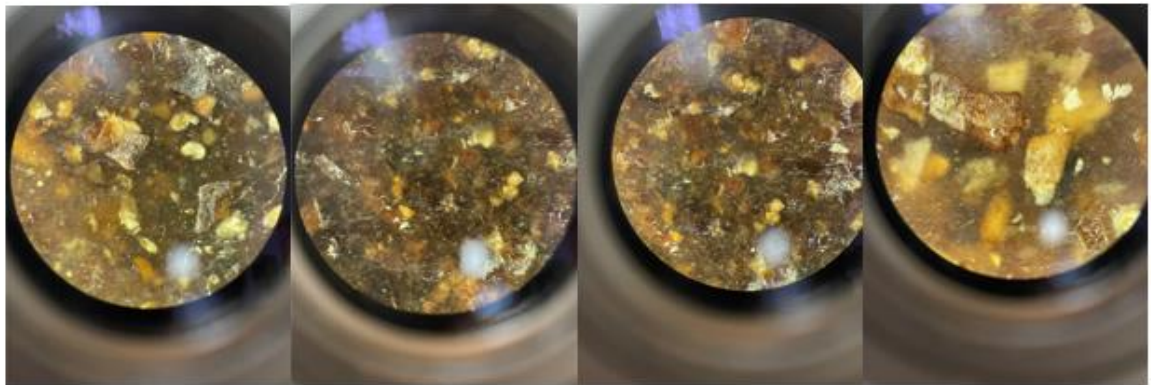
Po ekstruzijos gautos biokompozitų gijos, naudojant granuliatorių, sugranuliuotos ir naudojamos formuoti gaminius injekcinio liejimo būdu. Siekiant įvertinti injekcinio liejimo būdu gautų bandinių formavimo į gaminius galimybes ir paviršiaus savybes, mikroskopu, naudojant 500 kartų didinimą daromos nuotraukos. Tyrimo metu gauti rezultatai pavaizduoti paveikslėlyje (žr. 22 pav. ir žr. 23 pav.).



DAC:TA35:0,0
vidutinės frakcijos

DAC:TA35:6,5
vidutinės frakcijos

DAC:TA35:9,8
vidutinės frakcijos



DAC:TA35:13,0
vidutinės frakcijos

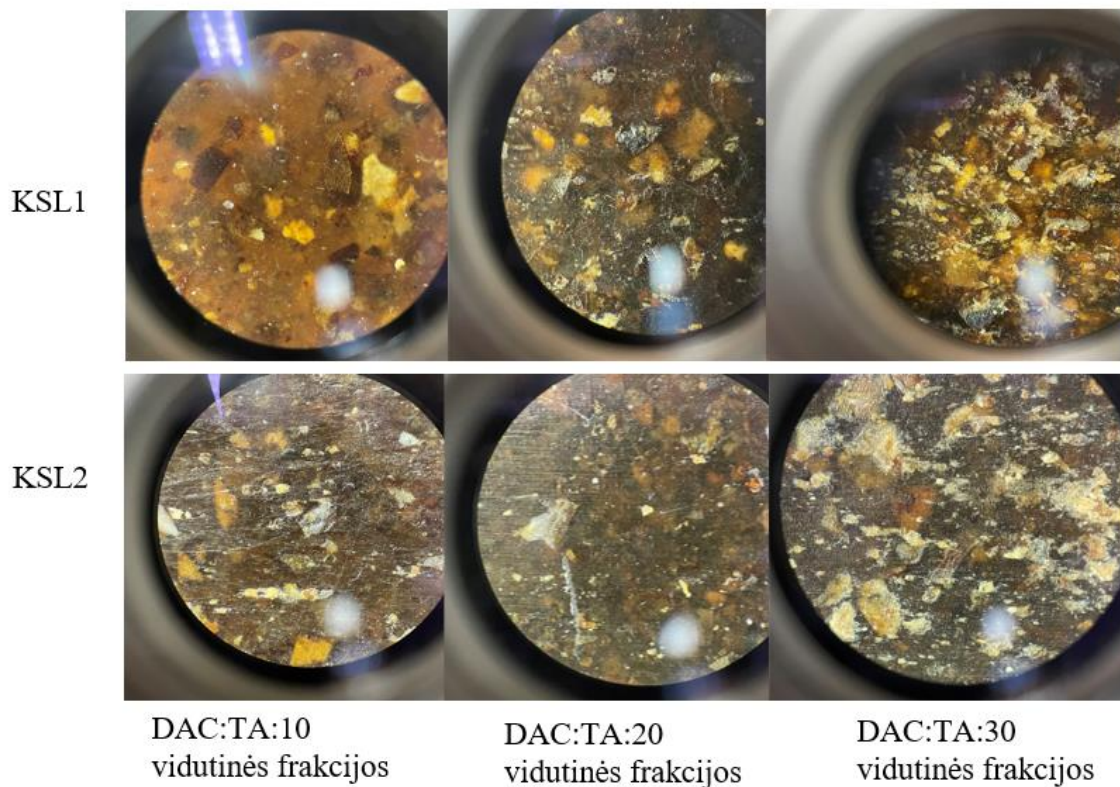
DAC:TA35:19,5
vidutinės frakcijos

DAC:TA35:13,0
smulkios frakcijos

DAC:TA35:13,0
stambios frakcijos

22 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) injekcinio liejimo bandinių nuotraukos, gautos optiniu mikroskopu, esant vienodam TA kiekiui kompozite

Analizuojant gautus rezultatus galima matyti, kad kontrolinis bandinys (DAC:TA35:0,0) yra skaidriausias iš visų. Bandinyje (DAC:TA35:0,0) matomas raudonas atspalvis susidaro dėl šviesos, kuri leidžia pastebėti, kad pilnai išsilydęs DAC išsidėsto lygiagrečiai viena orientuota kryptimi. Didėjantis vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekis kompozite, patamsina bandinius. Taip pat pastebima tendencija, kad didėjant kanapių sėklų lukštų kiekiui kompozite, didėja bandinių paviršiaus subraižymai. Subraižymai labai nedideli, nesiekia, net 0,01 mm ir plika akimi nematomi. Lygiausiu ir mažiausiu subraižymu turintis bandinys gavosi naudojant stambiausią kanapių sėklų lukštų frakciją.



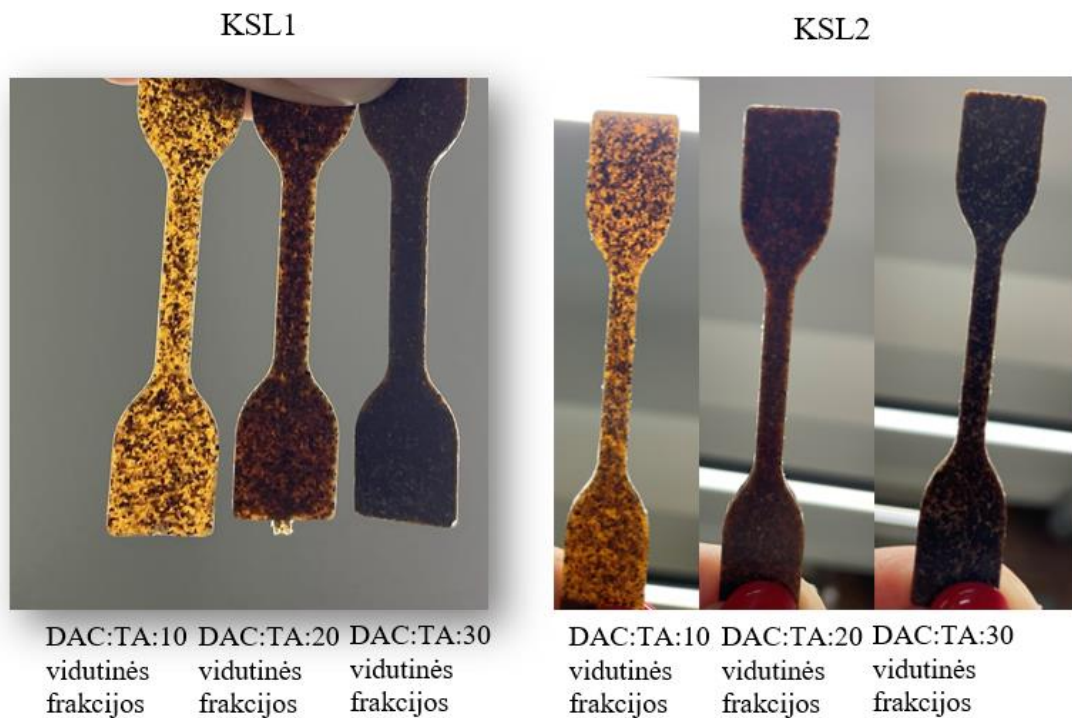
23 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) injekcinio liejimo bandinių nuotraukos, gautos optiniu mikroskopu, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

Analizuojant rezultatus (žr. 23 pav.) biokompozitai (DAC:TA:KSL2) pasižymi didesniu tamsumu ir paviršiaus subraižymu. Mažiausiai subraižymų turintis bandinys yra kompozitas (DAC:TA:30KSL1). Pastebima, kad kompozite mažėjantis TA kiekis, padidina gaminių gelsvą atspalvį, taip padarydamas juos šviesesnius, tačiau paviršiuje turinčius didesnius nelygumus. Formuojant gaminius injekcinio liejimo metu, iš formelės gaminiai išsiima pakankamai lengvai ir atvėsus išlaiko injekcinės formelės suformuotą formą. Didinant KSL1 kiekį kompozite bei mažinant TA kiekį pastebėta, kad injekcinio liejimo metu, gaminy s sunkiau išsilydo, reikalauja daugiau laiko nei tos pačios sudėties tik naudojant KSL2.

Injekcinio liejimo metu suformuoti bandiniai pavaizduoti paveikslėliuose (žr. 24 pav. ir žr. 25 pav.)



24 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) injekcinio liejimo suformuoti bandiniai, esant vienodam TA kiekiui kompozite



25 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) injekcinio liejimo bandiniai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

Net ir nesinaudojant optiniu mikroskopu galima daryti lygiai tokias pačias išvadas, stebint suformuotus injekcinio liejimo bandinius gerame apšvietime, apie atspalvio pokytį.

2.2.7. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų mechaninių charakteristikų nustatymas

Biokompozitų pritaikymo ir panaudojimo galimybės priklauso nuo įvairių mechaninių charakteristikų. Norint nustatyti suformuotų injekcinio liejimo bandinių kietumą, atliekamas kietumo nustatymo tyrimas, naudojant Šoro D tipo kietmatį. Taip pat atliekami pakartotini kietumo bandymai praėjus pusei metų nuo atlikto tyrimo. Gauti rezultatai pateikti lentelėse (žr. 7 lentelę ir žr. 8 lentelę).

7 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) kietumo rodikliai, esant vienodam TA kiekiui kompozite

Bandinys	Kietumas, sant. vnt.	Po 12 mėn., kietumas sant. vnt.
DAC:TA35:0,0 vidutinės frakcijos	74,2±4,2	74,1±3,5
DAC:TA35:6,5 vidutinės frakcijos	74,8±2,9	74,6±2,5
DAC:TA35:9,8 vidutinės frakcijos	75,0±3,2	75,0±2,9
DAC:TA35:13,0 vidutinės frakcijos	75,6±1,0	75,5±1,5
DAC:TA35:19,5 vidutinės frakcijos	76,5±1,9	76,3±1,8
DAC:TA35:13,0 smulkios frakcijos	73,2±2,2	73,1±2,0
DAC:TA35:13,0 stambios frakcijos	74,1±4,7	74,0±4,5

8 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) kietumo rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

Bandinys	Kietumas, sant. vnt.	Po 6 mėn., kietumas sant. vnt.	Kietumas, sant. vnt.	Po 6 mėn., kietumas sant. vnt.
	KSL1		KSL2	
DAC:TA:10	74,2±0,4	74,1±0,6	74,2±1,7	74,1±2,0
DAC:TA:20	75,6±0,4	74,8±0,7	74,8±0,5	74,5±2,1
DAC:TA:30	78,2±0,7	78,0±1,0	75,2±1,6	75,1±1,8

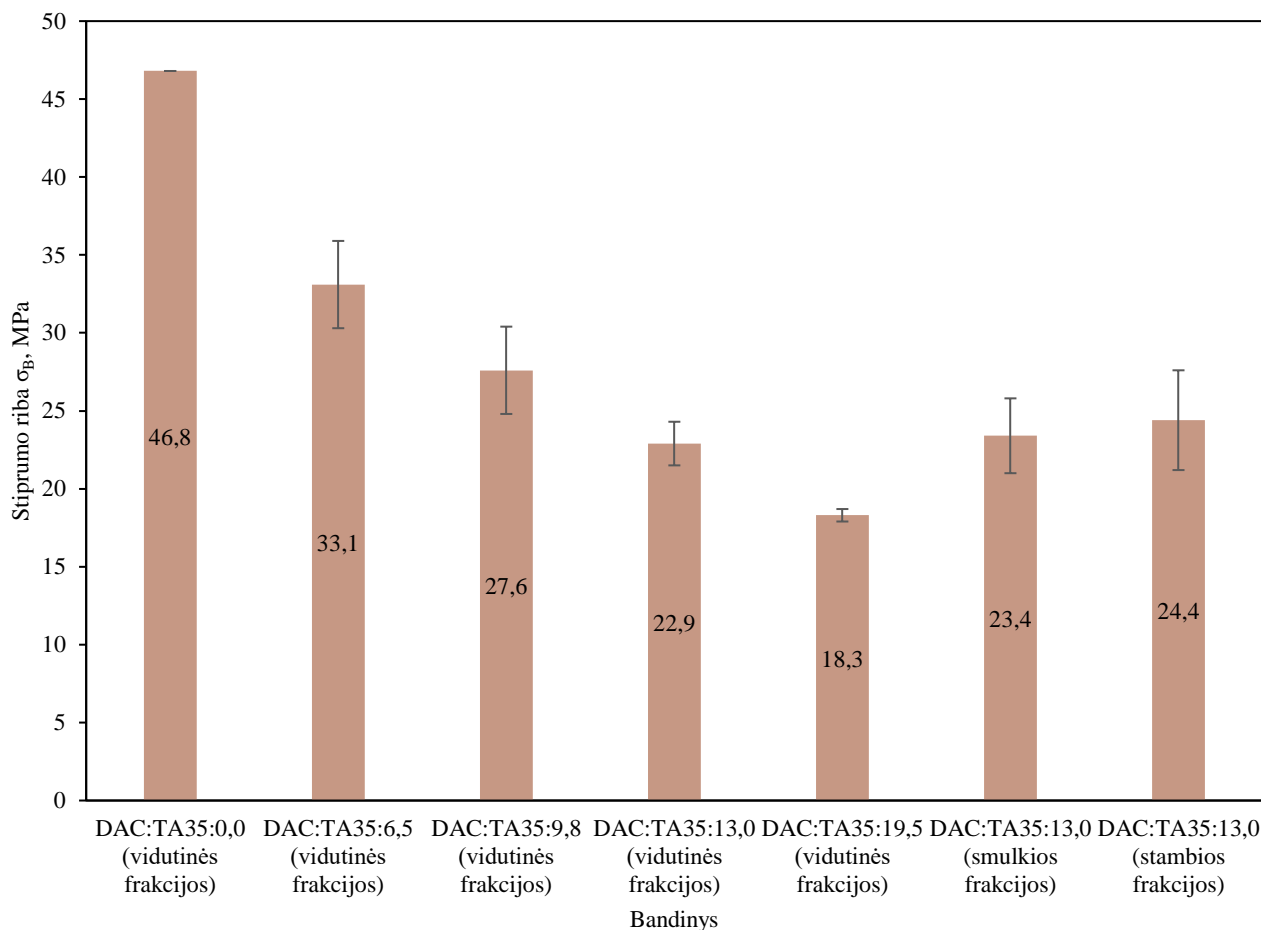
Analizuojant gautus rezultatus (žr. 7 lentelę), naudojant kompozituose nekintantį TA kiekį, pastebima, kad vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštai nors ir nežymiai, tačiau padidina kompozito kietumą nuo 74,8 sant. vnt. iki 76,5 sant. vnt.. Tai galima matyti ir iš kontrolinio bandinio (be kanapių sėklų lukštų), kurio kietumas yra mažiausias (74,2 sant. vnt.). Naudoti mažiausios ir didžiausios frakcijos kanapių sėklų lukštai sumažina kompozito kietumą, kurių rodikliai yra net mažesnis už kontrolinio bandinio ir atitinkamai yra lygus 73,2 sant. vnt. ir 74,1 sant. vnt.

Pastebima, kad naudojant tos pačios sudėties, tik skirtingų tiekėjų kanapių sėklų lukštus (žr. 8 lentelę), rezultatai ženkliai nesikeičia, o biokompozitų DAC:TA:10KSL1 ir DAC:TA:10KSL2 gautos kietumo vertės yra vienodos. Pastebima, kad biokompozituose (DAC:TA:KSL1/KSL2) didėjantis kanapių sėklų lukštų kiekis, padidina kompozitų kietumą.

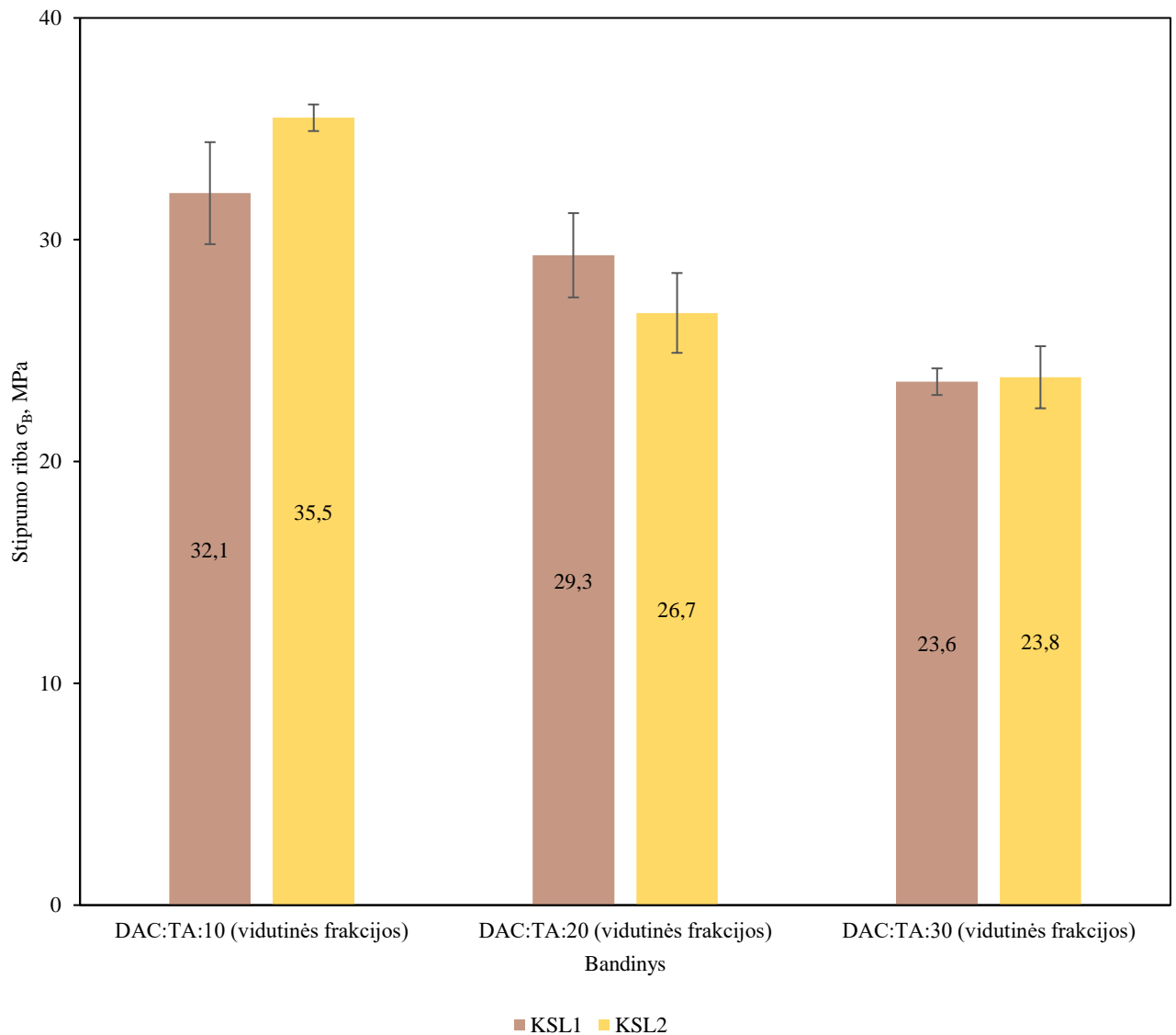
Tyrimo metu gautos pakankamai didelės paklaidos. Kompozicija yra nevienalytė – sudaro užpildas ir matrica, todėl atliekant taškinį matavimą gali būti nustatomas kietumo nevienodumas. Šoro D tipo kietmačio skalė yra nuo 0 iki 100 ir kuo gauta reikšmė yra artimesnė 100, tuo bandinys yra kietesnis, todėl analizuojant gautus rezultatus galima teigti, kad suformuoti biokompozitai yra pakankamai kieti, o TA kiekio kitimas kompozituose neturėjo didelės įtakos kietumui.

Analizuojant pakartotinio kietumo nustatymo rezultatus, pastebima, kad po tokio trumpo laikotarpio (iki 12 mėn.) bandinių kietumo pagal Šora D rodikliai, šiek tiek skiriasi, tačiau ne visi (kai kurie išliko nepakitę). Gautas skirtumas yra $<1\%$. Priimant, kad toks gautas pokytis yra praktiškai nereikšmingas, galima daryti išvadas, kad gauti bandiniai yra stabilūs.

Vykdamas tempimo bandymą nustatyta bandinių stiprumo riba (žr. 26 pav., 27 pav.), stiprumo riba trūkimo momentu (žr. 28 pav., žr. 29 pav.), stiprumo ribos santykinė ištįsa (žr. 30 pav., žr. 31 pav.), bei Jungo modulis (žr. 32 pav., žr. 33 pav.).



26 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) stiprumo ribos rodikliai, esant vienodam TA kiekiui kompozite



27 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) stiprumo ribos rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

Atlikus tempimo bandymą pastebima, kad stiprumo ribos rodikliai (žr. 26 pav.) didinant kanapių sėklų lukštų kiekį kompozite mažėja. Remiantis literatūroje rasta informacija, kad DAC pasižymi itin geromis mechaninėmis charakteristikomis (stiprumu) [14], galima daryti prielaidą, kad kompozitų stiprumo praradimas gali būti susijęs su mažėjančiu DAC kiekiu kompozite. Didžiausia stiprumo riba (46,8 MPa) pasižymi kontrolinis bandinys DAC:TA35:0,0. Lyginant tos pačios sudėties kompozitus, kuriuose kanapių sėklų lukštai sudaro 13 % (žr. 26 pav.), su skirtingomis kanapių sėklų lukštų frakcijomis, didžiausias stiprumo ribos vertė (24,4 MPa) gaunamas naudojant stambiausią kanapių sėklų lukštų frakciją, tuomet šiek tiek mažesnis stiprumo ribos vertė (23,4 MPa) naudojant smulkiausią ir mažiausia (22,9 MPa) – vidutinę.

Analizuojant rezultatus, gautus naudojant skirtingų tiekėjų kanapių sėklų lukštus (žr. 27 pav.), stiprumo riba, didinant kanapių sėklų lukštų kiekį kompozite abiem atvejais mažėja, tačiau ženklus skirtumas pastebimas tarp kompozitų DAC:TA:10KSL2 ir DAC:TA20KSL2, kai stiprumo riba sumažėja per 8,8 MPa.

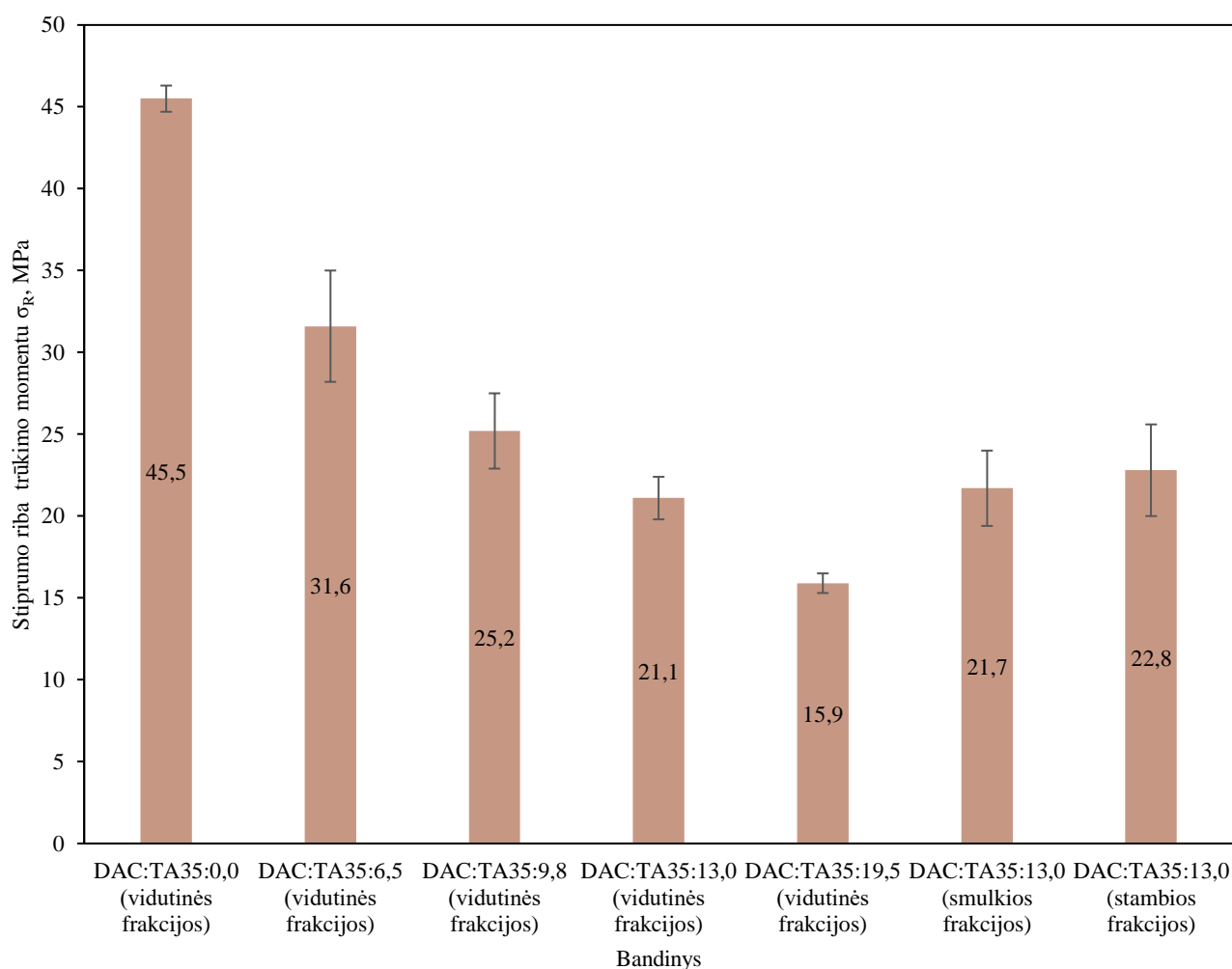
Pastebima, kad kompozituose stiprumo riba priklauso ir nuo TA kiekio. Kompozitai, kuriuose buvo naudojamas mažesnis TA kiekis, pasižymi šiek tiek geresne stiprumo riba.

Atliktas pakartotinis biokompozitų (DAC:TA:KSL2) stiprumo ribos nustatymas, praėjus pusei metų, nuo atlikto tyrimo, siekiant išsiaiškinti ar gauti bandiniai yra stabilūs (žr. 9 lentelę).

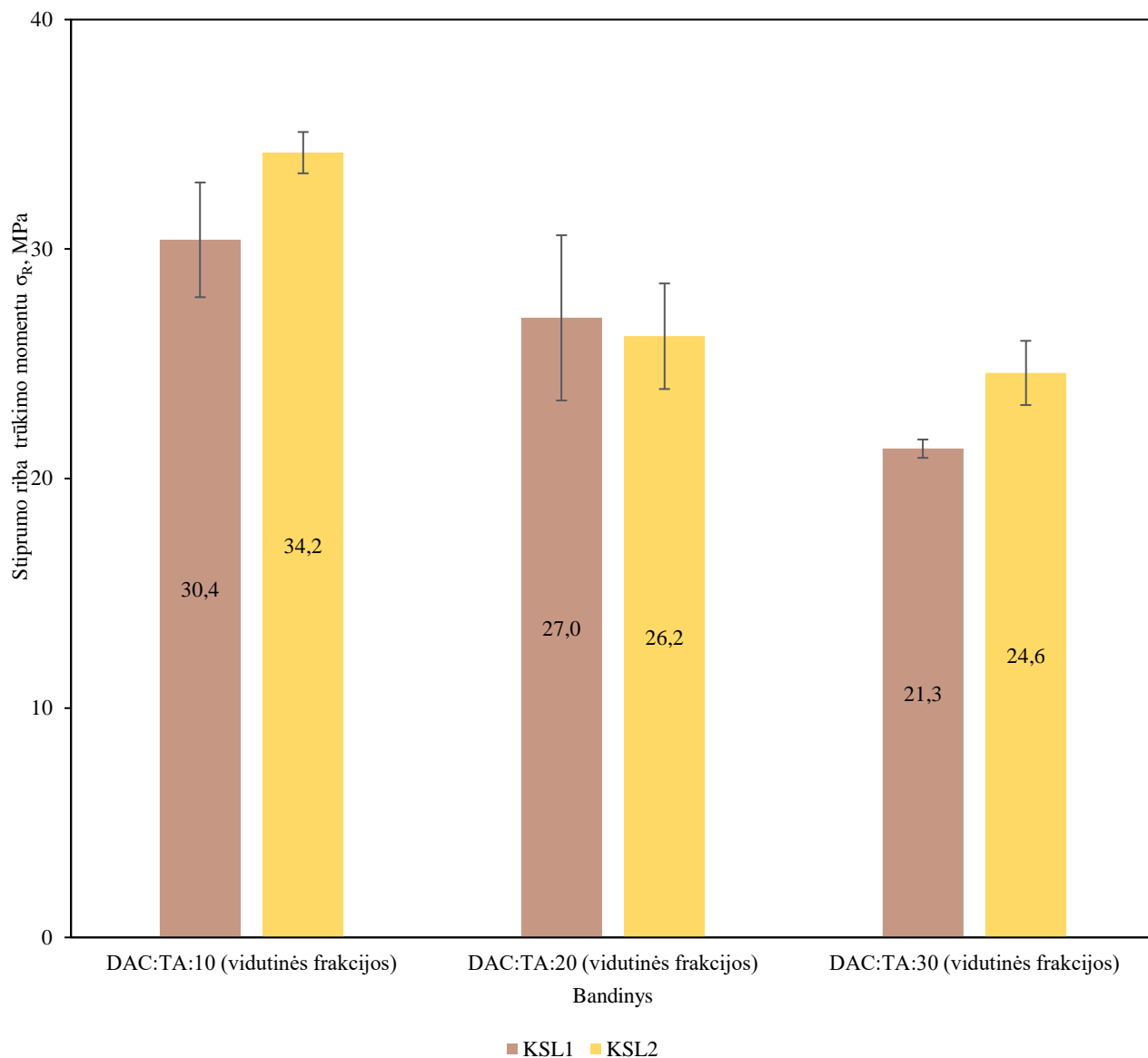
9 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL2) stiprumo ribos rodikliai po 6 mėnesių

Bandinys	Stiprumo riba, MPa
DAC:TA:10	35,1±3,9
DAC:TA:20	26,3±2,9
DAC:TA:30	21,8±1,4

Analizuojant gautus rezultatus matyti, kad po tokio trumpo laikotarpio, bandinių stiprumo ribos vertės šiek tiek sumažėjo. Gautas sumažėjimas vidutiniškai siekia apie 3,6 %.



28 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) stiprumo ribos trūkimo momentu rodikliai, esant vienodam TA kiekiui kompozite



29 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) stiprumo ribos trūkimo momentu rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

Analizuojant gautus rezultatus (žr. 28 pav.) matoma tam tikra tendencija, kuri parodo, kad analogiškai, kaip ir analizuojant stiprumo ribą, didėjant kanapių sėklų lukštų kiekiui kompozite, stiprumo ribos trūkimo momentų vertės mažėja. Didžiausia vertė yra kontrolinio bandinio, kurio stiprumo riba trūkimo momentu siekia net 45,5 MPa. Analizuojant gautus rezultatus taip pat galima daryti prielaidą, kad galimai gautos mechaninės charakteristikos vertės mažėja ne tik dėl didėjančio kanapių sėklų lukštų kiekio kompozite, bet ir dėl mažėjančio DAC kiekio. Analizuojant tos pačios sudėties, tik iš skirtingų frakcijų kanapių sėklų lukštų, pagamintus kompozitus (žr. 28 pav.) pastebima, kad ryškių skirtumų tarp gautų rezultatų nėra. Geriausius rezultatus atspinti stambiausia kanapių sėklų lukštų frakcija.

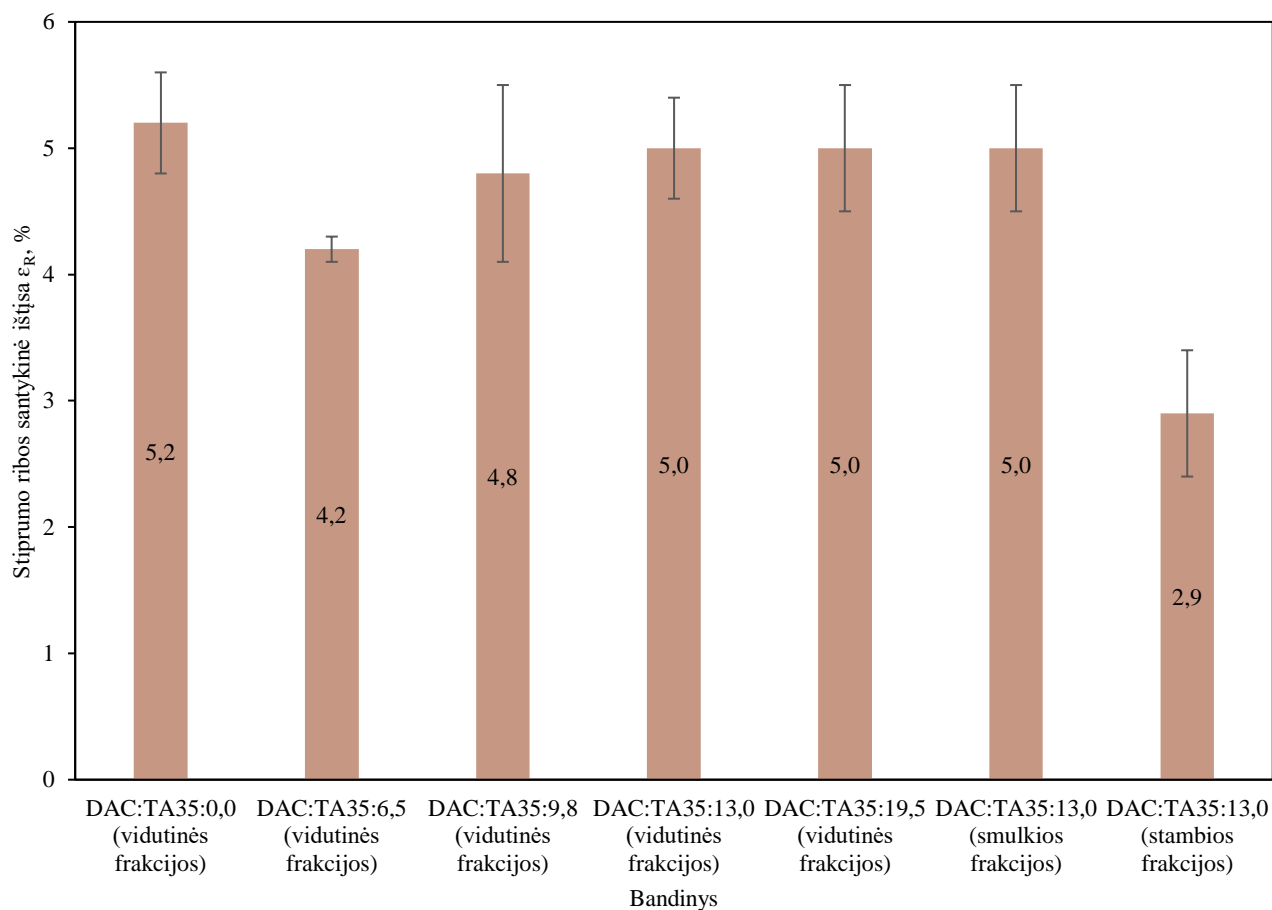
Analizuojant gautus rezultatus žr. 29 pav. pastebimas ženklus skirtumas tarp kompozitų su 10 % ir 20 % KSL2, kai stiprumo ribos trūkimo momentu vertė sumažėja 9,7 MPa. Ženklaus skirtumo tarp tos pačios sudėties, tik naudojant skirtingus kanapių sėklų lukštus nepastebima.

Atliktas pakartotinis biokompozitų (DAC:TA:KSL2) stiprumo ribos trūkimo momentu nustatymas, praėjus pusei metų, nuo atlikto tyrimo, siekiant išsiaiškinti ar gauti bandiniai yra stabilus (žr. 10 lentelę).

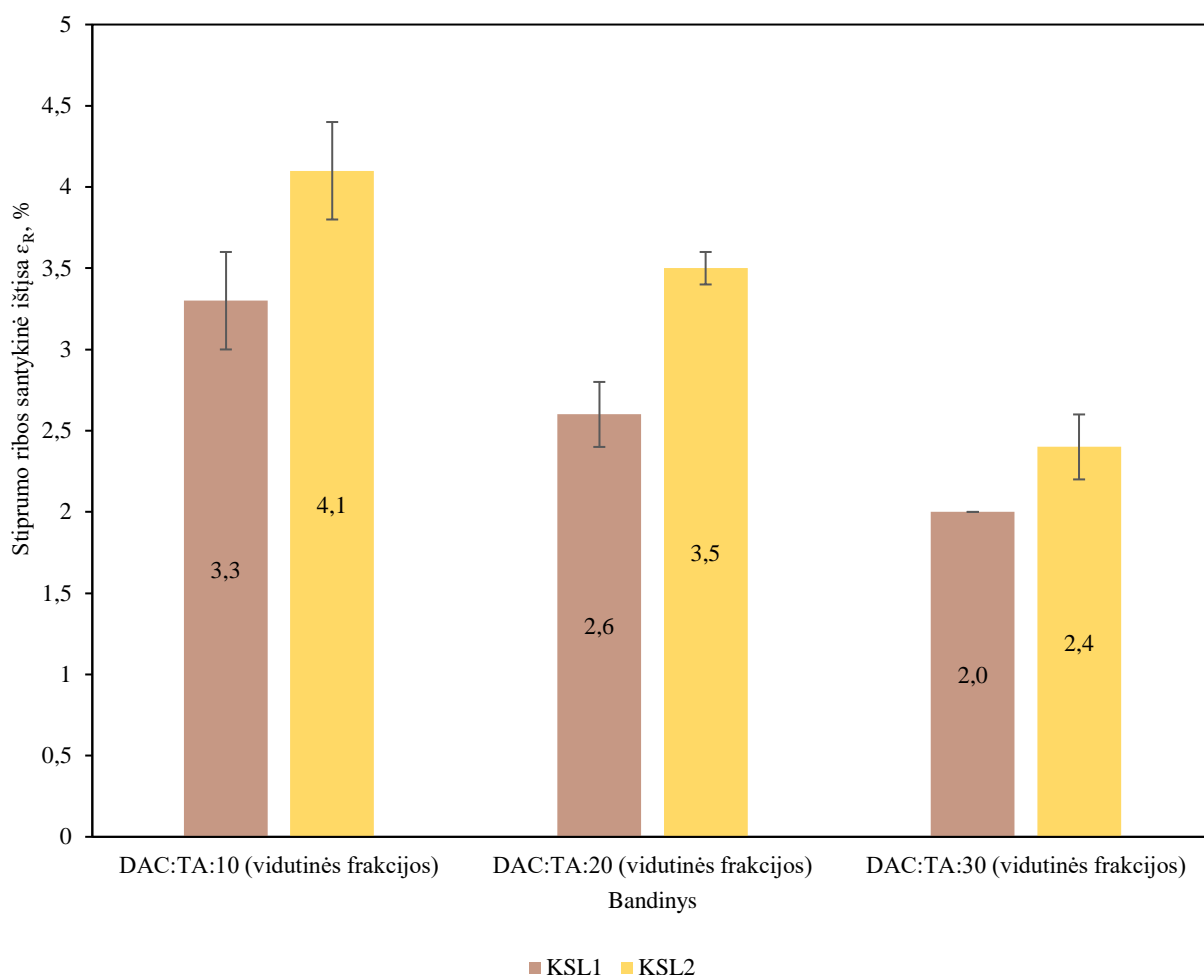
10 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL2) stiprumo ribos trūkimo momentu rodikliai po 6 mėnesių

Bandinys	Stiprumo riba trūkimo momentu MPa
DAC:TA:10	34,0±3,3
DAC:TA:20	25,4±2,5
DAC:TA:30	20,9±1,3

Analizuojant gautus rezultatus matyti, kad po tokio trumpo laikotarpio, bandinių stiprumo ribos trūkimo momentu vertės šiek tiek sumažėjo. Gautas sumažėjimas vidutiniškai siekia apie 2,5 %.



30 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) stiprumo ribos santykinė išťažsa, esant vienodam TA kiekiui kompozite



31 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) stiprumo ribos santykinės išťažsa, kai DAC:TA masės santykytis yra 65:35

Santykinė išťažsa parodo gaminių gebėjimą pailgėti, veikiant apkrovai. Iš gautų tyrimo rezultatų pastebima, kad didelę įtaką šiam mechaninės charakteristikos rodikliui turi TA kiekis kompozite. Lyginant tarpusavyje rezultatus, kai kompozituose naudojamas vienodas kiekis TA (žr. 30 pav.) ir biokompozitų DAC:TA:KSL1/KSL2 (žr. 31 pav.) gauta stiprumo ribos santykinė išťažsa skiriasi ir yra mažesnė ten, kur yra naudotas mažesnis TA kiekis, o skirtumas siekia apie 1 %.

Taip pat pastebima tendencija, kad didėjantis kanapių sėklų lukštų kiekis kompozite sumažina stiprumo ribos santykinę išťažsa. Tą atvaizduoja ir kontrolinis bandymas (žr. 30 pav.), kai į jo sudėtį neįėjo kanapių sėklų lukštai, o gauta vertė yra iš visų rezultatų yra didžiausia ir siekia 5,2 %.

Analizuojant tos pačios sudėties, tik iš skirtingų frakcijų kanapių sėklų lukštų, pagamintus kompozitus pastebima, kad vidutinės ir smulkios frakcijos rezultatai yra vienodi, o pakankamai didelis santykinės išťažsos sumažėjimas pastebimas naudojant stambiausią kanapių sėklų lukštų frakciją. Galimai stambesnės lukštų dalelės padaro kompozitą trapesnę ir todėl šis greičiau trūksta ir sutrupa prieš ženkliai pailgėjant.

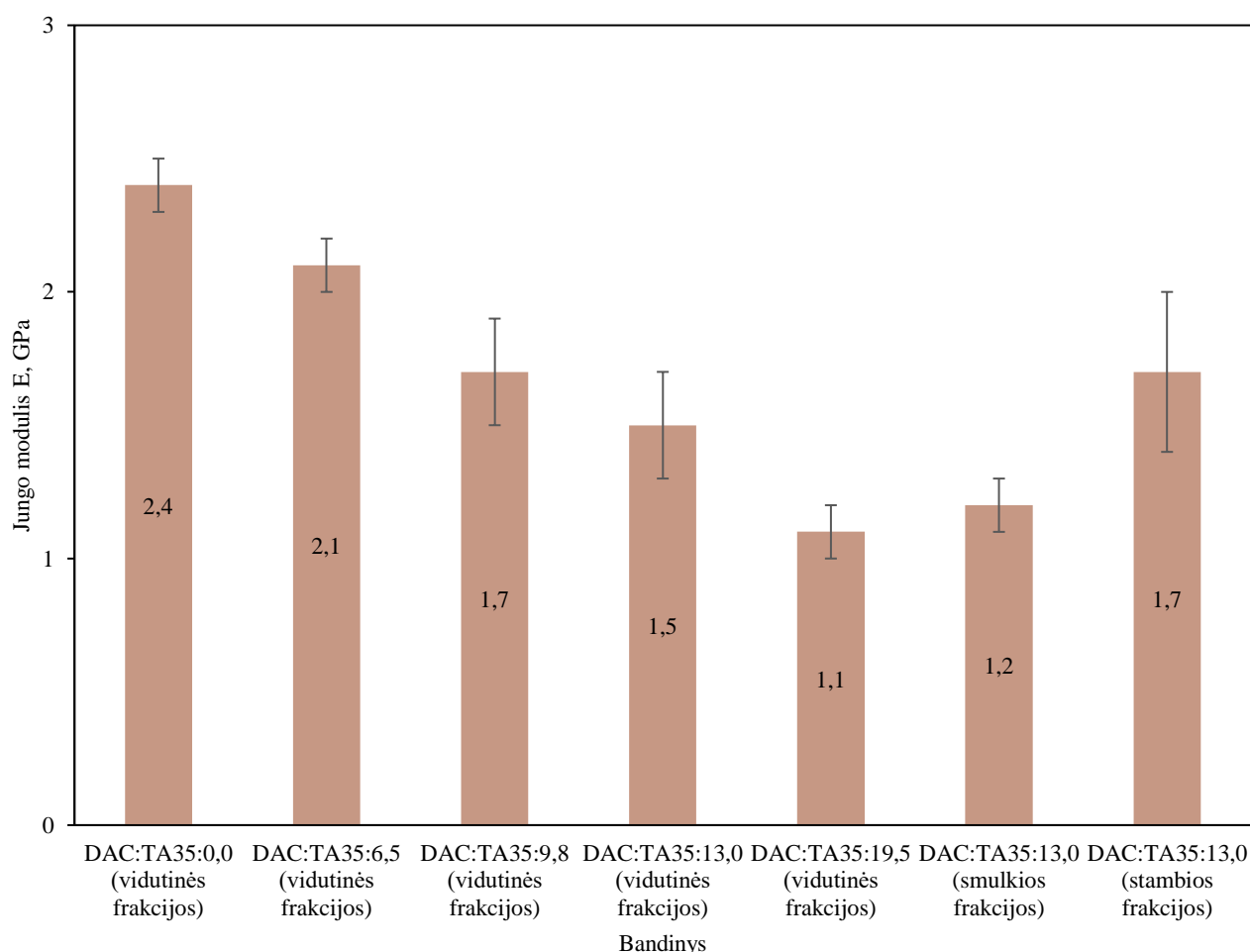
Pastebima, kad gautoms santykinės išťažsos vertėms turi įtakos ir skirtingų tiekėjų kanapių sėklų lukštai, naudoti kompozitų gamyboje (žr. 31 pav.). Kompozitai, kuriems gaminti buvo naudoti KSL1, pasižymi mažesne santykinė išťažsa nei lyginant su tos pačios sudėties kompozitus, gautus naudojant KSL2.

Atliktas pakartotinis biokompozitų (DAC:TA:KSL2) stiprumo ribos santykinės ištiesos nustatymas, praėjus pusei metų, nuo atlikto tyrimo, siekiant išsiaiškinti ar gauti bandiniai yra stabilūs (žr. 11 lentelę).

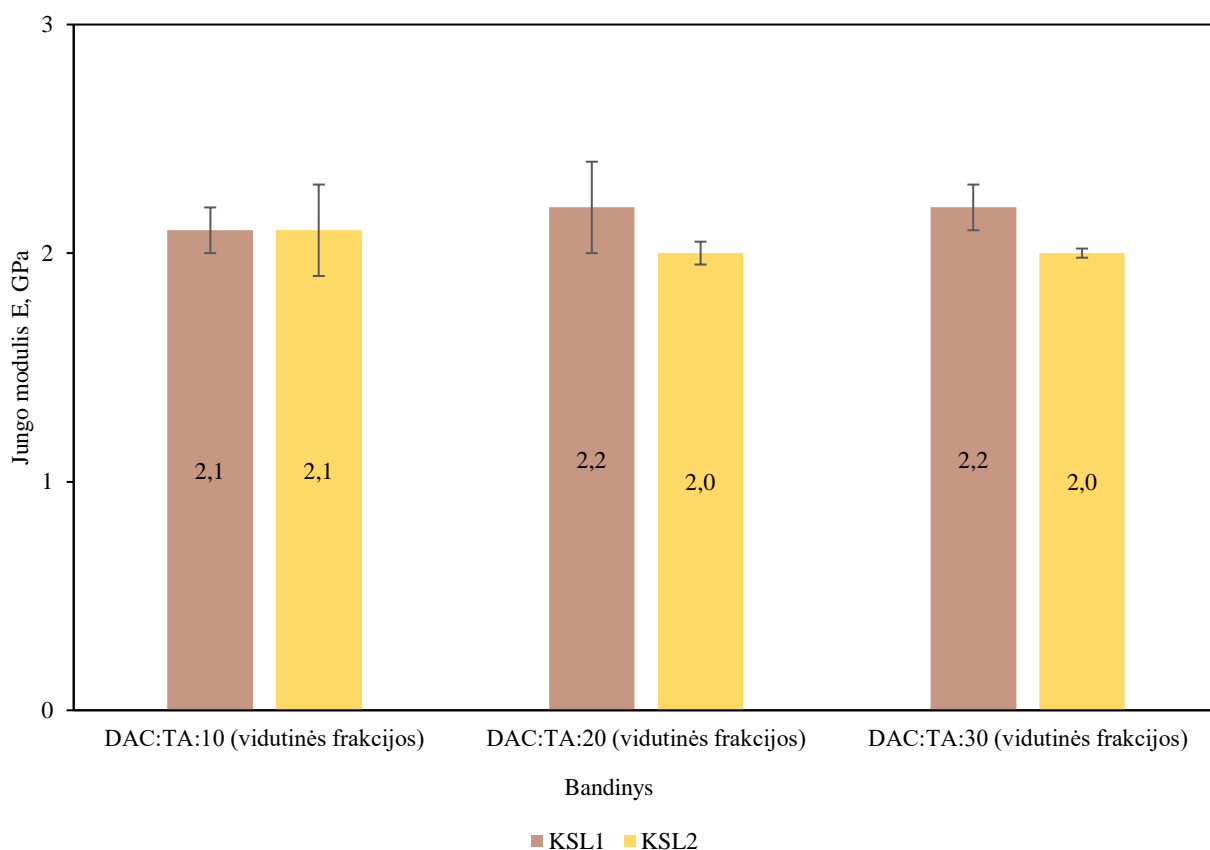
11 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL2) stiprumo ribos santykinės ištiesos rodikliai po 6 mėnesių

Bandinys	Stiprumo ribos santykinė ištiesa, %
DAC:TA:10	4,1±0,6
DAC:TA:20	3,5±0,4
DAC:TA:30	1,8±0,1

Analizuojant gautus rezultatus matyti, kad po tokio trumpo laikotarpio, bandinių DAC:TA:10 ir DAC:TA:20, gautos stiprumo ribos santykinės ištiesos vertės nepakito, o DAC:TA:30 skiriasi tik per 0,6 % nuo pradinio bandinio. Galima daryti išvada, kad toks trumpas laikotarpis neturėjo įtakos biokompozitų stiprumo ribos santykinėi ištiesai.



32 pav. Biokompozitų (DAC:TA35:KSL1) Jungo modulio rodikliai, esant vienodam TA kiekiui kompozite



33 pav. Biokompozitų (DAC:TA:KSL1/KSL2) Jungo modulio rodikliai, kai DAC:TA masės santykis yra 65:35

Jungo modulis yra labai svarbi mechaninė charakteristika, kuri nurodo medžiagos stabilumą – gebėjimą išlaikyti matmenis deformacijų ribose. Analizuojant rezultatus (žr. 32 pav.) Jungo modulis mažėja, didėjant kanapių sėklų lukštų kiekiui kompozite. Tai akivaizdžiai parodo ir kontrolinis bandymas (be kanapių sėklų lukštų), kurio vertė gavosi didžiausia (2,4 GPa). Tos pačios sudėties, tik iš skirtingų frakcijų kanapių sėklų lukštų, pagamintų kompozitų Jungo modulis gautas didžiausias, naudojant stambiausią lukštų frakciją, o mažiausias – smulkiausią. Analizuojant gautus rezultatus, naudojant skirtingų tiekėjų kanapių sėklų lukštus (žr. 33 pav.) akivaizdaus Jungo modulio verčių skirtumo nesimato. Gautų rezultatų maksimalus skirtumas – 0,3 GPa.

Atliktas pakartotinis biokompozitų (DAC:TA:KSL2) Jungo modulio rodiklio nustatymas, praėjus pusei metų, nuo atlikto tyrimo, siekiant išsiaiškinti ar gauti bandiniai yra stabilūs (žr. 12 lentelę).

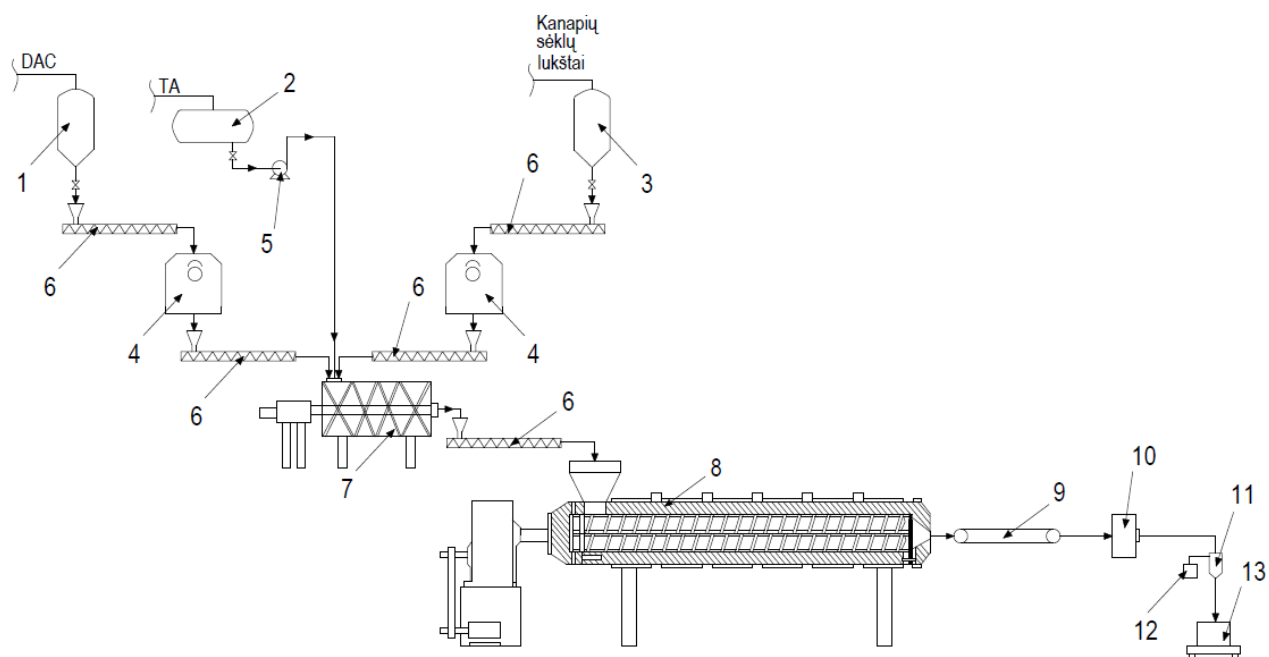
12 lentelė. Biokompozitų (DAC:TA:KSL2) Jungo modulio rodikliai po 6 mėnesių

Bandinys	Jungo modulio rodikliai, GPa
DAC:TA:10	2,0±0,1
DAC:TA:20	1,8±0,1
DAC:TA:30	1,8±0,1

Analizuojant gautus rezultatus matyti, kad po tokio trumpo laikotarpio, bandinių stiprumo ribos trūkimo momentu vertės šiek tiek sumažėjo. Gautas sumažėjimas vidutiniškai siekia apie 0,2 %.

3. Inžinerinė dalis

Remiantis atlikto tyrimo rezultatais, kompozito, kurio sudėtis yra 58,5 % DAC, 31,5 % TA ir 10 % KSL2 (0,63 mm–0,16 mm), gautos stiprumo ribos bei stiprumo ribos trūkimo momentų vertės yra didžiausios, todėl rekomenduojama yra šios sudėties biokompozito gamyba. Rekomenduojama biokompozito technologinė linija pateikta 34 paveikslėlyje.



34 pav. Biokompozito (DAC58,5:TA31,5:10KSL2) gamybos technologinė schema: 1 – celiuliozės diacetato saugojimo silosas, 2 – triacetino saugojimo talpykla, 3 – kanapių sėklų lukštų saugojimo silosas, 4 – rotacinė džiovykla, 5 – išcentrinis siurblys, 6 – sraigtinis transporteris, 7 – sraigtinė maišyklė, 8 – ekstruderis, 9 – juostinis transporteris, 10 – granulatorius, 11 – sietas su optiniu spinduliu, 12 – išmetimo talpa, 13 – didmaišiai

Prieš žaliavoms patenkant į maišyklę, iš pradžių vykdomas pasiruošimo procesas. Pačioje pradžioje vienas svarbiausių dalykų yra tinkamas gamyboje naudojamų medžiagų parinktas santykis. DAC milteliai (< 1 mm) į gamyklą atvežami autotransportu didmaišiais. Iškrovimas į DAC saugojimo silosą (1) vykdomas pneumotransportu naudojant azotą, kadangi DAC milteliai pneumotransporte sudaro su ore esančiu deguonimi sprogų mišinį. Siekiant išvengti sprogo, deguonies koncentracija sistemoje nuolat matuojama. Pasiekus deguonies koncentracijai kritinę vertę, įsijungia blokuotė, kuri sustabdo medžiagos transportavimą. DAC pasižymi higroskopiskumu, ir dažniausiai tokia žaliava į gamyklą atvežama turinti apie 3 % drėgmės, todėl atvežtus DAC miltelius būtina išdžiovinti. DAC iš DAC saugojimo siloso (1) sraigtinio transporteriu tiekiamas į rotacinę džiovyklą (4) džiovinimui. DAC per padavimo angą patenka ant rotacinės džiovyklos besisukančio būgno, kur džiovinamas karštu oru 105 °C temperatūroje 1 valandą.

TA skystos būsenos į gamyklą atvežamas autotransportu cisternomis, kuris išcentrinio siurbliu tiekiamas į TA saugojimo talpyklą (2). TA užšalimo temperatūra yra apie -78 °C, todėl atsižvelgus į Lietuvos klimato sąlygas, TA saugojimo talpykla nėra šildoma. Ši medžiaga kompozito gamyboje

naudojama tam, kad suteiktų plastiškumo. Nesant šiam priedui DAC šildant neskystėja, o pradeda degti, todėl vykdyti ekstruzijos procesą be šio komponento nebūtų įmanoma.

Kanapių sėklų lukštai (0,63 mm–0,16 mm) į gamyklą atvežami autotransportu didmaisiais. Išskrovimas į kanapių sėklų lukštų saugojimo silosą (3) vykdomas pneumotransportu naudojant azotą, kadangi kaip ir DAC milteliai, pneumotransporte sudaro su ore esančiu deguonimi sprogų mišinį. Siekiant išvengti sprogo, deguonies koncentracija sistemoje nuolat matuojama. Pasiekus deguonies koncentracijai kritinę vertę, įsijungia blokuotė, kuri sustabdo medžiagos transportavimą. Kadangi atvežti kanapių sėklų lukštai (KLS2) turi 8,5 % drėgmės, sraigtiniu transporteriu tiekiami į rotacinę džiovyklą (4) džiovinimui. Džiovinimas vykdomas karštu oru 105 °C temperatūroje 2 valandas. Iš rotacinės džiovyklos atvėsęs oras tiekiamas į cikloną, kur yra išvalomas nuo likusių žaliavų likučių ir išvalytas iki 99 % išmetamas į atmosferą.

Išdžiovintas DAC ir kanapių sėklų lukštai iš džiovyklos sraigtiniu transporteriu tiekiami į maišyklę (7). TA transportavimas į maišyklę vykdomas išcentrinio siurbliu (5). Toks skysčių transportavimo būdas dažniausiai naudojamas chemijos pramonėje, kadangi išcentriniai siurbliai yra paprastos konstrukcijos, veikia tolygiai, užima mažai vietos. Užtikrinant gerą gautos produkcijos kokybę, labai svarbu, kad kompozicija į ekstruderį patektų gerai išmaišyta. Horizontalią sraigtinę maišyklę (7) sudaro dvigubas besisukantis sraigtas, kuris užtikrina tolygų medžiagų maišymosi procesą. Tokio tipo maišyklės dažnai naudojamos chemijos pramonėje maišant birias ir skystas medžiagas. Horizontali sraigtinė maišyklė pasižymi dideliu efektyvumu, mažu energijos suvartojimu, paprasta konstrukcija ir veikimo principu.

Iš maišyklės (7) sumaišytos medžiagos tiekiamos į horizontalų sraigtinį transporterį. Sukantis sraigtui medžiagų mišinys ne tik transportuojamas į dviejų sraigtų vienkryptį ekstruderį (8), bet ir yra papildomai maišomas. Toks transportavimo būdas plačiai naudojamas birių bei karštų medžiagų transportavimui. Į dviejų sraigtų besisukančių viena kryptimi ekstruderį (8) iš pradžių mišinys patenka į sraigto kanalą, kuris sukasi korpuso, esančio cilindro viduje. Sukimas užtikrinamas elektrovarkliu, kuris yra sujungtas su reduktoriumi. Ekstruderio korpusas yra suskirstytas į 6 sekcijas, kurios yra šildomos numatytais temperatūromis: pirmoji sekcija 60 °C, antroji 130 °C ir trečioji–šeštoji 190 °C. Temperatūra matuojama termoporumis. Ekstruderio sraigtas suskirstytas į tris zonas – žaliavų padavimo, suspaudimo ir dozavimo. Žaliavų padavimo zonoje mišinys pašildomas, suspaudimo zonoje – dėl sumažėjusio sraigto gylio suspaudžiamas, o dozavimo zonoje tolygiu greičiu tiekiamas į galvutę. Mišinys lydosi judėdamas sraigto kanalu ir išspaudžiamas pro galvutę.

Iš ekstruderio (8) gautos gijos juostiniu transporteriu (9) tiekiamos į granuliatorių (10). Granuliatorių sudaro du besisukantys į skirtingas puses volai, turintys aštirus peilius, kurie supjausto gijas į granules. Granuliatorius gijas pjausto 10 m/min greičiu. Gautos granulės iš granulatoriaus savitaka patenka į sieta su optiniu spinduliu (11), kuris fiksuoja granuliu sukibimą. Sukibusios granulės patenka į išmetimo talpą (12), o granulės atitinkančios reikalavimus savitaka patenka į didmaišius (13). Gaunamas granuliu pavidalo biokompozito galutinis produktas. Tokio pavidalo produktas transportuojant ar sandėliuojant nedulka bei užima nedidelį tūrį.

Biokompozito (DAC:TA:KLS2) granuliu gamybos technologinis procesas yra nepertraukiamas, dirbama po 8 valandas, trimis pamainomis. Profilaktiniam tikrinimui gamyba stabdoma tik kartą į 2 metus, todėl skaičiuojant gamybos našumą, nėra vertinami neplanuoti gamybos stabdymo etapai,

kurie gali atsirasti sugedus įrenginiams, padavimo sistemoms, sutrikus žaliavų tiekimu. Darbo režimo duomenys pateikti 13 lentelėje.

13 lentelė. Darbo režimo duomenys

Darbo dienų skaičius metuose	365
Mėnesių skaičius metuose	12
Savaitių skaičius metuose	52
Pamainų skaičius per parą	3
Darbo trukmė valandomis pamainoje	8
Darbo dienų skaičius savaitėje	7

Pagal 20 formulę apskaičiuojamas reikalingų žaliavų kiekis biokompozito (58,5DAC:31,5TA:10KSL2) 1 t granulių pagaminti. Skaičiavimuose įvertinamas DAC drėgnis (3 %) bei KLS2 (8,5 %) ir brokas, kuris sudaro 15 %.

$$N_{\dot{z}} = \frac{m_{\%}}{100} + \frac{m_{\%} \cdot m_{\text{drėg.}}}{100} + \left(\frac{m_{\%}}{100} + \frac{m_{\%} \cdot m_{\text{drėg.}}}{100} \right) \cdot \frac{15}{100}; \quad (20)$$

čia: $m_{\%}$ - reikiamos žaliavos kiekis, %;

$m_{\text{drėg.}}$ - drėgmės kiekis, %;

$N_{\dot{z}}$ - žaliavos kiekis, t.

$$N_{\dot{z}(\text{DAC})} = \frac{58,5}{100} + \frac{58,5 \cdot 3}{100} + \left(\left(\frac{58,5}{100} + \frac{58,5 \cdot 3}{100} \right) \cdot \frac{15}{100} \right) = 0,69 \text{ t}$$

$$N_{\dot{z}(\text{TA})} = \frac{31,5}{100} + \frac{31,5 \cdot 0}{100} + \left(\left(\frac{31,5}{100} + \frac{31,5 \cdot 0}{100} \right) \cdot \frac{15}{100} \right) = 0,36 \text{ t}$$

$$N_{\dot{z}(\text{KSL2})} = \frac{10}{100} + \frac{10 \cdot 8,5}{100} + \left(\left(\frac{10}{100} + \frac{10 \cdot 8,5}{100} \right) \cdot \frac{15}{100} \right) = 0,12 \text{ t}$$

Gauti skaičiavimo rezultatai pateikti 14 lentelėje.

14 lentelė. Biokompozito (58,5DAC:31,5TA:10KSL2) 1 t granulių pagaminti reikalingi žaliavų kiekiai

Žaliava	1 t biokompozito granulių pagaminti reikiamas žaliavų kiekis, t
DAC	0,69
TA	0,36
KSL2	0,12

Biokompozito granulių per metus numatoma pagaminti 2000 t. Pagal numatomą produkcijos našumą, apskaičiuojami, gamyboje naudojamų žaliavų kiekiai.

Apskaičiuojamas žaliavų sąnaudų kiekis metams:

$$G_{\dot{z} \text{ metams}} = \frac{G_m \cdot N_{\dot{z}}}{N_p}; \quad (21)$$

čia: G_m – granuliu gamybos metinis našumas, t

N_p – produkto kiekis, t.

$$G_{\dot{z}(\text{DAC}) \text{ metams}} = \frac{2000 \cdot 0,69}{1} = 1380 \text{ t/metams}$$

$$G_{\dot{z}(\text{TA}) \text{ metams}} = \frac{2000 \cdot 0,36}{1} = 720 \text{ t/metams}$$

$$G_{\dot{z}(\text{KSL2}) \text{ metams}} = \frac{2000 \cdot 0,12}{1} = 240 \text{ t/metams}$$

Apskaičiuojamas žaliavų sąnaudų kiekis per savaitę:

$$G_{\dot{z} \text{ sav.}} = \frac{G_{\dot{z} \text{ metams}}}{d_1}, \quad (22)$$

čia: d_1 – savaitių skaičius metuose.

$$G_{\dot{z}(\text{DAC}) \text{ sav.}} = \frac{1380}{52} = 26,5 \text{ t/savaitei}$$

$$G_{\dot{z}(\text{TA}) \text{ sav.}} = \frac{720}{52} = 13,8 \text{ t/savaitei}$$

$$G_{\dot{z}(\text{KSL2}) \text{ sav.}} = \frac{240}{52} = 4,6 \text{ t/savaitei}$$

Apskaičiuojamas žaliavų sąnaudų kiekis per parą:

$$G_{\dot{z} \text{ parai}} = \frac{G_{\dot{z} \text{ metams}}}{d_2}, \quad (23)$$

čia: d_2 – dienų skaičius metuose (darbo dienų).

$$G_{\dot{z}(\text{DAC}) \text{ parai}} = \frac{1380}{365} = 3,8 \text{ t/parai}$$

$$G_{\dot{z}(\text{TA}) \text{ parai}} = \frac{720}{365} = 1,9 \text{ t/parai}$$

$$G_{\dot{z}(\text{KSL2}) \text{ parai}} = \frac{240}{365} = 0,7 \text{ t/parai}$$

Apskaičiuojamas žaliavų sąnaudų kiekis vienai pamainai:

$$G_{\dot{z} \text{ pam.}} = \frac{G_{\dot{z} \text{ parai}}}{d_3}, \quad (24)$$

čia d_3 – pamainų skaičius.

$$G_{\dot{z}(\text{DAC}) \text{ pam.}} = \frac{3,8}{3} = 1,3 \text{ t/pamainai}$$

$$G_{\dot{z}(\text{TA}) \text{ pam.}} = \frac{1,9}{3} = 0,6 \text{ t/pamainai}$$

$$G_{\dot{z}(\text{KSL2}) \text{ pam.}} = \frac{0,7}{3} = 0,2 \text{ t/pamainai}$$

Apskaičiuojamas žaliavų sąnaudų kiekis per valandą:

$$G_{z \text{ val.}} = \frac{G_{z \text{ metams.}}}{t}; \quad (25)$$

čia t – valandų skaičius metuose (darbo valandų).

$$G_{z \text{ (DAC) val.}} = \frac{1380}{8760} = 0,16 \text{ t/valandai}$$

$$G_{z \text{ (TA) val.}} = \frac{720}{8760} = 0,08 \text{ t/valandai}$$

$$G_{z \text{ (KSL2) val.}} = \frac{240}{8760} = 0,03 \text{ t/valandai}$$

Gauti skaičiavimo rezultatai pateikti 15 lentelėje.

15 lentelė. Numatytam produkcijos našumui apskaičiuoti reikiamų žaliavų kiekiai

Žaliavos pavadinimas	Žaliavos sąnaudų kiekis, t				
	metus	savaitę	parą	pamainą	valandą
DAC	1380	26,5	3,8	1,3	0,16
TA	720	13,8	1,9	0,6	0,08
KSL2	240	4,6	0,7	0,2	0,03

4. Darbuotojų sauga ir sveikata

Pagal Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos 2003-07-01 įstatymą Nr. IX-1672 antrąjį skirsnį „Darbdavio pareiga. Darbuotojų saugos ir sveikatos tarnybos įmonėse. Darbuotojų dalyvavimas“ darbdavio pareiga yra sudaryti darbuotojams saugias ir sveikatai nekenksmingas darbo sąlygas visais su darbu susijusiais aspektais [43], todėl profesinės rizikos vertinimas yra būtinas.

Profesinės rizikos veiksnių sąvokos apibrėžtos 2012-10-31 įstatyme dėl profesinės rizikos vertinimo bendrųjų nuostatų patvirtinimo [44]. Biokompozito (DAC:TA:KSL2) gamybos technologiniame procese galima susidurti su tokiais profesinės rizikos veiksniais, kaip:

- fizikiniai veiksniai – blogas apšvietimas, triukšmas, darbo vietos aplinkos temperatūra;
- fiziniai veiksniai – judančios įrenginių dalys, gaisras, sproginimas, pavojingi paviršiai, netinkamas darbo vietos įrengimas, statinių tvirtumo ir stabilumo neužtikrinimas;
- cheminiai veiksniai – dulkės;
- biologiniai veiksniai – mikroorganizmai, galintys sukelti alergiją ar infekciją;
- ergonominiai veiksniai – darbo vietos nepritaikymas pagal darbuotojo galimybes, fizinis darbo krūvis;
- psichosocialiniai veiksniai – nervinė įtampa, psichologinis stresas, netinkamas darbo organizavimas.

Siekiant išvengti darbo vietoje galimų pavojų bei profesinių rizikos veiksnių arba sumažinti šių veiksnių neigiamą poveikį darbuotojo sveikatai iki priimtinos arba toleruotinos rizikos, darbuotojai privalo būti aprūpinti asmeninėmis bei kolektyvinėmis apsaugos priemonėmis. Biokompozito (DAC:TA:KSL2) gamyboje darbo metu darbuotojai privalo dėvėti asmenines apsaugos priemones, tokias kaip: apsauginius akinius, pirštines, apsauginę aprangą, galvos apsaugą (šalmą), šviesą atspindinčią liemenę, kvėpavimo apsaugos priemones. Visos asmeninės apsaugos priemonės privalo būti sertifikuotos ir nekaupiančios elektrostatinio krūvio.



Kolektyvines apsaugos priemones biokompozito (DAC:TA:KSL2) gamyboje sudaro: apsauginiai stogeliai, perėjimo tilteliai su apsauginiais aptvarais, apsaugos plokštės nuo garso, bendros vėdinimo sistemos, dūmų detektoriai, priešgaisrinė signalizacija.

Magistro baigiamojo projekto metu naudotų cheminių medžiagų galintys pasireikšti pavojai ir reikiamos apsauginės priemonės pateiktos 16 lentelėje.




16 lentelė. Tiriamajame darbe naudotų cheminių medžiagų galintys pasireikšti pavojai ir reikiamos apsaugos priemonės [45]

Medžiaga	Išpėjamieji ženklai ir pavojingumo frazės	Pirmosios pagalbos ir priešgaisrinės priemonės	Asmeninės apsaugos priemonės
Distiliuotas vanduo	Nepavojinga medžiaga pagal Reglamentą (EB) Nr. 1272/2008	Nereikia imtis jokių ypatingų priemonių	Naudoti akių apsaugos priemonės nuo skysčių pusrslų



Lentelės tęsinys:

<p>Kanapių sėklų lukštai</p>	<p>Nepavojinga medžiaga pagal Reglamentą (EB) Nr. 1272/2008</p>	<p>Pirmosios pagalbos priemonės: nereikia imtis jokių ypatingų priemonių. Priešgaisrinė priemonės: vandens purškimas, sausi gesinimo milteliai, putos</p>	<p>Apsauginė apranga, akių apsaugos priemonės, kvėpavimo apsaugos priemonės</p>
<p>TA</p>	<p>Nepavojinga medžiaga pagal Reglamentą (EB) Nr. 1272/2008</p>	<p>Pirmosios pagalbos priemonės: po sąlyčio su akimis bei patekus ant odos, plauti vandeniu kelias minutes. Priešgaisrinės priemonės: vandens purškimas, sausi gesinimo milteliai arba anglies dioksidas, alkoholiui atsparios putos</p>	<p>Apsauginė apranga, akių ir veido apsaugos priemonės, apsauginės pirštinės, kvėpavimo apsaugos priemonės</p>
<p>Heksanas</p>	<p>Pavojaus piktogramos:  Pavojingumo frazės: H225, H304, 4315, H317, H319, H336, H361, H373, H411, H412 Atsargumo frazės: P203, P210, P233, P240, P241, P242, P243, P260, P261, P264, P264+P265, P271, P272, P273, P280</p>	<p>Pirmosios pagalbos priemonės: patekus į akis nedelsiant plauti vandeniu 20-30 min, patekus ant odos, nedelsiant pažeistą vietą nuplauti vandeniu, įkvėpus – kurį laiką giliai kvėpuoti atvirame lauke. Pablogėjus situacijai skambinti 112. Priešgaisrinės priemonės: Putos, sausi cheminiai milteliai, anglies dioksidas, smėlis, žemė.</p>	<p>Apsauginė apranga, akių ir veido apsaugos priemonės, apsauginės pirštinės</p>
<p>Azoto rūgštis</p>	<p>Pavojaus piktogramos:  Pavojingumo frazės: H272, H290, H314, H331 Atsargumo frazės: P220, P260, P280</p>	<p>Pirmosios pagalbos priemonės: patekus į akis nedelsiant plauti vandeniu 20-30 min, patekus ant odos, nedelsiant pažeistą vietą nuplauti vandeniu, įkvėpus – kurį laiką giliai kvėpuoti atvirame lauke. Pablogėjus situacijai skambinti 112. Priešgaisrinės priemonės: Vandens purškimas, sausi gesinimo milteliai, alkoholiui atsparios putos, anglies dioksidas</p>	<p>Apsauginė apranga, akių ir veido apsaugos priemonės, apsauginės pirštinės</p>

Lentelės tęsinys:

<p>Etanolis</p>	<p>Pavojaus piktogramos:</p>  <p>Pavojingumo frazės: H225, H319 Atsargumo frazės: P210, P233</p>	<p>Pirmosios pagalbos priemonės: patekus į akis nedelsiant plauti vandeniu 20-30 min, patekus ant odos, nedelsiant pažeistą vietą nuplauti vandeniu, įkvėpus – kurį laiką giliai kvėpuoti atvirame lauke. Pablogėjus situacijai skambinti 112. Priešgaisrinės priemonės Priešgaisrinės priemonės: Vandens purškimas, sausi gesinimo milteliai, alkoholiui atsparios putos, anglies dioksidas</p>	<p>Apsauginė apranga, akių ir veido apsaugos priemonės, apsauginės pirštinės</p>
<p>Sieros rūgštis</p>	<p>Pavojaus piktogramos:</p>  <p>Pavojingumo frazės: H290 Atsargumo frazės: P234</p>	<p>Pirmosios pagalbos priemonės: patekus į akis nedelsiant plauti vandeniu 20-30 min, patekus ant odos, nedelsiant pažeistą vietą nuplauti vandeniu, įkvėpus – kurį laiką giliai kvėpuoti atvirame lauke. Pablogėjus situacijai skambinti 112. Priešgaisrinės priemonės Priešgaisrinės priemonės: Vandens purškimas, sausi gesinimo milteliai, alkoholiui atsparios putos, anglies dioksidas</p>	<p>Apsauginė apranga, akių ir veido apsaugos priemonės, apsauginės pirštinės</p>
<p>Kjeldalio katalizatorius</p>	<p>Pavojingumo piktogramos:</p>  <p>Pavojingumo frazės: H319, H4210 Atsargumo frazės: P273, P280</p>	<p>Pirmosios pagalbos priemonės: patekus į akis nedelsiant plauti vandeniu 20-30 min, patekus ant odos, nedelsiant pažeistą vietą nuplauti vandeniu, įkvėpus – kurį laiką giliai kvėpuoti atvirame lauke. Pablogėjus situacijai skambinti 112. Priešgaisrinės priemonės Priešgaisrinės priemonės: Vandens purškimas, sausi gesinimo milteliai, alkoholiui atsparios putos</p>	<p>Apsauginė apranga, akių ir veido apsaugos priemonės, apsauginės pirštinės</p>

Lentelės tęsinys:

<p>Kalio hidroksidas</p>	<p>Pavojaus piktogramos:</p>  <p>Pavojingumo frazės: H315, H318, H335 Atsargumo frazės: P280</p>	<p>Pirmosios pagalbos priemonės: patekus į akis nedelsiant plauti vandeniu 20-30 min, patekus ant odos, nedelsiant pažeistą vietą nuplauti vandeniu, įkvėpus – kurį laiką giliai kvėpuoti atvirame lauke. Pablogėjus situacijai skambinti 112. Priešgaisrinės priemonės Priešgaisrinės priemonės: Vandens purškimas, sausi gesinimo milteliai, alkoholiui atsparios putos</p>	<p>Apsauginė apranga, akių ir veido apsaugos priemonės, apsauginės pirštinės</p>
<p>Natrio hidroksidas</p>	<p>Pavojaus piktogramos:</p>  <p>Pavojingumo frazės: H315, H318, H335 Atsargumo frazės: P280</p>	<p>Pirmosios pagalbos priemonės: patekus į akis nedelsiant plauti vandeniu 20-30 min, patekus ant odos, nedelsiant pažeistą vietą nuplauti vandeniu, įkvėpus – kurį laiką giliai kvėpuoti atvirame lauke. Pablogėjus situacijai skambinti 112. Priešgaisrinės priemonės Priešgaisrinės priemonės: Vandens purškimas, sausi gesinimo milteliai, alkoholiui atsparios putos</p>	<p>Apsauginė apranga, akių ir veido apsaugos priemonės, apsauginės pirštinės</p>
<p>Celiuliozės diacetatas</p>	<p>Nepavojinga medžiaga pagal Reglamentą (EB) Nr. 1272/2008</p>	<p>Pirmosios pagalbos priemonės: patekus į akis nedelsiant plauti vandeniu 20-30 min, patekus ant odos, nedelsiant pažeistą vietą nuplauti vandeniu, įkvėpus – kurį laiką giliai kvėpuoti atvirame lauke. Pablogėjus situacijai skambinti 112. Priešgaisrinės priemonės Priešgaisrinės priemonės: Vandens purškimas, sausi gesinimo milteliai, putos</p>	<p>Apsauginė apranga, akių ir veido apsaugos priemonės, apsauginės pirštinės, kvėpavimo takų apsaugos priemonės</p>

Išvados

1. Ištirta kanapių sėklų lukštų, gautų iš MB „Bioproduktas“ ir „Rolando ir Irenos Šimkų natūrinis ūkis“, cheminė sudėtis. Nustatyta, kad MB „Bioproduktas“ kanapių sėklų lukštų sudėtyje yra 9,2 % daugiau celiuliozės, 0,99 % baltymų, 4,8 % mažiau lignino ir du kartus mažesnis riebalų kiekis lyginant su „Rolando ir Irenos Šimkų natūrinis ūkis“ kanapių sėklų lukštais.
2. Atlikus biokompozitų formavimo į gaminius ekstruzijos būdu tyrimus, nustatyta, kad specifinės mechaninės energijos pokyčiui turi įtakos ištekėjimo iš ekstruderio greitis. Biokompozituose, kuriuose triacetinas sudaro 35 %, didinant vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekį, specifinė mechaninė energija mažėja. Mažiausia specifinė mechaninė energija gaunama naudojant smulkiausią kanapių sėklų lukštų frakciją ir atitinkamai yra 7,0 kJ/kg. Biokompozituose, kuriuose celiuliozės diacetato ir triacetino masės santykis 65:35, didinant MB „Bioproduktas“ kanapių sėklų lukštų kiekį, specifinė mechaninė mažėja, o su „Rolando ir Irenos Šimkų natūrinis ūkis“ lukštais didėja. Didesnė specifinė mechaninė energija gaunama naudojant „Rolando ir Irenos Šimkų natūrinis ūkis“ lukštus.
3. Atlikus biokompozitų masinio takumo ir mechaninių savybių tyrimą, nustatyta, kad biokompozituose, kuriuose triacetinas sudaro 35 %, didinant vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekį, didėja masinio takumo rodiklis, kietumas ir santykinė ištįsa trūkimo taške, tačiau stiprumo riba, stiprumo riba trūkimo momentu, bei Jungo modulis šiek tiek mažėja. Kanapių sėklų lukštų frakcijos dalelių dydis neturėjo reikšmingos įtakos rezultatams. Biokompozituose, kuriuose celiuliozės diacetato ir triacetino masės santykis 65:35, didinant vidutinės frakcijos kanapių sėklų lukštų kiekį, didėja kietumas, tačiau masinio takumo rodiklis, stiprumo riba, stiprumo riba trūkimo momentų bei santykinė ištįsa trūkimo taške mažėja, o Jungo modulis beveik nekinta. Didesni masinio takumo bei mechaniniai rodikliai (išskyrus kietumą) yra naudojant kanapių sėklų lukštus, gautus iš „Rolando ir Irenos Šimkų natūrinis ūkis“.
4. Atlikus biokompozitų masinio takumo rodiklio bei injekcinio liejimo būdu gautų bandinių mechaninių savybių tyrimą po 6 mėnesių, nustatytas nedidelis – iki 3,6 %, kai kurių verčių sumažėjimas. Biokompozitų, kuriuose celiuliozės diacetato ir triacetino masės santykis 65:35, naudojant 10 % ir 20 % „Rolando ir Irenos Šimkų natūrinis ūkis“ kanapių sėklų lukštus, gauti stiprumo ribos santykinės ištįsos rodikliai nepakito, todėl galima teigti, kad tiek pagamintos biokompozito granulės, tiek gaminiai iš jų yra stabilūs.
5. Naudojant AutoCAD programinį paketą, suprojektuota kanapių sėklų lukštų biokompozito granulių gamybos technologinė linija bei atliktas granulių gamyboje naudojamų žaliavų balansas. Gaminant 2000 t kanapių sėklų lukštų biokompozito granulių per metus bus sunaudojama 1380 t celiuliozės diacetato, 720 t triacetino, 240 t kanapių sėklų lukštų.

Literatūros sąrašas

1. SHANMUGAM V., R. A. MENSAH, M. FÖRSTH, G. SAS, Á. RESTÁS, C. ADDY, Q. XU, L. JIANG, R. E. NEISIANY, S. SINGHA, G. GEORGE, T. JOSE E, F. BERTO, M. S. HEDENQVIST, O. DAS, S. RAMAKRISHNA. Circular economy in biocomposite development: State-of-the-art, challenges and emerging trends. *Composites Part C: Open Access* [interaktyvus]. July 2021, vol. 5 [žiūrėta 2024-01-04]. ISSN 2666-6820. Prieiga per: Science Direct.
2. Visuotinė lietuvių enciklopedija: Kompozicinės medžiagos [žiūrėta 2024-01-06]. Prieiga per: <https://www.vle.lt/straipsnis/kompozicines-medziagos/>
3. DERVAL DOS SANTOS, Rosa and Denise Maria LENZ. *Biodegradation – Engineering and Technology* [interaktyvus]. June 2013 [žiūrėta 2024-01-06]. ISBN 978-953-51-1153-5. Prieiga per: <https://www.intechopen.com/>
4. CKN: Fundamentals of composite materials [žiūrėta 2024-01-07]. Prieiga per: https://compositeskn.org/KPC/A100#cite_note-69b1c637-c36e-321b-af99-635e393a144b-3
5. MUGDHA BHAT, Kalmanje, Jyothsana RAJAGOAPAN, Rajeshwari MALLIKARJUNAIAH, Nagashree Nagaraj RAO, and Ashwani SHARMA. Biocomposites [interaktyvus]. March 2021 [žiūrėta 2024-02-04]. ISBN 978-1-83969-081-5. Prieiga per: <https://www.intechopen.com/>.
6. LA MANTIA F.P., M. MORREALE. Green composites: A brief review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [interaktyvus]. June 2011, vol. 42 (6), 579-588 [žiūrėta 2024-01-20]. DOI: 10.1016/j.compositesa.2011.01.017.
7. BAHRAMI M, J. ABENOJAR and M. A. MARTINEZ. Recent Progress in Hybrid Biocomposites: Mechanical Properties, Water Absorbtion, and Flame Retardancy. *Materials* [interaktyvus]. November 2020, vol 13(22) [žiūrėta 2024-01-26]. DOI: 10.3390/ma13225145.
8. EL BOURAKADI K., F. Z. OURAGH HASSANI SEMLALI, M. EL ACHABY, A. EL KACEM QAISS, R. BOUHFID. Packaging and bionanocomposites. *Bionanocomposites for Food Packaging Applications* [interaktyvus]. 2022, 91-113 [žiūrėta 2024-01-26]. DOI: 10.1016/B978-0-323-88528-7.00012-5.
9. MANU T., A. R. NAZMI, B. SHAHRI, N. EMERSON, T. HUBER. Biocomposites: A review of materials and preception. *Materials Today Communications* [interaktyvus]. June 2022, vol. 31 [žiūrėta 2024-01-28]. ISSN 2352-4928. Prieiga per: Science Direct.
10. Visuotinė lietuvių enciklopedija: celiuliozė [žiūrėta 2024-01-28]. Prieiga per: <https://www.vle.lt/straipsnis/celiulioze/>
11. ChemBK: Cellulose acetate [žiūrėta 2024-02-07]. Prieiga per: <https://www.chembk.com/en/chem/Cellulose%20acetate>
12. Britannica: Cellulose acetate [žiūrėta 2024-02-07]. Prieiga per: <https://www.britannica.com/science/cellulose-acetate>
13. LEE S., N.SHIRAIISHI. Plasticization of cellulose diacetate by reaction with maleic anhydride, glycerol, and citrate esters during melt processing. *Journal of Applied Polymer Science* [interaktyvus]. July 2001, vol. 81(1), 243-250. [žiūrėta 2024-02-08]. DOI: 10.1002/app.1435.
14. PHUONG V. T., A. LAZZERI. „Green” biocomposites based on cellulose diacetate and regenerated cellulose microfibers: Effect of plasticizer content on morphology and mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [interaktyvus]. December 2012, vol. 43(12), 2256-2268 [žiūrėta 2024-02-10]. DOI: 10.1016/j.compositesa.2012.08.008.

15. APRIYANTO A., J. COMPART, J. FETTKE. A review of starch, a unique biopolymer – Structure, metabolism and in planta modifications. *Plant Science* [interaktyvus]. May 2022, vol. 318 [žiūrėta 2024-02-10]. ISSN 0168-9452. Prieiga per: Science Direct.
16. ARANAZ I., A. R. ALCÁNTARA, M. CONCEPCIÓN CIVERA, C. ARIAS, B. ELORZA, A. H. CABALLERO, N. ACOSTA. Chitosan: An Overview of Its Properties and Applications. [interaktyvus]. October 2021, vol. 13(19) [žiūrėta 2024-02-11]. DOI: 10.3390/polym13193256.
17. H. M., Ibrahim and E.M.R. EL- ZAIRY. Chitosan as a Biomaterial — Structure, Properties, and Electrospun Nanofibers. *Concepts, Compounds and the Alternatives of Antibacterials* [interaktyvus]. December 2015 [žiūrėta 2024-02-11]. ISBN 978-953-51-2232-6. Prieiga per: <https://www.intechopen.com/>
18. GODWIN Allen. D. Plasticizers. *Applied Plastics Engineering Handbook (Third Edition)* [interaktyvus]. 2024, 595-618 [žiūrėta 2024-02-15]. DOI: 10.1016/B978-0-323-88667-3.00031-X.
19. GURGEL M., A. VIEIRA, M. ALTENHOFEN DA SILVA, L. OLIVEIRA DOS SANTOS, M. MASUMI BEPPU. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal* [interaktyvus]. March 2011, vol. 47(3), 245-263 [žiūrėta 2024-02-15]. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2010.12.011.
20. ESLAMI Z., S. ELKOUN, M. ROBERT, K. ADJALLÉ. A Review of the Effect of Plasticizers on the Physical and Mechanical Properties of Alginate-Based Films. *Molecules* [interaktyvus], September 2023, vol. 28(18) [žiūrėta 2024-02-15]. DOI: 10.3390/molecules28186637.
21. BAO, Congyu. Cellulose acetate / plasticizer systems : structure, morphology and dynamics. Université Claude Bernard - Lyon I, 2015. English [žiūrėta 2024-02-16]. Prieiga per: <https://theses.hal.science/tel-01186696/document>
22. ChemicalBook: Triethyl citrate [žiūrėta 2024-02-18]. Prieiga per: https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB5854363.htm
23. ChemicalBook: Diethyl phthalate [žiūrėta 2024-02-18]. Prieiga per: https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB3349654_EN.htm
24. ChemicalBook: Tributyl citrate [žiūrėta 2024-02-19]. Prieiga per: https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB2299345_EN.htm
25. ChemicalBook: Diacetin [žiūrėta 2024-02-19]. Prieiga per: https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB7280546_EN.htm
26. ChemicalBook: Triacetin [žiūrėta 2024-02-20]. Prieiga per: https://www.chemicalbook.com/ProductChemicalPropertiesCB7441695_EN.htm
27. EDEBALI, Serpil. Methods of engineering of biopolymers and biocomposites. *Advanced Green Materials* [interaktyvus]. 2021, 351-357 [žiūrėta 2024-02-20]. DOI: 10.1016/B978-0-12-819988-6.00015-X.
28. A. TATARA, Robert. Compression Molding. *Applied Plastics Engineering Handbook (Third Edition)* [interaktyvus]. 2024, 389-424 [žiūrėta 2024-02-22]. DOI: 10.1016/B978-0-323-88667-3.00011-4.
29. EK P., G. M. GANJYAL. Chapter 1 - Basics of extrusion processing. *Extrusion Cooking (Second Edition)* [interaktyvus]. 2020, 1-28 [žiūrėta 2024-02-20]. DOI: 10.1016/B978-0-12-815360-4.00001-8.

30. S.C., Joshi. The pultrusion process for polymer matrix composites. *Manufacturing Techniques for Polymer Matrix Composites (PMCs)* [interaktyvus]. 2012, 381-413 [žiūrėta 2024-02-21]. DOI: 10.1533/9780857096258.3.381.
31. EBNESAJJAD, Sina. Injection Molding. *Fluoroplastics (Second Edition)* [interaktyvus]. 2015, 236-281 [žiūrėta 2024-02-21]. Prieiga per: <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3197-8.00010-9>
32. M.J., Edirisinghe. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology (Second Edition)*. 2001, 4088-4094. ISBN 0-08-0431526.
33. Europos komisija: Agriculture and rural development. Pluoštinės kanapės [žiūrėta 2024-02-23]. Prieiga per: https://agriculture.ec.europa.eu/farming/crop-productions-and-plant-based-products/hemp_lt
34. PROMHUAD K., A. SRISA, H. SAN, Y. LAORENZA, P. WONGPHAN, J. SODSAI, K. TANSIN, P. PHROMPHEN, N. CHARTVIVATPORNCHAI, P. NGOENCHAI, N. HARNKARNSUJARIT. Applications of Hemp Polymers and Extracts in Food, Textile and Packaging: A Review. *Polymers* [interaktyvus]. 2022, vol. 14(20) [žiūrėta 2024-02-24]. DOI: 10.3390/polym14204274.
35. ZHANG Q., X. CHEN, H. GUO, L. M. TRINDADE, E. M. J. SALENTIYN, R. GUO, M. GUO, Y. XU, M. YANG. Latitudinal Adaptation and Genetic Insights Into the Origins of Cannabis sativa L. [interaktyvus]. December 2018 [žiūrėta 2024-02-25]. DOI: 10.3389/fpls.2018.01876.
36. Government of Canada: The Biology of Cannabis sativa L. (Cannabis, hemp, marijuana) [žiūrėta 2024-02-25]. Prieiga per: <https://inspection.canada.ca/plant-varieties/plants-with-novel-traits/applicants/directive-94-08/biology-documents/cannabis-sativa-l-eng/1612447522753/1612447718390>
37. Scholarly Community Encyclopedia: Industrial hemp [žiūrėta 2024-02-27]. Prieiga per: <https://encyclopedia.pub/entry/7574>
38. KAUR G., R. KENDER. The Sustainability of Industrial Hemp: A Literature Review of Its Economic, Environmental, and Social Sustainability. *Sustainability* [interaktyvus]. March 2023, vol. 15(8) [žiūrėta 2024-02-27]. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15086457>.
39. INNO ALMOND FLY S.L. LLEIDA (ES). Method for separating the shell from seeds or fruit, sifting device, and selection device. Inventor Salvatore LA CAGNINA. Europena paten splicatio published in accordance with Art, 153 (4) EPC 2017-03-08. International publication number WO 2015/166116 (05.11.2015 Gazette 2015/44) [žiūrėta 2024-02-27]. Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/EP3138416A1/en>
40. LAFTAH W. A., W. A. WAN ADBUL RAHMAN, Rice waste-based polymer composites for packaging applications: A review [interaktyvus]. 2021 [žiūrėta 2024-03-28]. DOI: 10.1177/09673911211046775.
41. MARIOTTI F., D. TOME, P. P. MIRAND. Converting nitrogen into protein--beyond 6.25 and Jones' factors [interaktyvus]. February 2008, vol. 48(2) [žiūrėta 2024-03-28]. DOI: 10.1080/10408390701279749.
42. SCHMITZ E., E. N. KARLSSON, P. ADLERCREUTZ. Warming weathers change the chemical composition of oat hulls [interaktyvus]. November 2020, vol. 22(6) [žiūrėta 2024-04-05]. DOI 10.1111/plb.13171.
43. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. Lietuvos Respublikos darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymas: 2003 m. liepos 1 d. Nr. IX-1672 [interaktyvus]. Nauja redakcija nuo 2022-05-01

[žiūrėta 2024-04-24]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.215253/yepXaxxBVM>

44. LIETUVOS RESPUBLIKOS SVEIKATOS APSAUGOS MINISTERIJA. Dėl Profesinės rizikos vertinimo bendrųjų nuostatų patvirtinimo [interaktyvus]. Valstybės žinios, 2012-10-31, Nr. 126-6350 [žiūrėta 2024-04-24]. Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.435935/asr>

45. PubChem [žiūrėta 2024-04-24]. Prieiga per: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>

Publikacijų sąrašas

1. Perepečajeva, Viktorija, Bendoraitienė, Joana, Kuzmickaitė, Gabija, Liudvinavičiūtė, Dovilė. Kanapių sėklų lukštų biokompozitų formavimas ekstruzijos būdu // Studentų mokslinė konferencija – Chemija ir cheminė technologija 2023: studentų mokslinės konferencijos pranešimų medžiaga 2023, Klaipėda. eISSN 2538-7332. p. 41.
2. Perepečajeva, Viktorija, Bendoraitienė, Joana, Kuzmickaitė, Gabija, Liudvinavičiūtė, Dovilė, Jakubauskas, Rokas, Pečiulytė, Laura, Rutkaitė, Ramunė. Processing of biocomposites containing hemp seed hull waste // Baltic Polymer Symposium 2023, Jelgava, Latvia.