



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Buko medienos ir etileno vinilacetato kopolimero putplasčio atliekų kompozito kūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas

Gerda Trifeldaitė-Baranauskienė
Projekto autorė

Doc. Kristina Žukienė
Vadovė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Buko medienos ir etileno vinilacetato kopolimero putplasčio atliekų kompozito kūrimas ir tyrimas

Baigiamasis magistro projektas
Gamybos inžinerija (6211EX015)

Gerda Trifeldaitė-Baranauskienė
Projekto autorė

Doc. Kristina Žukienė
Vadovė

Doc. Vaida Jonaitienė
Recenzentė

Kaunas, 2023



Kauno technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas
Gerda Trifeldaitė-Baranauskienė

Buko medienos ir etileno vinilacetato kopolimero putplasčio atliekų kompozito kūrimas ir tyrimas

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Gerda Trifeldaitė-Baranauskienė

Patvirtinta elektroniniu būdu



Kaunas technologijos universitetas
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Baigiamojo magistro projekto užduotis

Studentui (-ei) – Gerdai Trifeldaitėi-Baranauskienei

1. Projekto tema –

Buko medienos ir etileno vinilacetato kopolimero putplasčio atliekų kompozito kūrimas ir tyrimas
(Lietuviškai)

Development and Investigation of Composite from Wood and Ethylene Vinyl Acetate Copolymer
Foam Waste

(Angliškai)

2. Hipotezė

Buko medienos miltų ir etileno vinilacetato kopolimero putplasčio atliekų kompozitas gali pakeisti avalynei naudojamas avalynės apačios detalių medžiagas.

3. Projekto tikslas ir uždaviniai –

Tikslas: sukurti naujus medienos ir gumos kompozitus iš avalynės gamybos metu generuojamų etileno vinilo acetato ir buko medienos miltų atliekų.

Uždaviniai:

1. nustatyti optimalų etileno vinilo acetato kopolimero ir buko medienos atliekų santykį kompozicijoje;
2. numatyti kompozicinių plokščių formavimo parametrus;
3. įvertinti adhezinės sąveikos tarp sudėtinių kompozito dalių gerinimo galimybę;
4. iširti kompozicijos sudėties įtaką jos struktūrai, fizikinėms ir mechaninėms savybėms;
5. nustatyti gamybos atliekų panaudojimo poveikį kompozito savikainai.

4. Pradiniai projekto duomenys –

Netaikoma

5. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

Sukurtų kompozitų savybių bandymai atliekami vadovaujantis tam tikrais standartais ir metodikomis: bandinių kietumas nustatomas pagal ISO 7619-1 standarto reikalavimus, savybės tempiant – pagal LST EN ISO 527-1:2019, lenkiant – pagal LST EN ISO 178:2019, vandens absorbcijos tyrimas – pagal LST EN ISO 22649:2016 standartą.

Projekto autorė	Gerda Trifeldaitė-Baranauskiene		2022-09-26
	<i>(Vardas, Pavardė)</i>	<i>(Parašas)</i>	<i>(Data)</i>
Vadovė	Kristina Žukienė		2022-09-26
	<i>(Vardas, Pavardė)</i>	<i>(Parašas)</i>	<i>(Data)</i>
Krypties studijų programų vadovė	Regita Bendikienė		2022-09-26
	<i>(Vardas, Pavardė)</i>	<i>(Parašas)</i>	<i>(Data)</i>

Trifeldaitė-Baranauskienė, Gerda. Buko medienos ir etileno vinilacetato kopolimero putplasčio atliekų kompozito kūrimas ir tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Kristina Žukienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Gamybos inžinerija (E10), Inžinerijos mokslai (E).

Reikšminiai žodžiai: kompozitai, avalynės gamybos atliekos, medienos miltai, etileno vinilo acetato kopolimeras.

Kaunas, 2023. 52 p.

Santrauka

Didelis sukaupiamų atliekų kiekis ir neatsinaujinančių išteklių stokos grėsmė skatina ne tik pramonės, bet ir mokslo atstovus ieškoti inovatyvių, aplinkai draugiškesnių sprendimų. Šio darbo metu buvo sukurti nauji gumos-medienos kompozitai iš avalynės gamybos metu generuojamų etileno vinilo acetato ir buko medienos miltų atliekų. Sąveikai tarp kompozito komponentų padidinti buvo naudojamos selektyvaus sukepinimo lazeriu proceso metu susidariusios poliamido (PA) miltelių atliekos. Optinė ir elektroninė mikroskopija parodė, kad paruošti kompozitai pasižymi tolygia struktūra ir stipria sąveika ryšiu komponentų tarpfazinėje riboje. Nustatyta, kad gumos ir medienos atliekų kompozitas buvo termiškai stabilus aukštesnėje nei 200 °C temperatūroje. Atliktų bandymų rezultatai atskleidė, kad medienos atliekų kiekiui išaugus iki 20 %, vandens absorbcijos vertės padidėja 40 %, o ištisos trūkimo metu bei stiprio tempiant ir lenkiant – sumažėja vidutiniškai 45 %. Lyginant kompozitus su rišikliu, pastebėta, jog PA rišiklio įvedimas pagerina kompozito stiprį tempiant ir atsparumą lenkiant apie 80 %. Atlikti skaičiavimai parodė, kad komercines avalynės įdėklams formuoti skirtas EVA plokštes pakeitus šio darbo metu suformuotais kompozitais, įdėklų poros savikainą būtų galima sumažinti maždaug penktadaliu. Palyginus sukurto kompozito savybes su komercinėmis vidpadžiams ir įdėklams naudojamomis medžiagomis, nustatyta, jog jos galėtų būti pakeičiamos darbo metu pagamintomis kompozitinėmis plokštėmis.

Trifeldaitė-Baranauskienė, Gerda. Development and Investigation of Composite from Wood and Ethylene Vinyl Acetate Copolymer Foam Waste. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Kristina Žukienė; Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Production and Manufacturing Engineering (E10), Engineering Sciences (E).

Keywords: composites, footwear manufacturing waste, wood flour, ethylene vinyl acetate copolymer.

Kaunas, 2023. 52 p.

Summary

A large amount of accumulated waste and the threat of a lack of non-renewable resources encourage not only industry representatives, but also scientists to look for innovative and more eco-friendly solutions. The development of new rubber-wood composites from ethylene vinyl acetate and beech wood flour waste generated during footwear production is described in this work. Polyamide (PA) powder waste, generated during the selective laser sintering process, was used in order to increase the adhesion between the components of the composite. Optical and electron microscopy showed that developed composites have a uniform structure and a strong adhesive interaction at the interphase of the components. It was found that the rubber-wood waste composite is thermally stable when the temperature seeks above 200 °C. The results of the performed tests revealed that as the amount of wood waste increase by 20 %, the values of composite water absorption increase by 40 %, while the elongation at break and tensile/flexural strength decrease by 45 %. Comparison of the composites with and without PA binder revealed that the addition of PA binder improves the tensile and flexural strength of the composite by 80 %. The calculations showed that replacement of commercial EVA sheets with the created composites could reduce the cost of a pair of insoles by about a fifth. The comparison of the properties of the created composites and the materials, typically used for footwear insoles and inserts, showed that commercial panels could be fully replaced by the composites, which were developed during the work.

Turinys

Lentelių sąrašas	8
Paveikslų sąrašas	9
Santrumpų ir terminų sąrašas	10
Įvadas.....	12
1. Literatūros apžvalga	13
1.1. Darnus vystymasis.....	13
1.2. Lietuvos aplinkosaugos strategijos ir atliekų tvarkymo teisinis reguliavimas	15
1.3. Avalynės gamybos atliekos ir jų panaudojimo galimybės	16
1.4. Kamštiniai kompozitai.....	21
2. Eksperimentinė dalis	23
2.1. Naudojamos medžiagos.....	23
2.2. Kompozicinių plokščių gamyba	23
2.3. Struktūros tyrimo metodai.....	24
2.4. Fizikinių savybių nustatymo metodai.....	25
2.5. Mechaninių savybių tyrimas.....	25
2.6. Statistinis eksperimento duomenų apdorojimas	26
3. Rezultatai.....	28
3.1. Atliekų dalelių granulimetrinė analizė	28
3.2. Diferencinė skenuojamoji kalorimetrija	30
3.3. Termogravimetrinė analizė.....	32
3.4. Morfologinių savybių nustatymas	33
3.5. Sukurtų kompozitų tankis ir kietumas	34
3.6. Kompozitų mechaninės savybės.....	35
3.7. Kompozitų vandens absorbcijos tyrimas.....	39
3.8. Suformuotų kompozitų apdirbimo galimybė.....	41
4. Ekonominė dalis.....	42
Išvados	45
Literatūros sąrašas	46

Lentelių sąrašas

1 lentelė. Tipinė avalynę sudarančių medžiagų sudėtis	16
2 lentelė. Apžvelgtų kompozitų sudėtis ir formavimo parametrai	20
3 lentelė. Avalynės gamybai naudojamo komercinio kamščio ir jo kompozitų savybės	21
4 lentelė. Sudėtinių kamštienos kompozitų charakteristikos	22
5 lentelė. Naudotos medžiagos ir jų apibūdinimas	23
6 lentelė. Suformuotų kompozitų sudėtis.....	24
7 lentelė. Entalpijos vertės, gautos atliekant EVA atliekų DSK analizę.....	31
8 lentelė. Suformuotų kompozitų kietumas ir tankis	34
9 lentelė. Komercinių avalynės detalių gamybai skirtų plokščių lenkimo bandymo rezultatai.....	38
10 lentelė. Kompozitų vandens absorbcija.....	39
11 lentelė. Kompozitų paviršiaus drėkinimo kampai.....	40
12 lentelė. Elektros energijos poreikis ir kaina vienos kompozitinės plokštės gamybai	42
13 lentelė. Įmonėje įdėklų formavimo metu atliekamos operacijos ir naudojama įranga	43

Paveikslų sąrašas

1 pav. Darnaus vystymosi tikslai	14
2 pav. Avalynės apačios detalės.....	16
3 pav. EVA kopolimero struktūrinė formulė	17
4 pav. Kompozitų gamybos schema	24
5 pav. Trijų taškų lenkimo mazgas	26
6 pav. EVA ir medienos dalelių vaizdai	28
7 pav. EVA dalelių dydžių pasiskirstymas 1–30000 μm ribose	28
8 pav. EVA dalelių dydžių pasiskirstymas 1–700 μm ribose	29
9 pav. Medienos dalelių dydžių pasiskirstymas 1–30000 μm ribose.....	29
10 pav. Medienos dalelių dydžių pasiskirstymas 1–1000 μm intervale	29
11 pav. EVA atliekų DSK kreivės	30
12 pav. Medienos atliekų DSK kreivės.....	31
13 pav. EVA ir medienos atliekų kompozito DSK kreivės	32
14 pav. Kompozito EVA:bukas = 3:2 terminio stabilumo kreivė.....	32
15 pav. Suformuoto kompozito struktūra:	33
16 pav. Suformuotų EVA/buko atliekų kompozitų bandiniai.....	34
17 pav. Kompozitų stipris tempiant	35
18 pav. Kompozitų ištįsa trūkimo taške.....	36
19 pav. Kompozitų tamprumo modulis.....	37
20 pav. Kompozitų stipris lenkiant	37
21 pav. Kompozitų deformacija, esant maksimaliai jėgai	38
22 pav. Bandinių vandens sugerties kitimas	39
23 pav. Kompozitų paviršiaus ir vandens lašelio sąlyčio kampas	40
24 pav. Frezavimo būdu apdirbtas kompozitas.....	41

Santrumpų ir terminų sąrašas

Santrumpos:

EVA – etileno vinilo acetato kopolimeras;

CO₂ – anglies dioksidas;

PS – polistirenas;

PVC – polivinilchloridas;

UF – karbamido formaldehidas;

MDI – metilendifenildiizocianatas;

PI – poliimidas;

PF – fenolio formaldehidas;

MUF – melamino karbamido formaldehidas;

PLA – poliaktidas;

MAPP – maleino anhidrido polipropilenas;

MDI – metilendifenildiizocianatas;

MA – maleino rūgšties anhidridas;

PA – poliamidas;

SLS – selektyvus sukepinimas lazeriu;

DSK – diferencinė skenuojamoji kalorimetrija;

TGA – termogravimetrinė analizė.

Terminai:

Gamybos atliekos – žaliavų, kuro, produkcijos, pusfabrikačių, pakavimo medžiagų liekanos, įmonių oro ir vandens valymo įrenginiuose sulaikomos medžiagos, technologinių procesų šalutiniai produktai, kurie tuose gamybos procesuose nėra naudojami.

Gamtiniai išteklių – natūralūs, iš gamtos išgaunami išteklių, pavyzdžiui, saulės energija, vanduo, naudingos iškasenos, miškai, kuriuos žmonės naudoja tam tikriems procesams vykdyti.

Vartotojiškumas – visuomenės savybė, kuriai yra būdingas vis didesnis materialinių gėrybių ir paslaugų vartojimas.

Antrinės žaliavos – tai buityje ar gamybos vykdymo metu susidarančios atliekos, kurias perdirbus, galima naudoti pakartotinai.

Anglies dioksido (CO₂) pēdsakas (angl. *carbon footprint*) – dēl individo, organizācijas ar ģmonēs kasdienēs veiklos ģ atmosferā išmetamo angļies dioksido kiekis.

Įvadas

Žmonių populiacijos augimas, technologinė ir ekonominė šalių pažanga, vartotojų įpročiai lemia vis didesnį gaminamos produkcijos poreikį, neatsinaujinančių išteklių stoką, daugiau atliekų. *Eurostat* pateikiami 2020 metų duomenys atskleidžia, jog 27 Europos Sąjungos valstybės-narės sugeneravo beveik 2,2 milijardo tonų atliekų. Kaimyninėje Latvijoje pastarąjį dešimtmetį kasmet sukaupiamų atliekų kiekis svyruoja tarp 1,5–2,6 milijono tonų, kai tuo tarpu, Lietuvoje šis skaičius yra maždaug tris kartus didesnis – siekia vidutiniškai 6,4 milijono tonų [1].

Lietuvoje įkurtų gamybos įmonių generuojamos atliekos, tai ryškų neigiamą poveikį aplinkai turintis veiksnys. Trečdalį (32,7 %) visų Lietuvos atliekų 2020 - aisiais sudarė gamybos atliekos, kai ES narių bendras vidurkis tuo metu siekė vos 10,9 %. Pagal šį rodiklį Lietuva nusileidžia tik vienai ES šaliai – Šiaurės Makedonijai (35 %) [2].

Įvairūs gamtos išteklių, iš kurių yra kuriami tam tikri gaminiai, taip pat ir gamybos procesų metu generuojami šalutiniai produktai, paveikti tradicinio linijinio verslo modelio „imk-naudok-išmesk“ ir vartotojiškumo, ilgainiui tampa atliekomis. Didžioji dalis jų atsiduria sąvartynuose ar deginimo krosnyse, tokiu būdu užteršiamas dirvožemis, gruntiniai vandenys, oras [3, 4]. Dėl sąlyginai paprastesnių ir ekonomiškai palankesnių metalo bei medienos perdirbimo procesų, jie pramonės įmonių yra taikomi dažnai, tačiau reaktoplastinės polimerinės medžiagos, ypač guma, dažnai yra utilizuojamos sąvartynuose, nes šis būdas yra kur kas pigesnis nei perdirbimas. Remiantis statistika, 2020 metais beveik pusė visų Lietuvoje sukauptų atliekų buvo šalinamos sąvartynuose, o perdirbtų atliekų kiekis siekė apie 36 % [2].

Viena iš pramoninių veiklų, kuriose susidaro didelis kiekis reaktoplastikų atliekų, yra avalynės gamyba. Pastaruoju metu medienos-gumos kompozitai sulaukia vis didesnio susidomėjimo ir tampa vienu iš būdų, kaip gamybos atliekas paversti žaliavomis. Tokie tvarūs sprendimai investicijų sulaukia vis dažniau. Atliktų mokslinių tyrimų rezultatai patvirtina perdirbtų atliekų, antrinių žaliavų naudojimo naudą. Tokiu būdu yra prisidedama prie gamtinių išteklių tausojimo, atliekų, suvartojamos energijos kiekio mažinimo [5]. Taip pat svarbus aspektas yra tas, jog dažnai didelio atliekų kiekio generavimas yra susijęs ne tik su žaliavų, bet ir lėšų švaistymu [6].

Taigi, šio **projekto tikslas** – sukurti naujus medienos ir gumos kompozitus iš avalynės gamybos metu generuojamų etileno vinilo acetato ir buko medienos miltų atliekų.

Uždaviniai:

- nustatyti optimalų etileno vinilo acetato kopolimero ir buko medienos atliekų santykį kompozicijoje;
- numatyti kompozicinių plokščių formavimo parametrus;
- įvertinti adhezinės sąveikos tarp sudėtinių kompozito dalių gerinimo galimybę;
- ištirti kompozicijos sudėties įtaką jos struktūrai, fizikinėms ir mechaninėms savybėms;
- nustatyti gamybos atliekų panaudojimo poveikį kompozito savikainai.

1. Literatūros apžvalga

Šiame skyriuje apžvelgiami pagrindiniai dokumentai, į kuriuos yra orientuota ES valstybių vykdoma aplinkosaugos politika, taip pat gumos ir medienos atliekų tvarkymą reglamentuojantys Lietuvos Respublikos teisės aktai. Analizuojamos gumos ir medienos atliekų perdirbimo galimybės, užsienio autorių sukurtų gumos ir medienos atliekų, taip pat medienos-gumos kompozitų tyrimai.

1.1. Darnus vystymasis

Pastaraisiais metais neigiamą įtaką gamtai turintys žmonių vykdomi procesai sulaukia vis daugiau dėmesio. Darniojo vystymosi principai buvo pradėti formuoti dar XX a. 9 dešimtmetyje, tačiau jie išlieka aktualūs iki šiol. Dėl būtinybės mažinti CO₂ emisiją ir didėjančio visuomenės spaudimo spręsti klimato kaitos problemas, valstybės, ypač jų pramonė, yra priverstos investuoti į mokslinius tyrimus, aplinkai draugiškesnių žaliavų naudojimą, gamybos technologijų diegimą. Taigi, darnaus vystymosi principais turėtų būti grindžiami ne tik nacionalinio lygio, bet ir šiuolaikinių įmonių priimami sprendimai. Įmonėje pritaikyti darniojo vystymosi principai lemia ne tik sumažėjusį poveikį aplinkai, bet dažnai geresnį įvaizdį tarp vartotojų, tokiu būdu įgyjant konkurencinį pranašumą.

Pagrindiniai dokumentai, darantys įtaką ES valstybių vykdomai politikai ir prisidedantys prie tvarios šalių ir jų pramonės plėtros, yra:

- 1987 m. JT ataskaita „Mūsų bendra ateitis“;
- 1992 m. Rio deklaracija ir „Darbotvarkė 21“;
- 2001 m. ES darnaus vystymosi strategija;
- 2015 m. JT „Darnaus vystymosi darbotvarkė 2030“, ES žiedinės ekonomikos veiksmų planas;
- 2019 m. „Europos Žalioji kursas“, 8-oji ES aplinkosaugos veiksmų programa;
- 2020 m. Europos pramonės strategija;
- 2020 m. veiksmų planas „Atsparumo, susijusio su svarbiausiosiomis žaliavomis, didinimas. Kaip siekti didesnio saugumo ir tvarumo?“.

Tvarią, socialiai atsakingą ir į aplinkosaugą orientuotą politiką vykdančių valstybių siekis, Jungtinių Tautų organizacijos ataskaitoje „Mūsų bendra ateitis“, buvo aprašytas dar 1987-aisiais metais. Šiame dokumente pirmą kartą oficialiai paminėta darnaus vystymosi sąvoka – tai vystymasis, tenkinantis dabartinius žmonių poreikius, tačiau nesukeliantis pavojaus ateities kartoms [7].

Rio deklaracijoje, 1992 metais, paskelbti 27 darnaus šalių vystymosi principai, kurių pagrindu buvo sudaromos daugelio šalių aplinkosaugos strategijos, atliekų tvarkymo taisyklės [8]. Didelis dėmesys buvo atkreiptas į valstybių, įmonių ir individualių asmenų vartojimo įpročių kitimo skatinimą.

2001 metais Europos Sąjunga priėmė tvaraus vystymosi strategiją, kurios pagrindinis tikslas – inicijuoti aplinkosaugos ir socialiniu požiūriu atsakingą šalių ekonominę plėtrą. Didžiausias dėmesys skiriamas klimato kaitai, gamtos išteklių valdymui, skurdo, socialinės atskirties mažinimui, taikos ir žmonių gerovės užtikrinimui [9].

2015 m. buvo išleista Jungtinių Tautų sudaryta „Darnaus vystymosi darbotvarkė 2030“. Šį dokumentą sudaro 17 darnaus vystymosi tikslų (žr. 1 pav.), skatinančių šalių ir regionų tarpusavio bendradarbiavimą, esminius pokyčius pasaulyje. Jie orientuoti ne tik į atsakingą išteklių vartojimą, kovą su klimato kaita, bet ir žmonių sveikatą, paslaugų prieinamumą, lyčių lygybę. Kiekvienas iš

tikslų yra papildytas smulkesniais uždaviniais, rodikliais ir gairėmis, kuriomis besivadovaujančios valstybės, pramonės įmonės ir organizacijos siekia visapusiško tvarumo. Vienas iš darnaus vystymosi tikslų – „Atsakingas vartojimas ir gamyba“ – atkreipia dėmesį į aplinkai draugiškesnio vartojimo ir gamybos svarbą. Išteklių švaistymą ir generuojamų atliekų kiekį siūloma mažinti pirmiausia taikant prevenciją, o vėlesniuose etapuose – perdirbimą, pakartotinį panaudojimą [10, 11].



1 pav. Darnaus vystymosi tikslai [12]

Europos Sąjungos žiedinės ekonomikos veiksmų plane pateikiama dalies industrijos vis dar propaguojamam linijiniam mentaliniam verslo modeliui „gaminti – vartoti – išmesti“ priešinga strategija. Jame pateikiamos iniciatyvos, susijusios su gaminio gyvavimo ciklu, kuriomis siekiama skatinti atliekų perdirbimą, minimizuoti išteklių vartojimą. Gaminius siūloma projektuoti taip, kad jie būtų patvaresni, lengviau taisomi ir atnaujinami – dėmesys atkreipiamas į produkto būvio ciklo trukmės didinimą [13, 14].

2019 metais Europos Komisija parengė tvaraus ekonomikos augimo strategiją pavadinimu „Europos Žalioji kursas“. Jo tikslas – iki 2050 m. Europai tapti pirmuoju žemynu, neturinčiu poveikio klimatui, užtikrinant, jog šiltnamio efektą sukeliančios dujos nebus generuojamos. Taip pat svarbus aspektas yra tas, kad bendrijos valstybių ekonomikos augimas neturėtų būti susijęs su išteklių naudojimu [15, 16, 17].

Tais pačiais metais Europos Taryba pristatė 8 - ają aplinkosaugos veiksmų programą, kurios siekis – paspartinti tvarią valstybių raidą. Pagrindiniai programoje minimi aspektai, tai nulinės taršos tikslas, biologinės įvairovės apsauga, prisitaikymas prie klimato kaitos, gamybos ir vartojimo sukuriamo poveikio klimatui mažinimas [18, 19].

2020 metais Europos Komisija išleido naująją Europos pramonės strategiją. Dokumente atkreipiamas dėmesys į energijos imlumo, anglies dioksido pėdsako mažinimą, švaresnės energijos, žaliavų ir aplinkai draugiškesnių gamybos technologijų naudojimą [20].

Tais pačiais metais Europos Komisijos pristatytame veiksmų plane „Atsparumo, susijusio su svarbiausiosiomis žaliavomis, didinimas. Kaip siekti didesnio saugumo ir tvarumo?“, buvo numatyta 10 tikslų, kuriais būtų mažinamas ne tik ES valstybių generuojamas poveikis aplinkai, bet ir priklausomybė nuo žaliavų tiekimo grandinių. Dokumente teigiama, jog švaresnių žaliavų naudojimas ir jų pakartotinis naudojimas, perdirbimas yra itin svarbi perėjimo prie klimatui neutralių

poveikį turinčios ekonomikos dalis. Vienais iš būdų, padėsiančių lengviau patenkinti vis didėjančią Europos Sąjungos šalių žaliavų paklausą, laikomasi produktų naudojimo trukmės ilginimas, antrinių žaliavų naudojimas, taip pat ir svarbiausių žaliavų keitimas alternatyviomis, pasižyminčiomis panašiomis savybėmis [21].

Šiems veikslių plane išdėstytiems tikslams įgyvendinti buvo įkurtas Europos žaliavų aljansas (angl. *European Raw Materials Alliance*), kurį sudaro pramonės, mokslo, valstybių narių ir visuomenės atstovai. Pagrindiniai šio aljanso tikslai yra didinti ES ekonominį atsparumą diversifikuojant tiekimo grandines, taip pat sumažinti poveikį aplinkai skatinant inovacijas, diegiant žiedinės ekonomikos principus. Aljansas siekia užtikrinti prieigą prie tvarių žaliavų, skatinti pramonę imtis perdirbimo, naudoti antrines medžiagas [22, 23].

1.2. Lietuvos aplinkosaugos strategijos ir atliekų tvarkymo teisinis reguliavimas

Lietuva, įstojusi į Europos Sąjungą, privalėjo priimti įvairius narystės įsipareigojimus, tokiu būdu ne tik aplinkosaugos, bet ir kitų sričių teisinį reguliavimą turėjo susieti su ES keliamais reikalavimais.

Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas, paremtas 75/442/EEB ir 91/156/EEB ES direktyvomis, yra vienas iš pagrindinių teisės aktų, apimančių generuojamų atliekų tvarkymo teisinį reguliavimą. Dokumente minima atliekų prevencijos ir tvarkymo prioritetų hierarchija, pagal kurią prioritetine tvarka išdėstyti šie, dar iki šalinimo esantys, su atliekų tvarkymu susiję etapai – atliekų susidarymo prevencija, pakartotinis gaminių ir perdirbtų medžiagų panaudojimas, kitoks atliekų naudojimas, pavyzdžiui, energijai išgauti. Įstatyme teigiama, jog įmonės, kurių vykdoma gamybos ar komercinė veikla generuoja atliekas, privalo imtis prevencijos priemonių šių atliekų kiekiui minimizuoti [24].

2003 metais LR vyriausybės nutarimu priimta nacionalinė darnaus vystymosi strategija, kurioje, atsižvelgus į šalies savitumą, buvo suformuluoti Lietuvai skirti darnaus vystymosi tikslai ir principai [25]. Lietuvai, kaip ir kitoms ES valstybėms, pagrindinių pramonės šakų – gamybos, transporto, energetikos – poveikio aplinkai mažinimas yra vienas iš prioritetų. Į šią sritį patenka ir avalynės gamyba, kurios metu yra generuojamos medienos ir gumos atliekos. Tokių atliekų surinkimą, tvarkymą, perdirbimą reglamentuoja šie pagrindiniai LR teisės aktai:

- Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo taisyklės, kuriose pateikiami reikalavimai, apimantys atliekų tvarkymą, taip pat atliekų apskaitos ir tvarkymo ypatumus. Medžio žievė, kamštis, drožlės, pjuvenos ir kitos medienos atliekos šiame dokumente priskiriamos medžio apdirbimo bei plokščių ir baldų gamybos atliekų grupei (atliekų kodas – 03 01). O gumos atliekos – plastmasių, sintetinės gumos ir dirbtinių pluoštų gamybos, maišymo, tiekimo ir naudojimo atliekų grupei (atliekų kodas – 07 02) [26].
- Valstybinė atliekų prevencijos programa, apibrėžianti atliekų prevencijos prioritetus, uždavinius, tikslus ir priemones jiems įgyvendinti. Vienas iš šios programos tikslų yra skatinti aplinką tausojantį vartojimą, racionalų išteklių ir žaliavų naudojimą [27].
- 2021–2027 metų laikotarpiui sudarytas valstybinis atliekų tvarkymo planas, kuriame numatyti strateginiai atliekų prevencijos prioritetai, tikslai bei priemonės, kryptys nacionalinių ir ES investicijų panaudojimui [28].

1.3. Avalynės gamybos atliekos ir jų panaudojimo galimybės

Didėjanti ne tik madingos, patrauklios, bet ir patogios bei kokybiškos avalynės paklausa skatina avalynės pramonę nuolat tobulėti. 2021 metų duomenimis, pasaulinė avalynės rinkos vertė siekė apie 365 mlrd. JAV dolerių [29]. Vienai avalynės porai pagaminti vidutiniškai reikia maždaug 40 skirtingų medžiagų [30]. Tipinę avalynę sudarančių medžiagų sudėtis pateikta 1 lentelėje.

1 lentelė. Tipinę avalynę sudarančių medžiagų sudėtis [30]

Medžiagos	Medžiagos dalis avalynėje, %
Oda	25
Poliuretanas	17
Termoplastinė guma	16
EVA kopolimeras	14
Polivinilchloridas	8
Guma	7
Kitos medžiagos (metalinės detalės, klijai ir kita)	7
Tekstilė	6

Avalynės gamyba apima itin platą asortimentą – nuo masiškai gaminamos iki specialiai asmeniui pritaikytos, profesionaliems sportininkams skirtos ar ortopedinės avalynės. Įvairūs vidpadžiai, įklotės, įdėklai suteikia avalynei komfortabilumo – sugeria susidarančią drėgmę, apsaugo nuo šalčio, koreguoja pėdos padėtį, papildomai amortizuoja. Ortopediniai vidpadžiai ir įdėklai užtikrina optimalią pėdos lanko atramą, neutralią jos padėtį, siekiant išvengti pėdų deformacijos, tokiu būdu laikantis žaizdų ir traumų prevencijos priemonių [31].

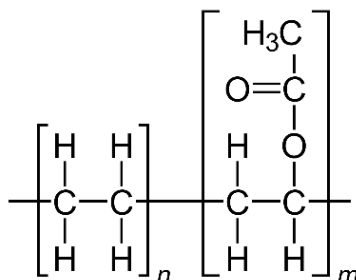
Avalynės apačios detalės būna įvairių tipų ir storių – nuo plonos įklotės iki sudėtingų, iš kelių sluoksnių sudarytų pėdos įdėklų (žr. 2 pav.). Taip pat yra itin svarbu, jog tiesiogiai ar netiesiogiai su pėda kontaktuojančios vidinės avalynės detalės būtų tinkamai parinktos, pasižymėtų reikiamu kietumu ir lankstumu.



2 pav. Avalynės apačios detalės: a) individualiai pritaikytas ortopedinis avalynės įdėklas [31],
b) - komercinės avalynės įklotės [32]

Etileno vinilo acetato kopolimeras (EVA) yra vienas iš tipinių avalynės apačios detales sudarančių medžiagų. Tai šakotą struktūrą turintis polimeras, gaunamas iš dviejų skirtingų monomerų – etileno

ir vinilo acetato (žr. 3 pav.). Vinilo acetato kiekis EVA kopolimere, paprastai siekiantis 40–60 %, lemia medžiagos lydymosi temperatūrą, standumą [33]. EVA kopolimeras yra dažnai naudojamas įvairioms avalynės apačios detalėms formuoti dėl puikių amortizacinių savybių, lengvumo, lankstumo, atsparumo UV spinduliuotei. Statistika atskleidžia, kad įvairių avalynės detalių pjovimo, frezavimo metu kasmet yra sugeneruojama 190 400 tonų EVA atliekų. Kadangi šios atliekos pasižymi reaktoplastams būdingomis savybėmis, paprastai jos yra šalinamos sąvartynuose [34, 35]. Dėl šios priežasties reikėtų apžvelgti ir įvertinti alternatyvias EVA atliekų perdirbimo technologijas.



3 pav. EVA kopolimero struktūrinė formulė [36]

Įmonėms, dirbančioms su polimerinėmis medžiagomis, perdirbimas ekonominiu požiūriu dažniausiai yra mažiau naudingas, atsižvelgiant į tai, jog šių atliekų šalinimas sąvartynuose yra kur kas pigesnis. Nors termoplastikus perdirbti ir yra paprasčiau, tačiau dauguma reaktoplastikų yra plačiai naudojami dėl puikių savybių, tokių kaip standumas, cheminis atsparumas, gaminio matmenų stabilumas [37]. Kai kuriuos reaktoplastinius polimerus, tokius kaip poliuretanus, galima gana nesudėtingai skaidyti į pradinis monomerus, bet įprastiniai reaktoplastiniai polimerai, pavyzdžiui, poliesteris ar epoksidinės dervos, negali būti depolimerizuojami iki jų pirminių sudedamųjų dalių, todėl didelė jų dalis ir yra šalinama sąvartynuose [38]. Yra žinomos kelios galimos reaktoplastinių polimerų perdirbimo technologijos, apimančios terminius bei mechaninius procesus. Terminis apdorojimas, tai atliekų deginimas, kurio metu gaunama energija paverčiama į šiluminę ar elektros energiją [39]. Kitas būdas – mechaninis perdirbimas. Šis procesas paprastai apima kelis etapus – rūšiavimą, plovimą ir smulkinimą. Veiksmai gali vykti kitokia tvarka, pasikartoti ar būti visai nevykdomi, atsižvelgiant į perdirbamų atliekų kilmę bei sudėtį [40]. Po šio perdirbimo, susmulkintos medžiagos, tame tarpe ir EVA kopolimeras, gali būti naudojamos kaip užpildas polimerinėse ar kitų medžiagų kompozicijose.

EVA atliekos gali būti naudojamos kaip užpildas gaminant EVA putplastį. Tokio pobūdžio „Nike“ kompanijai priklausantis patentuotas metodas apima mišinio, kurio sudėtyje yra grynos EVA dervos ir EVA putplasčio atliekų, gamybos seką [41]. Brazilijos mokslininkų atlikto tyrimo metu itin mažo dydžio EVA dalelių atliekų įtraukimas į EVA putplasčio kompoziciją buvo atliktas naudojant mechaninį maišymą, plokštės suformuotos naudojant karšto presavimo technologiją [42]. Atliktų bandymų rezultatai atskleidė, jog EVA atliekų įtraukimas turėjo įtakos kompozito mechaninėms savybėms – atsparumas plyšimui padidėjo vidutiniškai 4 %, kietumas – apie 5 %. Pastebėta, jog didinant EVA atliekų kiekį kompozicijoje, mažėja jos elastingumas, didėja liekamosios deformacijos vertės.

EVA kopolimero atliekos taip pat įterpiamos gaminant lengvąjį betoną, kurį galima plačiai pritaikyti statybų sferoje ne tik naujų pastatų konstrukcijoms, bet ir jų renovacijai. Tyrimo metu buvo gamintas betonas su trijų rūšių – EVA, polistireno (PS), polivinilchlorido (PVC) – atliekomis. Atlikto tyrimo metu gauti rezultatai parodė, kad kompozito su EVA ir PS atliekų užpildu atveju, didėjant EVA atliekų kiekiui, betono stiprumo ir terminių savybių vertės taip pat didėja [43].

Kinijos mokslininkų atlikto tyrimo metu buvo ištirta mažo tankio polietileno (LDPE) ir EVA dalelėmis modifikuoto asfalto sukūrimo galimybė. Atlikti bandymai atskleidė, jog šių atliekų naudojimas padidino asfalto šlyties modulį, elastingumą, atsparumą deformacijai. Šių savybių pagerėjimas lemtų didesnę asfalto dangos atsparumą provėžoms. Bandinių analizė taip pat parodė, kad LDPE ir EVA atliekų įterpimas padidina asfalto dangos atsparumą aukštomis temperatūroms [44].

Statistika atskleidžia, kad Europos Sąjungoje per metus sukaupiama maždaug 50 mln. kub. m. medienos atliekų. Beveik pusė visų šių atliekų yra utilizuojamos deginant, tokiu būdu išgaunant šiluminę arba elektros energiją. Dėl aukšto medienos kalingumo ir gana nedidelių kaštų šis perdirbimo būdas įmonėms yra vienas palankiausių, tačiau, svarbu paminėti, kad Europos Sąjungos žiedinės ekonomikos veiksmų planas numato kaip galima ilgesnį žaliavų išlaikymą cikle. Taip pat reikėtų atkreipti dėmesį į tai, jog mediena neretai yra apdorojama įvairiomis konservuojančiomis medžiagomis, kurios degdamos išskiria organinius ir neorganinius teršalus. Įvertinus medienos atliekų kokybę, kai kurios iš jų gali virsti antrinėmis žaliavomis, o būti deginamos tik tada, kai jos nebeatitinka ir žemiausiųjų žaliavų kokybės standartų [45, 46].

Mokslinio darbo [47] metu buvo tirta galimybė pramonines atliekas, gaunamas medienos pjovimo ir frezavimo metu, panaudoti įvairaus tankio drožlių plokščių gamyboje. Palyginus dviejų skirtingų tipų plokščių – medienos atliekų-biodervos ir grynos medienos dalelių-sintetinių polimerų, gyvavimo ciklus, buvo pastebėta, kad naudojant medienos atliekas ir biodervą poveikis aplinkai sumažėja apytiksliai 95 %. Kaip rišikliai buvo naudojamos poliuretano (PU), karbamido formaldehido (UF) dervos. Plokštės buvo formuojamos karšto presavimo būdu – slėgis – 3,5 MPa, trukmė – 10 min, temperatūra – atitinkamai 100 °C, PU atveju, ir 120 °C, UF atveju. Plokščių kietinimas kambario temperatūroje truko 72 val.

Itin smulkios medienos atliekos, vadinamos miltais, dažniausiai atlieka užpildų vaidmenį įvairiose polimerinėse kompozicijose ir medienos plokščių gamyboje. Vieno mokslinio darbo metu buvo ištirta galimybė medienos miltus panaudoti kaip užpildą karbamido formaldehido (UF) klijuoms, skirtiems medienai [48].

Medienos atliekos taip pat panaudojamos gaminant termoplastikų ir medienos miltų kompozitus. Nustatyta, jog polipropileno (PP)/medienos kompozitas, kurio sudėtyje yra 10 % medienos miltų, pasižymi didesniu šiluminiu stabilumu, palyginus su kompozitais, kuriuose šių dalelių yra 20 – 40 %. Taip pat pastebėta, kad didėjant medienos miltų kiekiui kompozite, jo kietėjimo laikas taip pat ilgėja. Siekiant pagerinti kompozito atsparumą grybeliui, į medienos atliekas buvo įmaišytas cinko boratas. Atliekos 10 min. buvo maišomos ir kaitinamos (180 °C), o vėliau perkeliama į formą ir presuojamos 2 MPa slėgiu (trukmė – 45 s). Kompozito sudedamosioms dalims surišti buvo naudojama metilendifenildiizocianato (MDI) derva [49].

Atlikti didelio tankio polietileno (HDPE) ir medienos miltų kompozito bandymai parodė, kad jų mechaninių savybių (lenkiant, tempiant ir kietumo) vertės gerėja didėjant medienos miltų kiekiui. Tyrimo metu atkreiptas dėmesys į tai, jog jungiamosios medžiagos – rišiklio – įvedimas, ženkliai pagerina sukurto HDPE ir medienos miltų kompozito kokybę ir savybių tolygumą. Šiuo atveju, kaip rišiklis buvo naudotas maleino anhidridas (MA). Prieš formuojant kompozitus, atliekos buvo džiovinamos krosnelėje 105 °C temperatūroje, kol likęs drėgmės kiekis nebus didesnis už 2 %. Tuomet reikiamas HDPE kiekis ir rišiklis buvo sumaišomi, vėliau įmaišomi medienos miltai.

Kompozito sudėtinės dalys buvo 300 s kaitinamos, esant 180 °C temperatūrai, vėliau presuojamos 140 °C temperatūroje ir paliekamos atvėsti iki 25 °C [50].

Kito tyrimo metu buvo kuriami medienos miltų ir polilaktinės rūgšties (PLA) biopolimero putplasčio kompozitai [51]. Atliktų bandymų rezultatai atskleidė, jog naudojant šias medžiagas, galima gauti mažo tankio, puikiomis termoizoliacinėmis savybėmis ir dideliu stiprumo bei masės santykiu pasižymintį kompoziciją.

Kinijos mokslininkų pristatytame tyrime aprašomi medienos miltų ir PP atliekų kompozitai. Iš pradžių atliekos buvo džiovinamos 103 °C temperatūroje, kol likęs drėgmės kiekis nebus didesnis už 2 %. Tuomet atitinkamas atliekų ir maleino anhidrido polipropileno rišiklio (MAPP) kiekis buvo maišomi 190 °C temperatūroje, 480 s. Kompozitinės plokštės formuojamos karšto presavimo būdu, kai temperatūra lygi 190 °C, o trukmė siekė 180 s. Sukurti kompozitai pasižymėjo puikiu terminiu stabilumu, tačiau buvo pastebėta, kad didėjant medienos miltų kiekiui, adhezija tarp kompozicijos sudedamųjų medžiagų suprastėja, todėl rišiklį naudoti yra būtina [52].

Taip pat yra atliktas tyrimas, kurio metu buvo kuriami trijų sluoksnių kompozitai, iš polietileno/PP ir medienos pjovimo metu susidariusių atliekų. Siekiant ištirti sluoksnio storio įtaką kompozicijos savybėms, buvo pagaminti vienodų ir skirtingų sluoksnių storių kompozitai. Iš pradžių, karšto presavimo būdu buvo formuojami vienasluoksniai 2, 3 ir 4 cm storio kompozitai, kuriuose medienos atliekos sudarė nuo 0 iki 40 % bendros kompozicijos masės. Vėliau buvo kuriami sluoksniuoti kompozitai – trys pasirinktos vienasluoksnės kompozitinės plokštės buvo 240 s kaitinamos 190 °C temperatūroje, tuomet sudedamos viena ant kitos ir toje pačioje temperatūroje presuojamos 480 s, esant 0,5 MPa apkrovai. Vienodo sluoksnių storio kompozitų atveju, didėjant medienos kiekiui kompozicijoje, atsparumas smūgiams mažėjo, tačiau didėjo kompozitų atsparumas deformacijoms. Atlikus lenkimo bandymus pastebėta, kad kompozicijos lankstumą lemia išorinius jos sluoksnius sudarančių medžiagų savybės [53].

Siekiant sumažinti generuojamų atliekų kiekį yra kuriami ir medienos – regeneruotos padangų gumos (angl. *rubber crumb*) kompozitai. Mokslinio tyrimo metu sukurti medienos miltų ir padangų gumos atliekų kompozitai pasižymi puikiomis izoliacinėmis savybėmis ir gali būti pritaikomi ten, kur medžiagos tempiamasis stipris nėra reikšmingas. Atlikto vandens sugerties tyrimo rezultatai atskleidžia, kad augant medienos miltų kiekiui kompozite, drėgmės absorbcija didėja. Ištirta, jog kompozicija, kurią sudarančių padangų gumos ir medienos atliekų santykis yra 90/10, pasižymi optimaliomis terminėmis, mechaninėmis ir fizinėmis savybėmis. Šie kompozitai buvo formuojami karšto presavimo būdu 15 – 20 minučių, 160 °C temperatūroje [54].

Apžvelgto tyrimo metu medienos – padangų gumos atliekų kompozito sudedamosios dalys iš pradžių 30 s presuojamos kambario temperatūroje, esant 1,5 MPa slėgiui. Vėliau, norint pasiekti reikiamą plokštės storį (12 mm) ir tankį (100 kg/m^3), naudojamas papildomas 300 s trukmės presavimas, esant 4 MPa slėgiui ir 170 °C temperatūrai. Nustatyta, kad tokiu būdu pagamintas kompozitas pasižymi 25 % geresnėmis garso izoliacijos savybėmis nei komercinės medienos drožlių plokštės. Be to, pastebėta, kad šios savybės vertės kyla didėjant padangų gumos trupinių ir MDI rišiklio kiekiui [55].

Orientuotų skiedrų – OSB – plokštė, užpildyta padangų gumos atliekomis, pasižymi didesniu atsparumu drėgmei. Tyrimai parodė, kad plokščių, kurias sudarančių medienos ir gumos dalelių santykis yra 90/10 ir 70/30, storio dėl drėgmės vertės skiriasi beveik 20 %. Taip pat buvo pastebėta,

jog PI rišikliu sujungtų plokščių atsparumas drėgmei yra geresnis nei naudojant PF – kai medienos ir gumos trupinių santykis yra 70/30, storio pokytis dėl drėgmės atitinkamai lygus 42,1 % ir 32,2 %. Šių plokščių formavimas prasideda nuo 30 s presavimo, esant 0,5 MPa slėgiu, o po to papildomai 600 s, esant 180 °C temperatūrai ir 1,5 MPa slėgiui. Šiuo atveju, komponentų sujungimui naudojamos PI ir PF dervos, kurios yra įvedamos į kompoziciją purškiant [56].

2 lentelėje pateikiama apibendrinta apžvelgtų medienos-gumos (plastiko) kompozitų sudėties ir formavimo parametrų suvestinė.

2 lentelė. Apžvelgtų kompozitų sudėtis ir formavimo parametrai [47–56]

Gumos (plastiko)/ medienos santykis	Gumos (plastiko) dalelės	Rišiklis	Papildomas kaitinimas prieš formavimą	Papildomas presavimas prieš formavimą	Kompozito formavimas		
					Temperatūra, °C	Trukmė, s	Slėgis, MPa
0/100	-	PU	-	0,013 MPa	100	600	3,5
0/100	-	UF	-	0,013 MPa	120	600	3,5
25/31 14/42	PP	MDI	180 °C, 600 s	-	180	45	2,0
58/40	HDPE	PA, MA	180 °C, 300 s	-	140	-	-
48/50							
38/60							
40/60 60/40	PP	MAPP	190 °C, 480 s	-	190	180	-
100/0 90/10 80/20 70/30 60/40	PE/PP	MAPP	190 °C, 240 s	-	190	480	0,5
90/10							
80/20							
70/30							
60/40							
90/10 80/20 70/30 60/40	Padangų guma	-	-	-	160	900–1200	-
60/40 40/60	Padangų guma	MDI, UF	-	1,5 MPa, 30 s	170	300	4,0
10/90 20/80 30/70	Padangų guma	PI, PF	-	0,5 MPa, 30 s	180	600	1,5

Atlikta mokslinių tyrimų analizė atskleidė, jog paprastai medienos ir gumos/plastiko kompozitų formavimui pasirenkama karšto presavimo technologija, o kaip rišikliai dažniausiai naudojami karbamido formaldehidas (UF), maleino anhidrido polipropilenas (MAPP), metilendifenildiizocianatas (MDI).

Iš pateiktų duomenų matyti, jog kompozicinių plokščių formavimo trukmė svyruoja nuo 45 s iki 1200 s, slėgis –0,5 – 4 MPa riboje. Trukmės ir slėgio verčių intervalas yra gana platus, nes šiems parametrams įtakos turi daug aspektų, pavyzdžiui, plokštės storis ar naudojamas rišiklis, tačiau, galima pastebėti, kad siekiant išvengti medienos atliekų destrukcijos, temperatūra visais atvejais neviršija 190 °C.

1.4. Kamštiniai kompozitai

Kamštiena yra natūrali medžiaga – tai išorinis kamštinio ąžuolo (*Quercus Suber*) žievės sluoksnis. Unikali, korį primenanti struktūra dėka, ji pasižymi savybėmis, tokiomis kaip lengvumas, puiki energijos absorbcija, atsparumas gniuždymui ir apie 80% siekiantis medžiagos matmenų atsistatymas po jo. Toks šios, vidutiniškai per 9–12 metų atsinaujinančios, žaliavos savybių derinys yra itin vertinamas tiek kasdienės, tiek ortopedinės avalynės gamintojų, siekiant ne tik užtikrinti komfortą, bet ir malšinti pėdų skausmą, koreguoti jų padėtį [57, 58].

Apžvelgto komercinio kamščio, naudojamo avalynės gamyboje, charakteristikos pateiktos 3 lentelėje. Gamintojas „Amorim Cork“ siūlo tiek ortopediniams, tiek ir kasdieniniams avalynės įdėklams skirtas medžiagas [59]. Iš pateiktų duomenų matyti, kad komercinio kamščio tankis svyruoja tarp 0,17 g/cm³ ir 0,40 g/cm³. Galima pastebėti, jog kamštienos ir EVA kompozitų tankis yra šiek tiek mažesnis nei kamščio ir gumos, tačiau didžiausia kietumo pagal Šorą A vertė pasižymi iš kamštienos ir EVA sudarytas kompozitas „Future“. Komercinių kamštienos kompozitų stipris tempiant siekia 0,2–1,5 MPa. Pateikti duomenys atskleidžia, kad dažniausiai didėjant kamštienos plokštės tankiui, auga ir stiprio tempiant vertės. Gniuždymui atspariausias iš kamštienos ir EVA sudarytas kompozitas „Evolution“, kurio stiprio tempiant vertė, lyginant su kitomis, yra mažiausia.

3 lentelė. Avalynės gamybai naudojamo komercinio kamščio ir jo kompozitų savybės [59]

Plokštės pavadinimas	Sudėtis	Tankis, g/cm ³	Kietumas, pagal Šorą A	Stipris tempiant, MPa
C004	Kamštiena	0,23–0,26	n.d.	≥0,5
C005	Kamštiena	0,17–0,24	n.d.	≥0,4
C016	Kamštiena ir guma	0,45–0,56	40–50	≥0,6
Evolution	Kamštiena ir EVA	0,25–0,32	25–50	≥0,2
H002	Kamštiena	0,30–0,40	n.d.	≥1,5
H015	Kamštiena	≥0,22	n.d.	≥0,6
Future	Kamštiena ir EVA	0,32–0,43	55–75	≥0,5

Yra mokslinių tyrimų, kurių metu kuriami kamštienos kompozitai. Siekiant padidinti jų atsparumą tempimui ir sumažinti vandens įgertį, pasiūlyta pridėti papildomų medžiagų – užpildų. Vieno darbo metu buvo tirta bambuko užpildo kiekio kamštienos kompozite įtaka jo stipriui tempiant ir vandens absorbcijai [60]. Tyrimo metu buvo sukurtos kompozicinės plokštės, kuriose kamščio ir bambuko santykis buvo lygus atitinkamai 100/0, 95/5, 90/10, 85/15 ir 80/20. Bandymų rezultatai atskleidė, jog į kamštienos kompoziciją įvedus 10 % bambuko, jos stipris tempiant išauga daugiau nei 40 %, tačiau vandens įgertis padidėja nuo 1 % iki 1,5 %.

Kito tyrimo metu buvo tirtos kamštienos-ryžių lukštų kompozicijos, kuriose šių medžiagų santykis buvo lygus 75/25, 50/50, 25/75 ir 0/100. Pagamintos tokios pačios sudėties, bet skirtingo tankio plokštės. Atlikus bandymus paaiškėjo, jog kompozito tankį padidinus beveik du kartus (nuo 0,2 g/cm³ iki 0,38 g/cm³), plokštės savybė sugerti vandenį suprastėja 74 % [61].

4 lentelėje pateiktos apžvelgtų mokslinių tyrimų metu suformuotų kamščio kompozitų savybės.

4 lentelė. Sudėtinių kamštiesos kompozitų charakteristikos [60, 61]

Kamščio/ užpildo santykis	Kompozito pavadinimas	Tankis, g/cm³	Stipris tempiant, MPa	Vandens absorbcija, %
100/0	Kamščio kompozitas	0,50	3,50	1,0
90/10	Kamščio/bambuko kompozitas	0,50	4,93	1,5
75/25	Ryžių lukštų/kamščio kompozitas	0,20	0,11	2,7
75/25		0,29	0,16	1,2
50/50		0,29	0,09	2,6
50/50		0,40	0,15	2,9

Apžvelgta ES ir Lietuvoje generuojamų atliekų statistika atskleidė vis dar opią su atliekų tvarkymu susijusią ne tik aplinkosauginiu, bet ir socialiniu, ekonominiu požiūriu aktualią problemą. Atlikta teisinių reglamentų bei mokslinių tyrimų apžvalga patvirtino atliekų perdirbimo, antrinio panaudojimo poreikį ir naudą. Lietuvos pramonės, į kurią patenka ir avalynės gamintojai, poveikio aplinkai mažinimas yra viena iš valstybės prioritetinių sričių. Atliekų susidarymo prevencija, pakartotinis gaminių ir perdirbtų medžiagų panaudojimas, tai atliekų prevencijos ir tvarkymo prioritetų hierarchijoje numatyti būdai, kuriuos taikydami pramonės atstovai turėtų mažinti vykdomos veiklos generuojamą anglies dioksido pėdsaką.

2. Eksperimentinė dalis

Šiame skyriuje aprašomos kompozitų kūrimui naudotos medžiagos, parinkti kompozicinių plokščių formavimo parametrai. Taip pat aprašomi standartai ir metodikos, kuriomis buvo vadovaujama vykdant tyrimo metu sukurtų kompozitų savybių bandymus.

2.1. Naudojamos medžiagos

Tyrimams vykdyti reikiamos medžiagos – EVA ir buko medienos atliekos – buvo gautos iš avalynės gamybos įmonės. Šios atliekos generuojamos įvairių ruošinių formavimo metu, iš kurių pagaminami kurpaliai, avalynės apačios detalės. Formavimas vykdomas frezavimo staklėmis, piramidine freza, kurios apsisukimo greitis siekia 30000 aps/min, frezos pjovimo linijinis greitis – 10 mm/s. Kompozitams formuoti naudotas skirtingo tankio ir kietumo etileno vinilacetato putplasčio (EVA) atliekų mišinys ir buko medienos atliekos (5 lentelė). Šių atliekų sujungimui naudojami selektyvaus sukepinimo lazeriu (SLS) gamybos metu susidariusias poliamido 12 - PA 2200 miltelių atliekas.

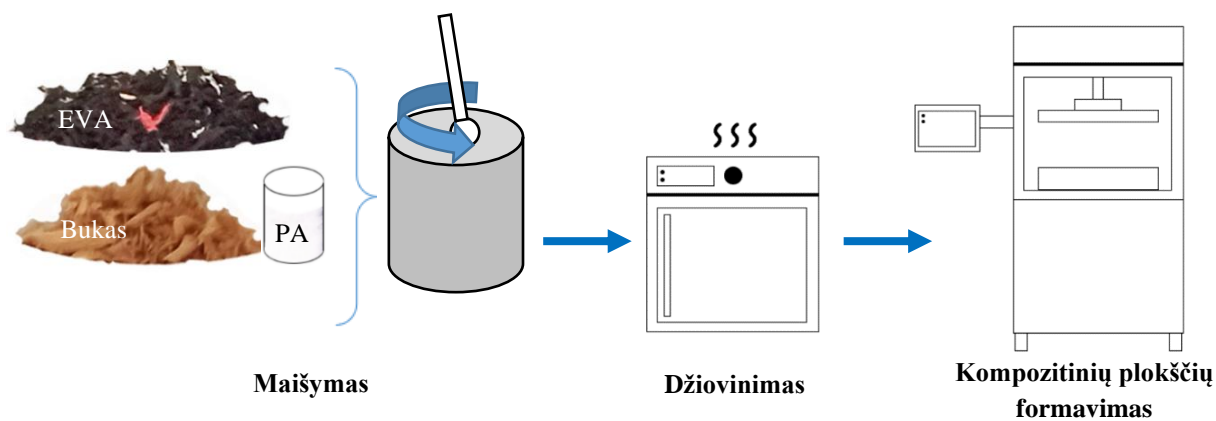
5 lentelė. Darbo metu naudotos medžiagos [62-64]

Medžiaga	Savybės		Panaudojimas
	Kietumas (Šoras A)	Tankis	
EVA 35 OL	35	0,179 g/cm ³	Avalynės, sportinio inventoriaus gamyboje
EVA 45 OL	45	0,219 g/cm ³	
EVA 55 OL	55	0,219 g/cm ³	
EVA 35 MP	35	0,142 g/cm ³	
EVA 45 MP	45	0,216 g/cm ³	
EVA 55 MP	55	0,255 g/cm ³	
Bukas	Tankis – 0,710 g/cm ³ , tamprumo modulis – 14,31 GPa, santrauka džiuštant: radialine kryptimi – 5,7 %, tangentine – 11,6 %.		Avalynės kurpalių gamyboje
Poliamidas 12 - PA 2200	Lydimosi temperatūra – 176 °C, modulis – 1650 MPa, tankis – 0,93 g/cm ³		Įvairių produktų gamyba, naudojant selektyvaus sukepinimo lazeriu (SLS) būdą

Darbo metu sukurtų kompozitų savybės buvo lyginamos su komerciniu avalynės vidpadžiams naudojamu „Texon“ ir „Bartoli“ kartonu, „Biagoli“ neaustinės medžiagos ir kamščio bandiniais.

2.2. Kompozicinių plokščių gamyba

EVA ir buko medienos atliekų kompozitinių plokščių gamybos schema pavaizduota 4 pav. Kompozitų formavimą apėmė keli etapai – atliekų svėrimas, maišymas, džiovinimas/kaitinimas ir plokštės formavimas. Kompozitai pagaminti naudojant karšto presavimo metodą, 280 × 140 mm dydžio rėmelį. Parinkti optimalūs kompozicinės plokštės formavimo parametrai – spaudimo jėga – 134 kN, temperatūra – 165 °C, trukmė – 7 min..



4 pav. Kompozitų gamybos schema

Darbo metu pagamintų septynių $\approx 3,0 \pm 0,2$ mm storio EVA/buko atliekų kompozitinių plokščių sudėtis pateikiama 6 lentelėje.

6 lentelė. Suformuotų kompozitų sudėtis

Kompozito Nr.	EVA:buko medienos masės santykis	PA rišiklio kiekis, %
1	100:0	-
2	100:0	17
3	3:2	-
4	3:2	17
5	2:3	-
6	2:3	17
7	0:100	17

Siekiant ištirti skirtingo kompozite esančio EVA/buko kiekio įtaką jo savybėms, buvo suformuotos plokštės, kuriose šių atliekų santykis lygus atitinkamai 3:2, 2:3, 100:0 ir 0:100. Kiekvienam kompozitui suformuoti naudojamas atliekų kiekis buvo lygus 100 g. Sąveikai tarp kompozito matricos ir užpildo padidinti naudojamas PA rišiklis. Naudojamas jo kiekis buvo nustatytas eksperimentiškai ankstesnių tyrimų metu .

2.3. Struktūros tyrimo metodai

EVA ir buko medienos atliekų dalelių dydis ir pasiskirstymas tirtas optiniu mikroskopu „Nikon Eclipse E200“ su skaitmenine kamera „Lumenera Infinity 1“ ir šviesos šaltiniu „Schott KL 1500 LCD“.

Diferencinei skenuojamajai kalorimetrijai atlikti buvo naudojamas kalorimetras DSC 8500 (Perkin Elmer). Bandymas buvo atliktas azoto atmosferoje (20 ml/min). Tyrimo temperatūrinio intervalo ribos siekė nuo -50 iki 300 °C, temperatūros didinimo greitis – 10 °C/min. Bandiniai buvo kaitinami nuo -0 °C iki 300 °C, tuomet vėsunami nuo 300 °C iki -50 °C ir vėl kaitinami iki 300 °C.

Termogravimetrinei analizei (TGA), kurios metu nustatytas masės pokytis, terminis stabilumas ir dehidratacija, naudotas termogravimetras TGA 4000 (Perkin Elmer). Bandymas buvo atliekamas azoto atmosferoje (20 ml/min), 40–800 °C temperatūros ribose, temperatūros didinimo greitis – 10 °C/min.

Morfologinis kompozito paviršiaus vaizdas buvo gautas naudojant skenuojantį elektroninį mikroskopą (SEM) su aukšta 1,2 nm erdvine skiriamąja geba (FEI, modelis – QUANTA 200 FEG, Vokietija).

2.4. Fizikinių savybių nustatymo metodai

Tankio vertinimui, iš pagamintų plokščių buvo išpjauti 50×50 mm dydžio bandiniai, kurie buvo sveriami „Kern EW 4200-2NM“ svarstyklėmis (tikslumas – 0,001 g). Tūrinis tankis ρ buvo apskaičiuotas pagal 1 formulę:

$$\rho = \frac{V}{M}; \quad (1)$$

čia: V – bandinio tūris (g/cm^3), M – bandinio masė (g).

Vadovaujantis ISO 7619-1 standarto reikalavimus buvo nustatytas bandinių kietumas. Kiekvienam eksperimentiniam taškui gauti buvo atlikti 6 matavimai HPSA-M Šoro A kietmačiu (Vokietija).

Vandens absorbcijos tyrimas buvo atliktas pagal LST EN ISO 22649:2016 standartą. Paruošus $50 \pm 1 \times 50 \pm 1$ mm dydžio bandinius, jie 24 val. išlaikomi 20°C temperatūroje, kai oro drėgnis siekia 65 % [65, 66]. Tuomet bandiniai pasveriami ir pamerkami į distiliuotą vandenį 6 val. Jie ištraukiami kas valandą, nusausinami audiniu be pūkelių ir vėl pasveriami. Temperatūra bandymo metu – $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Bandinių vandens sugertis W_A apskaičiuojama pagal 2 ir 3 formules:

$$W_A = \frac{M_F - M_0}{A}; \quad (2)$$

$$W_A = \frac{M_F - M_0}{M_0} \times 100\%; \quad (3)$$

čia: M_0 – pradinė bandinio masė (g), M_F – bandinio masė, po ištraukimo iš distiliuoto vandens (g), A – bandinio paviršiaus plotas (m^2).

Kompozitų paviršiaus drėkinimo kampų matavimai buvo atliekami naudojant specialų standą, o virš bandinio įtaisyta pipete užlašintų vandens lašų vaizdas fiksuojamas kamera. Kampų matavimai atlikti naudojant virtualų goniometrą, integruotą į kompiuterinę programą „Motic Images Plus 2.0“.

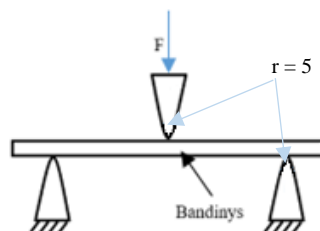
2.5. Mechaninių savybių tyrimas

Savybės tempiant buvo nustatomos vadovaujantis LST EN ISO 527-1:2019, o lenkiant – LST EN ISO 178:2019 standartu. Mechaninės savybės nustatytos naudojant universalią bandymo mašiną „H25KT“ („Tinius Olsen“, Anglija), viršutinio griebtuvo judėjimo greitis – 20 mm/min, jėgos skalė – 5 kN.

Bandinių skerspjuvio matmenys buvo išmatuoti naudojant indikatorinį slankmatį (f. MIB Messzeuge), Nr. GX 03090746 (matavimo riba – 200 mm, padalos vertė – 0,01 mm).

Kompozitų mechaninės savybės buvo įvertintos tempimo bandymu. Tempimo savybių įvertinimui buvo išpjauti stačiakampio formos bandiniai, kurių darbinės zonos dydis siekė 50×20 mm.

Kompozitų atsparumas lenkimui nustatytas atliekant trijų taškų lenkimą (žr. 5 pav.). Tyrimui naudoti stačiakampio formos 50×10 mm dydžio bandiniai. Atstumas tarp atramų lygus 50 mm, lenkimo greitis – 20 mm/min, jėgos skalė – 250 N.



5 pav. Trijų taškų lenkimo mazgas (atstumas tarp atramų – 50 mm)

Išanalizavus tempimo ir lenkimo bandymų metu gautas kreives buvo nustatytos kompozitų stiprumo ir deformacinės savybės, tokios kaip stipris tempiant ir lenkiant, modulis tempiant ir lenkiant, ištįsa trūkio metu:

$$\sigma = \frac{F_{tr}}{b \cdot d}; \quad (4)$$

čia: σ – stipris tempiant (MPa); F_{tr} – trūkimo jėga (N); b – bandinio plotis (mm); d – bandinio storis (mm).

$$\sigma_l = \frac{3F_l L_0}{2b \cdot d^2}; \quad (5)$$

čia: σ_l – stipris lenkiant (MPa); F_l – pradinė lenkimo jėga (N); L_0 – atstumas tarp atramų (mm).

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}; \quad (6)$$

čia: E_t – tamprumo modulis (MPa), σ_1 – įtempis, kai deformacija $\varepsilon_1 = 0,0005$ (MPa), σ_2 – įtempis, kai deformacija $\varepsilon_2 = 0,0025$ (MPa).

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \quad (7)$$

čia: ε – ištįsa trūkio metu (%); l_0 – pradinis darbinės zonos ilgis (mm), l – bandinio darbinės zonos ilgis trūkio metu (mm).

2.6. Statistinis eksperimento duomenų apdorojimas

Tokie pagrindiniai statistiniai rodikliai, kaip vidurkis, standartinis nuokrypis, dispersija, variacijos koeficientas, absoliutinė atsitiktinė ir santykinė paklaidos, pasikliautiniai intervalai, buvo apskaičiuoti siekiant įvertinti bandymų metu gautus rezultatus.

Aritmetinis vidurkis X apskaičiuotas pagal 8, standartinis nuokrypis S – pagal 9 formulę:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad (8)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{(n-1)}}; \quad (9)$$

čia: i – bandinio eilės numeris, x_i – i -ojo bandinio matmuo, n – bandinių kiekis.

Duomenų dispersija σ^2 apskaičiuota pagal 10 formulę:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n-1}; \quad (10)$$

čia: i – bandinio eilės numeris, x_i – i -ojo bandinio matmuo, X – aritmetinis vidurkis, n – bandinių kiekis.

Variacijos koeficientas V apskaičiuotas pagal 11 formulę:

$$V = \frac{\sigma^2}{X} \cdot 100 \%; \quad (11)$$

čia: σ^2 – rezultatų dispersija, X – aritmetinis vidurkis.

Absoliutinė atsitiktinė paklaida Δ apskaičiuota pagal 12 formulę:

$$\Delta = t_\beta \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}; \quad (12)$$

čia: t_β – Stjudento koeficientas (2,571), kai pasiklovimo tikimybė β lygi 0,95, o laisvės laipsnių skaičius $\varphi = n - 1$, S – standartinis nuokrypis, n – bandinių skaičius.

Rezultatų pasikliautiniai intervalai I_β apskaičiuoti pagal 13 formulę:

$$I_\beta = (X - \Delta; X + \Delta). \quad (13)$$

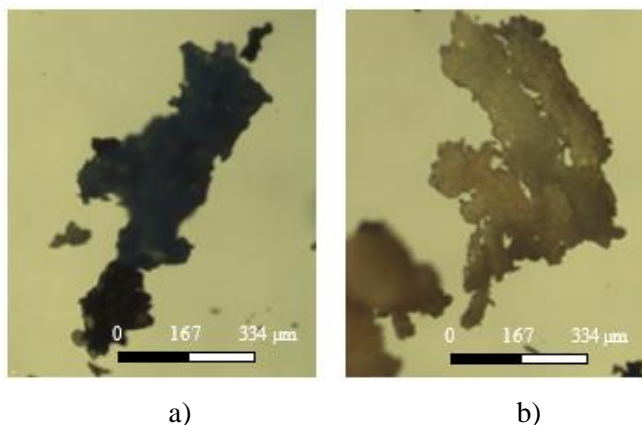
čia: X – aritmetinis vidurkis, Δ – absoliutinė atsitiktinė paklaida.

3. Rezultatai

Šiame skyriuje aprašomi kompozitams naudotų EVA, buko medienos atliekų granulimetrinės, diferencinės skenuojamosios kalorimetrijos, termogravimetrinės analizės bei suformuotų kompozitų fizikinių, mechaninių savybių bandymų ir morfologinio tyrimo rezultatai.

3.1. Atliekų dalelių granulimetrinė analizė

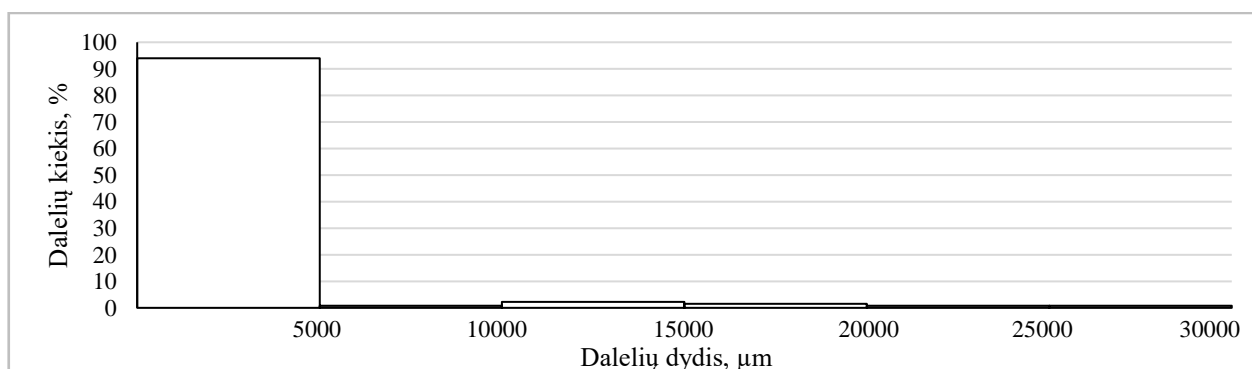
6 pav. pateikti optiniu mikroskopu gauti, 60 kartų padidinti EVA ir medienos dalelių vaizdai. Naudojant mikroskopą buvo galima matyti porėtą juodos spalvos EVA kopolimero dalelės struktūrą. Pastebėta, jog abiejų medžiagų dalelės yra netaisyklingos formos.



6 pav. EVA ir medienos dalelių vaizdai (M 60:1): a) EVA kopolimeras, b) buko mediena.

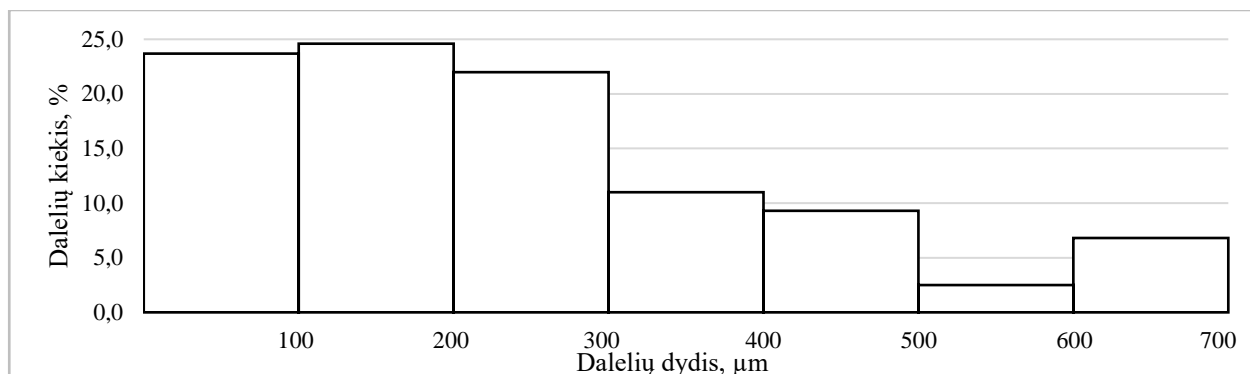
Darbe tirtos EVA ir medienos atliekos susidarė avalynės detalių gamybos metu frezuojant šių medžiagų plokštes. Buvo pastebėta, jog sugeneruotų atliekų dalelės yra skirtingų dydžių – nuo mikrometro dydžio dalelių iki kelių milimetrų ilgio drožlių, todėl buvo svarbu ištirti jų pasiskirstymą pagal dydį. Ištirta po 25 g EVA ir buko atliekų.

Tyrimo metu buvo pastebėta, jog didžiosios dalies dalelių dydis svyruoja 1 – 1000 μm ribose. Dėl šios priežasties, siekiant tiksliai įvertinti dalelių dydį ir jų pasiskirstymą, buvo sudarytos keturios histogramos. Dvi iš jų apima EVA ir medienos daleles, kurių dydis svyruoja 1–30000 μm ribose (žr. 7 ir 9 pav.), kitos dvi – 1–1000 μm ribose (žr. 8 ir 10 pav.). 7 pav. pavaizduotas EVA dalelių dydžių pasiskirstymas intervale nuo 1 iki 30000 μm . Sudaryta diagrama atskleidžia, jog vos ~6 % visų EVA dalelių yra didesnės nei 5000 μm .



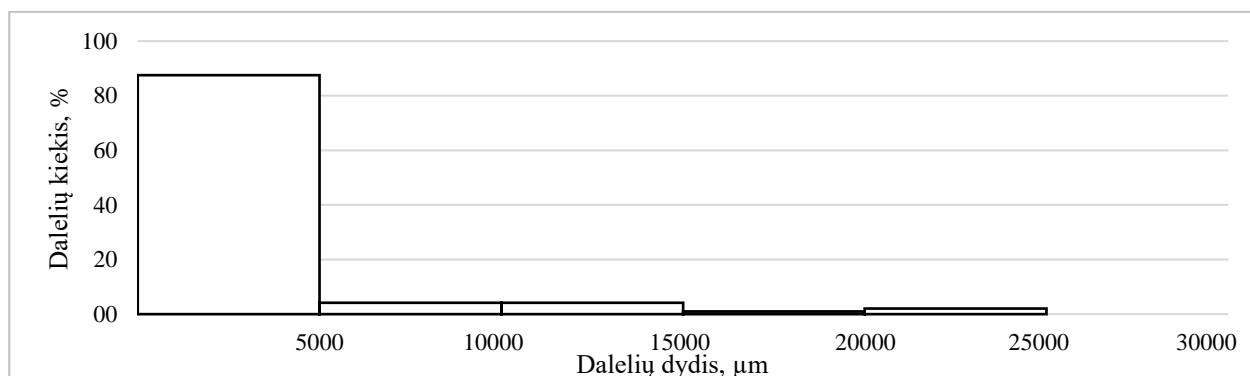
7 pav. EVA dalelių dydžių pasiskirstymas 1–30000 μm ribose

8 pav. pateikta EVA dalelių dydžių pasiskirstymas nuo 1 μm iki 700 μm . Diagramoje pateikti duomenys rodo, kad maždaug 70 % dalelių yra susitelkusios pirmosiose trijose dalyse (1–300 μm). Daugiausia, beveik ketvirtadalis visų dalelių, yra antrajame intervale – jų dydis siekia 101–200 μm .



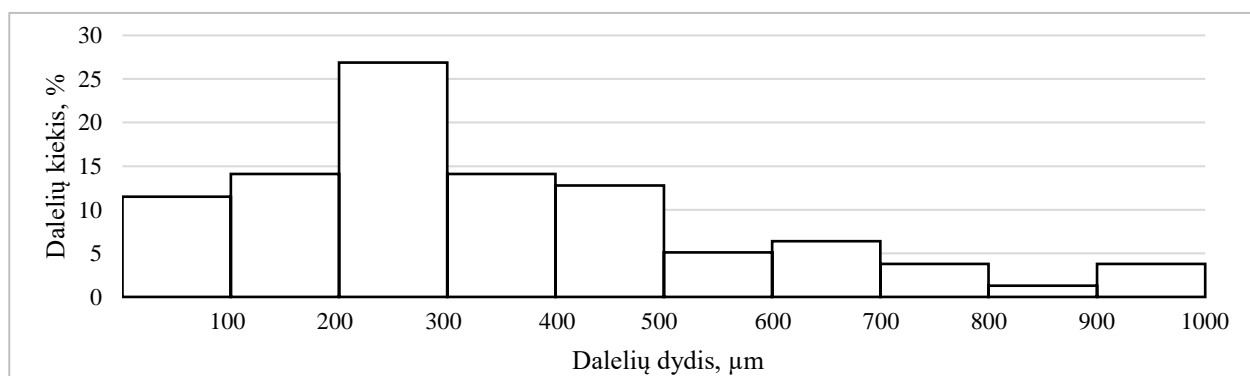
8 pav. EVA dalelių dydžių pasiskirstymas 1–700 μm ribose

Medienos dalelių dydžių pasiskirstymas intervale nuo 1 iki 30000 μm pavaizduotas 9 paveiksle. Šiuo atveju, 87,5 % visų dalelių patenka į pirmąjį, 1–5000 μm dydžio, intervalą. Diagrama atskleidžia, jog stambesnių (> 5000 μm) medienos dalelių yra šiek tiek daugiau nei EVA atveju – apie 11,5 %.



9 pav. Medienos dalelių dydžių pasiskirstymas 1–30000 μm ribose

10 paveiksle pavaizduotas medienos dalelių dydžių – nuo 1 iki 1000 μm – pasiskirstymas. Duomenys atskleidžia, kad daugiausia, t.y. apie 27 % dalelių, yra trečiajame intervale – jų dydis siekia 201–300 μm .



10 pav. Medienos dalelių dydžių pasiskirstymas 1 – 1000 μm intervale

Atlikta granulimetrinė analizė parodė, kad atitinkamai 87,5 % ir 94,0 %, medienos bei EVA atliekų sudaro gana smulkios frakcijos dalelės, kurių dydis siekia iki 5000 μm . Atsižvelgiant į šiuos rezultatus, nuspręsta kompozicijoms naudoti visas turimas atliekas, o sąveikai tarp kuriamo kompozito matricos ir užpildo padidinti, naudoti rišiklį.

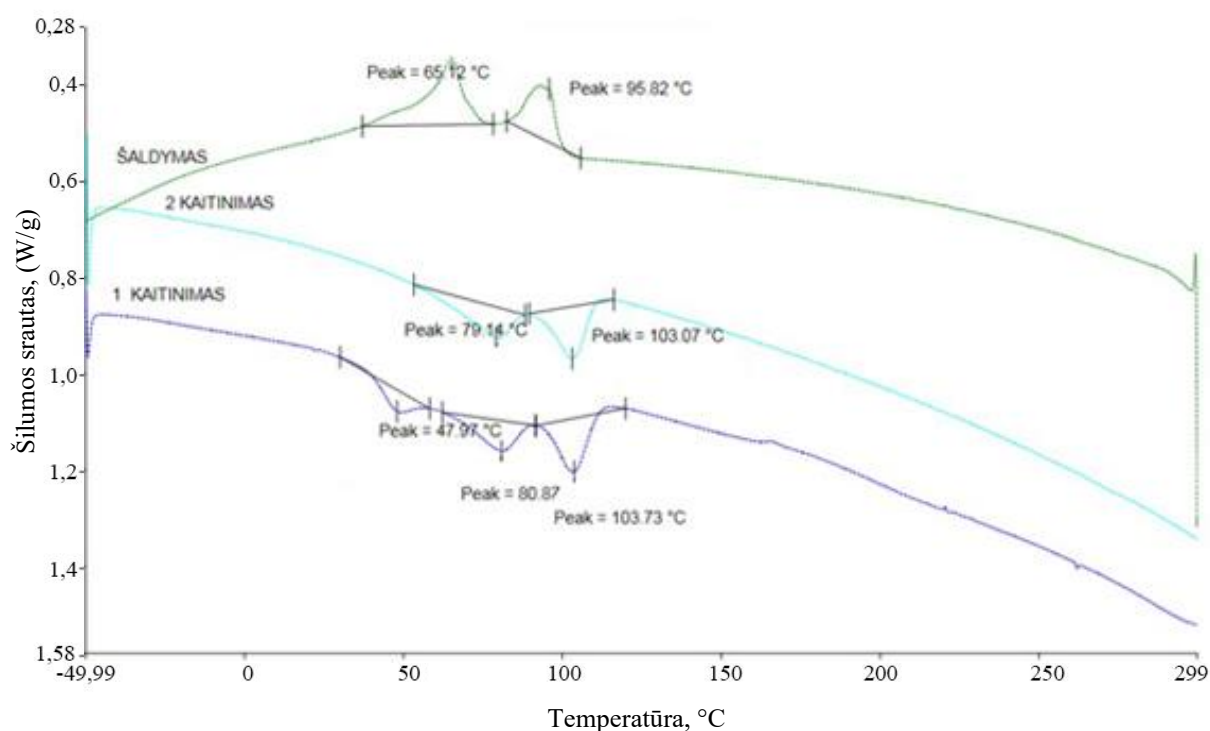
3.2. Diferencinė skenuojamoji kalorimetrija

EVA, medienos dalelių atliekų ir jų mišinio bandiniai buvo analizuojami diferencinės skenuojamosios kalorimetrijos (DSK) būdu, siekiant nustatyti turimų atliekų lydymosi temperatūrą.

11 pav. pateikiamos EVA kopolimero atliekų DSK kreivės esant dviem šildymo ciklams. EVA atliekų reakcijos entalpijos vertės (ΔH), gautas bandymo metu, galima matyti 7 lentelėje. Teigiamos vertės iliustruoja endoterminį, o neigiamos – egzoterminį procesą.

Literatūroje teigiama, kad EVA putplasčio kristalinių darinių lydymasis DSK kreivėse paprastai pasireiškia dviem pikais. Priklausomai nuo vinilacetato kiekio, pirmasis siekia 40–60 $^{\circ}\text{C}$, antrasis – 80–90 $^{\circ}\text{C}$ [67]. Bandinio DSK kreivėje matomos trys skirtingos endoterminės smailės esant ~ 48,0 $^{\circ}\text{C}$, ~ 80,9 $^{\circ}\text{C}$ ir ~ 103,7 $^{\circ}\text{C}$. Pirmąsias dvi galima priskirti EVA kristalinių darinių lydymuisi. Pikas ties ~ 103,7 $^{\circ}\text{C}$ gali rodyti kitų atliekų būvimą. Antrojo kaitinimo metu, pikas ties ~ 48,0 $^{\circ}\text{C}$ išnyksta (pirmojo kaitinimo pasekmė), o ties ~ 80,9 $^{\circ}\text{C}$ pasislenka mažesnių temperatūrų link – 79,1 $^{\circ}\text{C}$. Bandinių šaldymo metu užfiksuotos dvi egzoterminės smailės, kurių pikai lygūs 65,12 $^{\circ}\text{C}$ ir 95,82 $^{\circ}\text{C}$ – jos iliustruoja EVA kristalizacijos procesus.

Pirmojo kaitinimo metu susidariusią papildomą egzoterminę smailę, esančią ~ 160 $^{\circ}\text{C}$ temperatūroje, galima priskirti skersinių ryšių susidarymui po vulkanizacijos [67]. Antrojo kaitinimo DSK kreivėje egzoterminių smailių nėra.

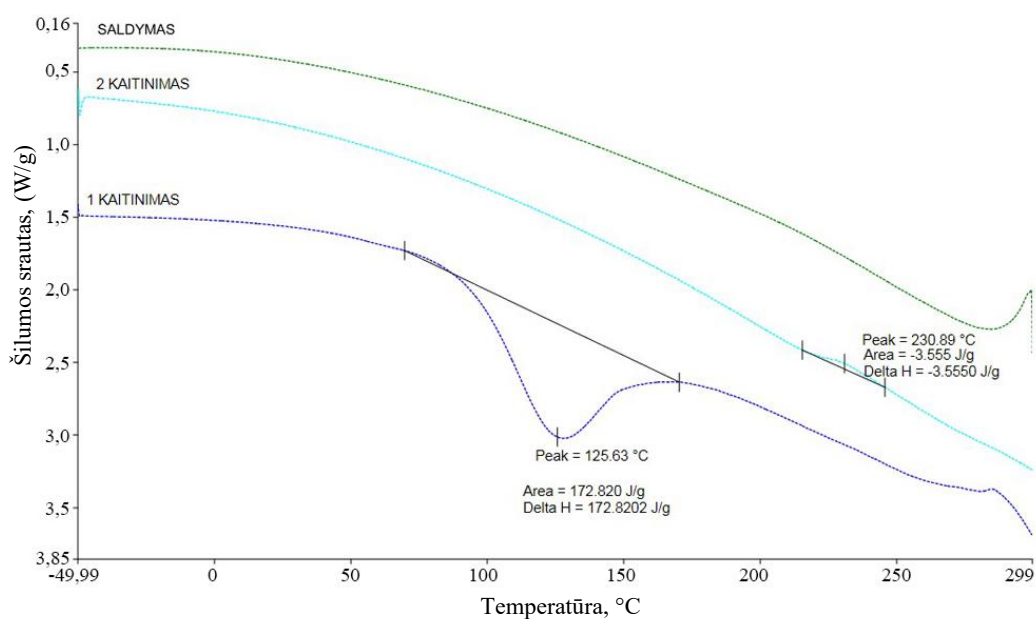


11 pav. EVA atliekų DSK kreivės

7 lentelė. Entalpijos vertės, gautos atliekant EVA atliekų DSK analizę

DSK etapas	Smailės piko vertė, °C	Reakcijos entalpija (ΔH), J/g
Kaitinimas (pirmasis)	47,97	2,38
	80,87	5,19
	103,73	6,09
Vėsinimas	65,12	-11,47
	95,82	-6,58
Kaitinimas (antrasis)	79,14	6,48
	103,7	6,52

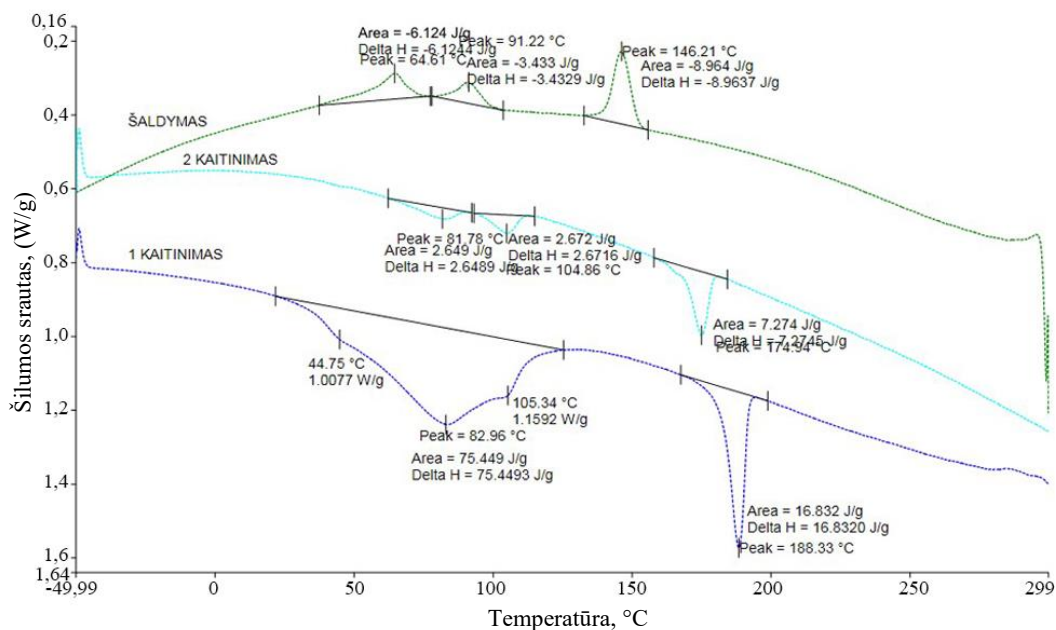
Pirmojo kaitinimo kreivėje (žr. 12 pav.), 75–170 °C temperatūrų intervale, užfiksuotas medienai būdingas endoterminis kristalizacinio vandens pasišalinimas iš tirtų atliekų. Medieną sudaro trys pagrindiniai junginiai – hemiceliuliozė, celiuliozė ir ligninas. Jų irimo temperatūra atitinkamai svyruoja tarp 200–260 °C, 240–350 °C, 280–500 °C temperatūrų intervale [68, 69]. Taigi, antrojo kaitinimo metu susidariusią egzoterminę smailę, kurios pikas yra ties ~ 230,9 °C galima priskirti buko medienoje buvusios hemiceliuliozės destrukcijai. Parenkant kompozito formavimo parametrus būtina atsižvelgti į tai, jog formavimo temperatūra negali viršyti 200–230 °C, kitu atveju gali įvykti medienos miltų destrukcija.



12 pav. Medienos atliekų DSK kreivės

Buvo atlikta ir kompozito EVA:bukas = 3:2 + PA DSK analizė (žr. 13 pav.). Pirmojo kaitinimo metu, esant ~ 83,0 °C temperatūrai, susidarė endoterminė smailė. Smailėje galima pastebėti dvi pakopas susidariusias ties ~ 44,8 °C ir 105,8 °C temperatūra. Visa ši juosta gali būti priskirta EVA kristalų lydymuisi. Antrasis pirmojo kaitinimo pikas ties ~ 188,3 °C – kompozicijai naudoto PA rišklio lydymasis [70].

Antrojo kaitinimo metu, analogiškai EVA DSK kreivėms, pirmoji smailė ties ~ 45,0 °C išnyksta, o pikas ties ~ 83,0 °C pasislenka žemesnių temperatūrų link – 81,8 °C. PA priskiriamos trečiosios smailės pikas antrojo kaitinimo metu taip pat pasislenko žemesnių temperatūrų link – iki 175,0 °C. Lyginant kompozito ir EVA DSK šaldymo kreives, galima pastebėti, jog kompozicijoje esančio EVA kristalizacijos temperatūra sumažėjo 0,8–4,8 %.



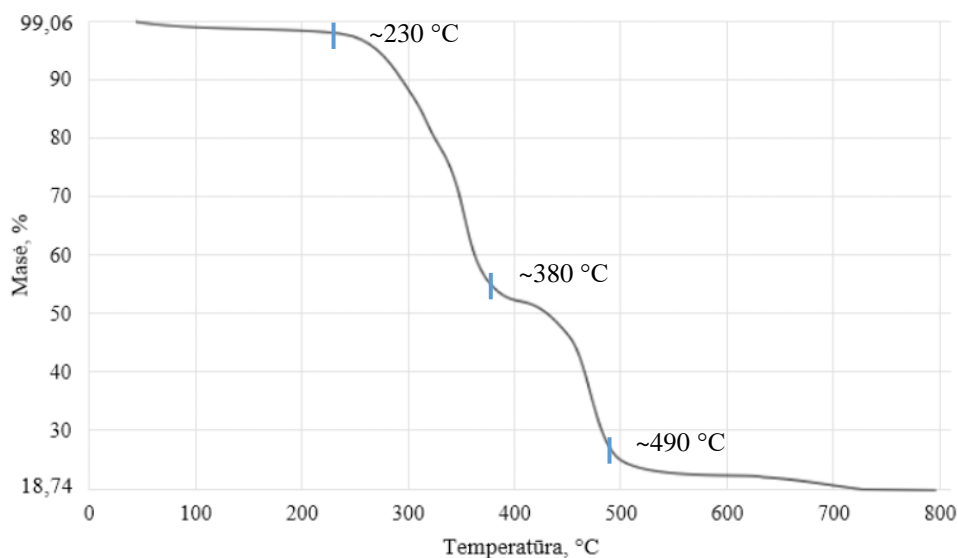
13 pav. EVA ir medienos atliekų kompozito DSK kreivės

Atlikta DSK analizė suteikė informacijos apie kompozitams naudojamų atliekų sudėtį ir medžiagų cheminės struktūros pakitimus, kuriems įtaką gali daryti kompozicijos formavimo metu vykdomi terminiai procesai.

3.3. Termogravimetrinė analizė

Darbo metu buvo atlikta kompozito, kurį sudarančių EVA ir buko medienos atliekų santykis lygus 3:2, termogravimetrinė analizė. Šio matavimo temperatūrinis diapazonas siekė 40–800 °C.

Kreivėje galima matyti tris ryškias pakopas, kurios iliustruoja bandinio masės pokytį (žr. 14 pav.). Pirmasis pokytis, kurio metu bandinio masė sumažėja apytiksliai 45 %, susidaro ties maždaug 230 °C temperatūra – skyla žemos virimo temperatūros junginiai. Ties ~380 °C temperatūra susidaręs antrasis masės pokytis galėtų būti priskiriamas medienos irimui. Jo metu netenkama apie 30 % visos masės. Trečiasis pokytis, ties maždaug 490 °C, priklauso EVA kopolimero destrukcijai [67].

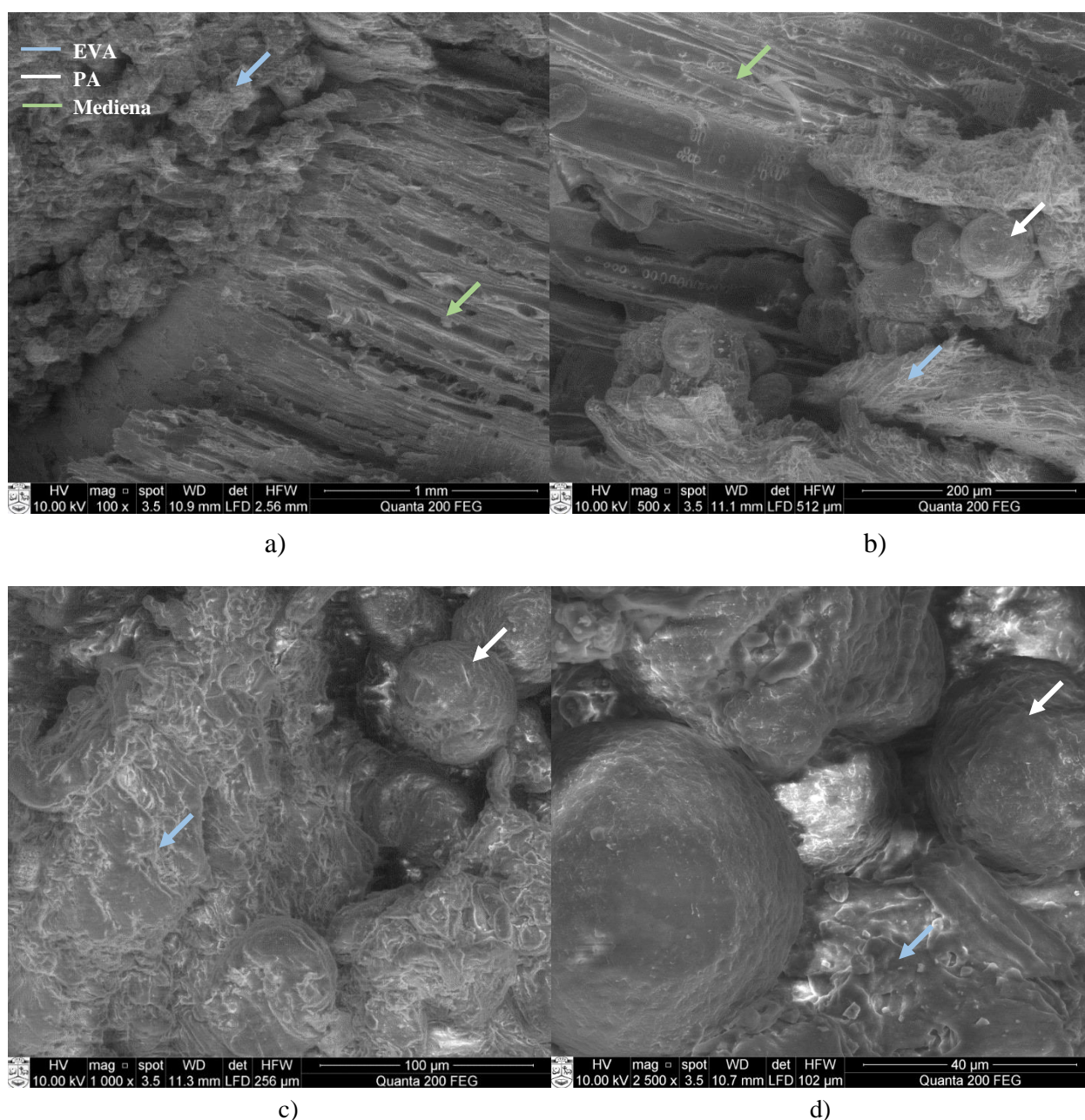


14 pav. Kompozito EVA:bukas = 3:2 terminio stabilumo kreivė

Taigi, TGA analizės rezultatai atskleidžia, kad kompozitą geriausia būtų formuoti žemesnėje nei 230 °C temperatūroje.

3.4. Morfologinių savybių nustatymas

Skenuojančiu elektroniniu mikroskopu (SEM) gauti 100–2500 kartų padidinti kompozito, kuriame EVA ir buko atliekų santykis lygus 3:2, papildyto rišikliu, vaizdai pateikiami 15 paveikslėlyje. Jame galima matyti skirtingų spalvų rodyklėmis pažymėtas jį sudarančias medžiagas: mėlynai – EVA, žalsvai – buko medieną, balta spalva – PA rišiklį.



15 pav. Suformuoto kompozito struktūra: a) vaizdas padidintas 100 kartų; b) vaizdas padidintas 500 kartų; c) vaizdas padidintas 1000 kartų; d) vaizdas padidintas 2500 kartų.

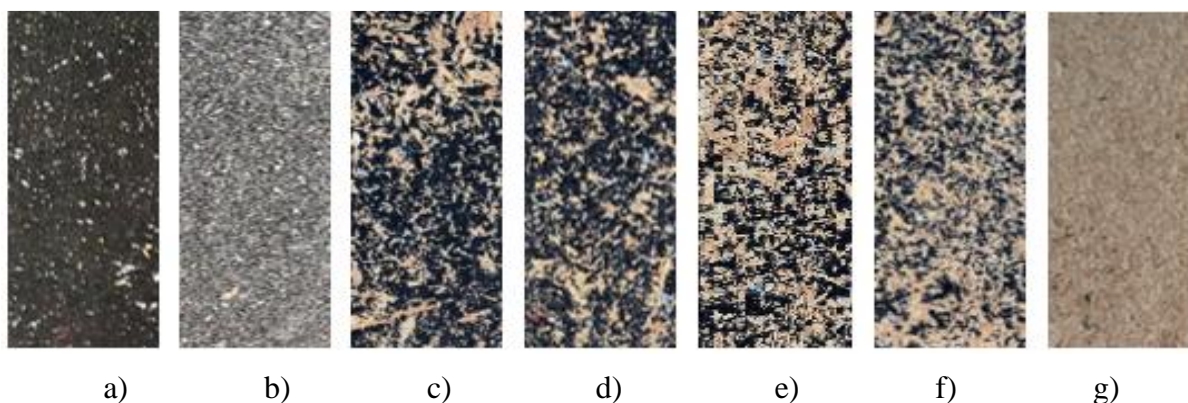
Iš pateiktų vaizdų matyti, kad EVA ir buko medienos dalelių kontakto zonoje (15 pav. a, b) nėra tarpelių, komponentai gerai vilgo vienas kitą. Pateiktos nuotraukos atskleidžia, kad medienos, vieno

iš labiausiai aukštai formavimo temperatūrai jautrių komponentų, dalelių struktūra nėra patyrusi destrukcijos.

Pateiktos nuotraukos taip pat rodo, jog plokštėje PA nėra išsilydęs, tačiau formuojant kompozitą buvo pasiekta temperatūra, kai PA įgauna elastinę būseną, kurios dėka tarp EVA, buko ir PA dalelių pasiekta pakankama sąveika. Teigiamą PA rišiklio įtaką kompozicijų savybėms rodo ir atliktų mechaninių bandymų rezultatai.

3.5. Sukurtų kompozitų tankis ir kietumas

Darbo metu buvo suformuoti septyni skirtingos sudėties kompozitai, kurių vaizdai pateikti 16 pav.



16 pav. Suformuotų EVA/buko atliekų kompozitų bandiniai M 1:1: a) EVA:bukas = 100:0, b) EVA:bukas = 100:0 + PA, c) EVA:bukas = 3:2, d) EVA:bukas = 3:2 + PA, e) EVA:bukas = 2:3, f) EVA:bukas = 2:3 + PA, g) EVA:bukas = 0:100 + PA

Buvo išmatuotos sukurtų EVA bei medienos atliekų kompozitų kietumo ir tankio vertės (8 lentelė). Iš lentelėje pateiktų duomenų matyti, kad suformuotų kompozitų kietumas kinta 87 – 95 Šoro A vienetų ribose, tankis – 0,67–0,89 g/cm³. Mažiausiu tankiu pasižymi iš EVA ir buko kompozito plokštė, kurioje šios atliekos sudaro santykį 3:2. Tuo tarpu, kompozitas, kuriame EVA ir buko atliekos sudaro santykį 3:2, papildytas PA, pasižymi didžiausiu tankiu.

Pastebėta, kad PA rišiklio įvedimas daro įtaką iš EVA ir buko sudaryto kompozito kietumui ir tankiui – kompozicijos bandinių kietumas išauga 3–5 %, o tankis – maždaug 25 %. Rezultatai atskleidžia, jog tokios sudėties kompozite didėjant medienos atliekų kiekiui, didėja ir jo kietumas. Tiriant tik iš EVA atliekų sudaryto kompozitą nustatyta, jog rišiklis sumažina plokštės kietumą apytiksliai 4 %, o tankį – 11 %.

8 lentelė. Suformuotų kompozitų kietumas ir tankis

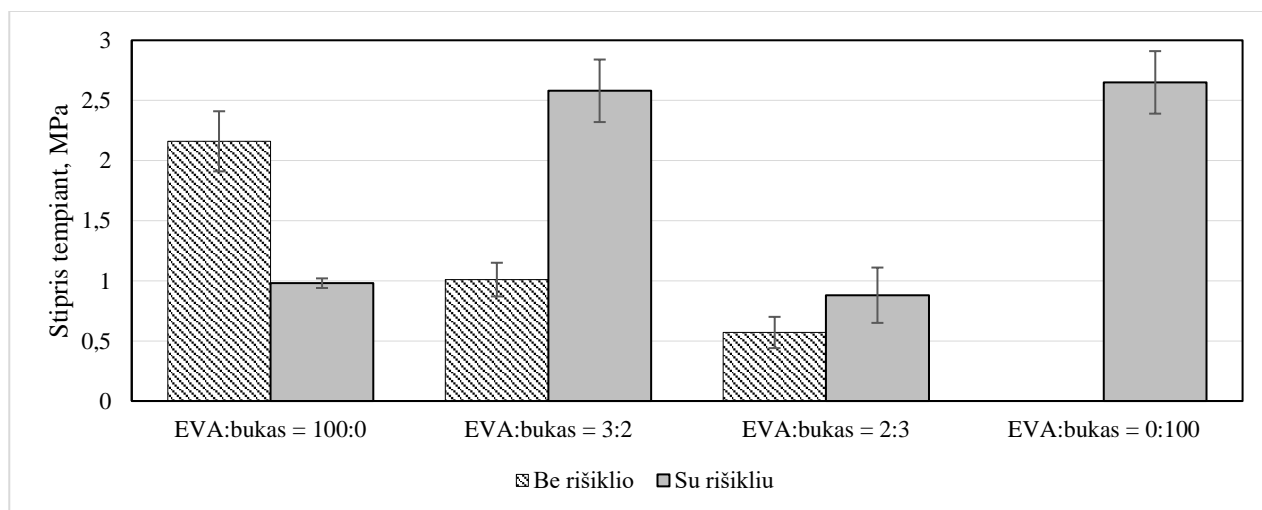
Kompozitinė plokštė	Kietumas, pagal Šorą A	Tankis, g/cm ³
EVA:bukas = 100:0	91	0,80
EVA:bukas = 100:0 + PA	87	0,71
EVA:bukas = 3:2	91	0,69
EVA:bukas = 3:2 + PA	94	0,89
EVA:bukas = 2:3	92	0,67
EVA:bukas = 2:3 + PA	95	0,78
EVA:bukas = 0:100 + PA	95	0,71

Lyginant šias vertes su anksčiau apžvelgtu komerciniu kamščiu (3 lentelė) ir mokslinių tyrimų metu kurtais kamštienos kompozitais (4 lentelė), pastebėta, jog šio darbo metu pagamintų kompozitų tankis yra maždaug 1,2–5,5 karto didesnis nei komercinio kamščio plokščių ir vidutiniškai dvigubai nei apžvelgtų kamštienos kompozitų. Palyginus suformuotų kompozitų ir darbo metu tirtų komercinių, avalynės vidpadžiams formuoti skirtų plokščių, savybes, paaiškėjo, kad kompozito EVA:bukas = 100:0 + PA kietumas sutampa su neaustinės medžiagos „Biagoli“ (87 Šoro A vnt.), EVA:bukas = 100:0, EVA:bukas = 100:0 + PA ir EVA:bukas = 3:2 yra artimas „Texon“ kartonui (89 Šoro A vnt.), o EVA:bukas = 2:3 + PA ir EVA:bukas = 0:100 + PA – „Bartoli“ kartonui (96 Šoro A vnt.).

3.6. Kompozitų mechaninės savybės

Ištyrus kompozitų mechanines savybes nustatyta, kad darbo metu suformuotų kompozitų stiprio tempiant vertės kinta nuo 0,57 MPa iki 2,65 MPa (žr. 17 pav.). Didžiausiu stipriu tempiant pasižymi buko atliekos papildytos rišikliu. Nors šios plokštės tankio vertė yra didesnė maždaug penktadaliu, kompozito EVA:bukas = 3:2 + PA tempiamasis stipris yra mažesnis vos 2,6 % ir siekia 2,58 MPa. Mažiausiu stipriu tempiant – 0,57 MPa – pasižymi kompozitas EVA:bukas = 2:3.

Atlikto tempimo bandymo rezultatai atskleidžia, jog rišiklio įvedimas į kompoziciją, EVA ir buko atliekų kompozito atveju, stiprį tempiant padidina vidutiniškai 70 %. Šie duomenys patvirtinta, kad dėl PA naudojimo yra pasiekama geresnė sąveika tarp EVA ir buko. Ištyrus tik iš EVA sudarytą plokštę, buvo pastebėtas EVA ir buko kompozitui priešingas efektas – tempiamojo stiprio vertė įvedus rišiklį sumažėjo beveik 50 %. Taip galėjo nutikti dėl prastos sąveikos tarp EVA ir PA dalelių ir sumažėjusio kompozicijos deformuojamumo



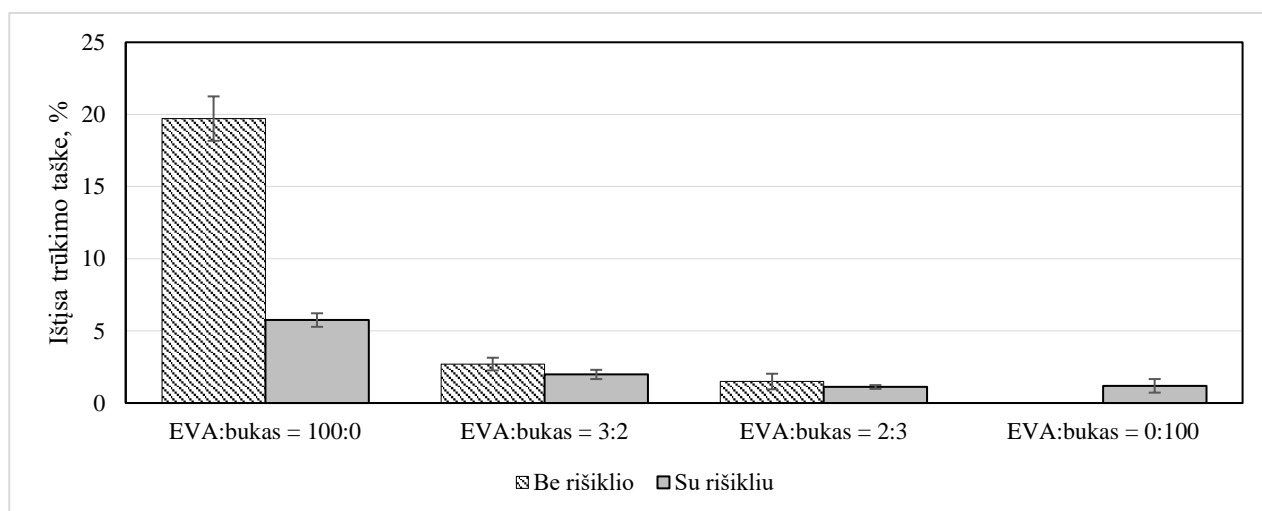
17 pav. Kompozitų stipris tempiant

Lyginant EVA ir buko kompozitus, kuriuose šių atliekų kiekis atitinkamai lygus 3:2 ir 2:3, pastebėta, jog didesnis medienos kiekis lemia maždaug 2 kartus mažesnes stiprio tempiant vertes. Padidinus buko atliekų kiekį, kompozite EVA nebėra taip tolygiai pasiskirstęs, todėl medienos dalelės tiesiogiai liečiasi viena su kita. Tokiu būdu sąveika tarp kompozito sudedamųjų dalių suprastėja.

Apžvelgtų avalynės gamybai naudojamų komercinio kamščio plokščių stiprio tempiant vertes (3 lentelė) palyginus su gautomis bandymo metu paaiškėjo, jog komerciniam kamščiui artimiausias kompozitas yra EVA:bukas = 2:3. Galima pastebėti, kad apžvelgtų kamščio ir kamščio/bambuko

kompozito tempiamasis stipris (4 lentelė) yra vidutiniškai 2 kartus didesnis nei šio darbo metu suformuotų plokščių.

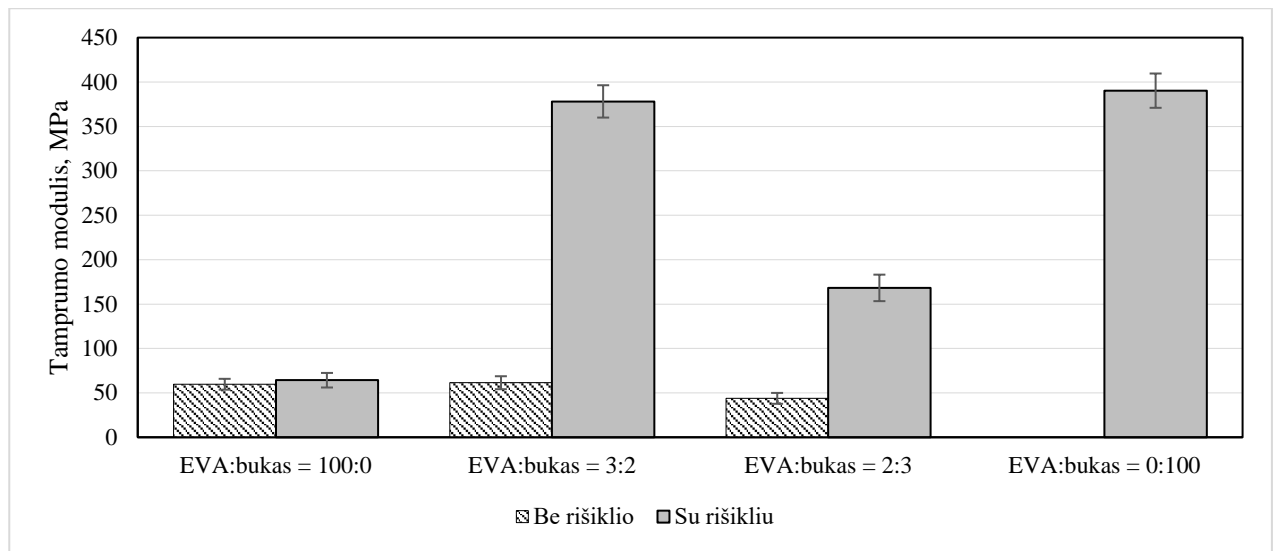
Bandinių tempimo bandymai atskleidė, jog darbo metu suformuotų kompozitų ištisos trūkimo taške vertės kinta 1,11–19,71 % intervale (žr. 18 pav.). Rezultatai rodo, kad ištisa trūkimo taške mažėja didėjant medienos kiekiui kompozite. Didžiausia ištisos trūkimo metu išsiskyrė tik iš EVA atliekų sudarytas kompozitas. Pastebėta, jog PA rišiklio įvedimas į kompoziciją bandinių ištisą trūkimo taške sumažina maždaug 25 % – tai paaiškėjo lyginant EVA ir buko kompozitus, kuriuose šių atliekų santykis yra lygus 3:2, 2:3, 1:4. Kompozito, kurį sudarė tik EVA atliekos, atveju, dalį kompozite esančio EVA pakeitimas rišikliu lėmė ištisos trūkimo taške sumažėjimą maždaug 70 %.



18 pav. Kompozitų ištisa trūkimo taške

Padidinus užpildo (medienos) kiekį ar pridėjus rišiklio yra sumažinamas sąlytis tarp matricos (EVA) dalelių, todėl kompozito elastingumas (ištisa) sumažėja. Panašūs rezultatai gauti ir Pietų Afrikos mokslininkų sukurtų medienos miltų-padangų gumos atliekų kompozitų atveju [54].

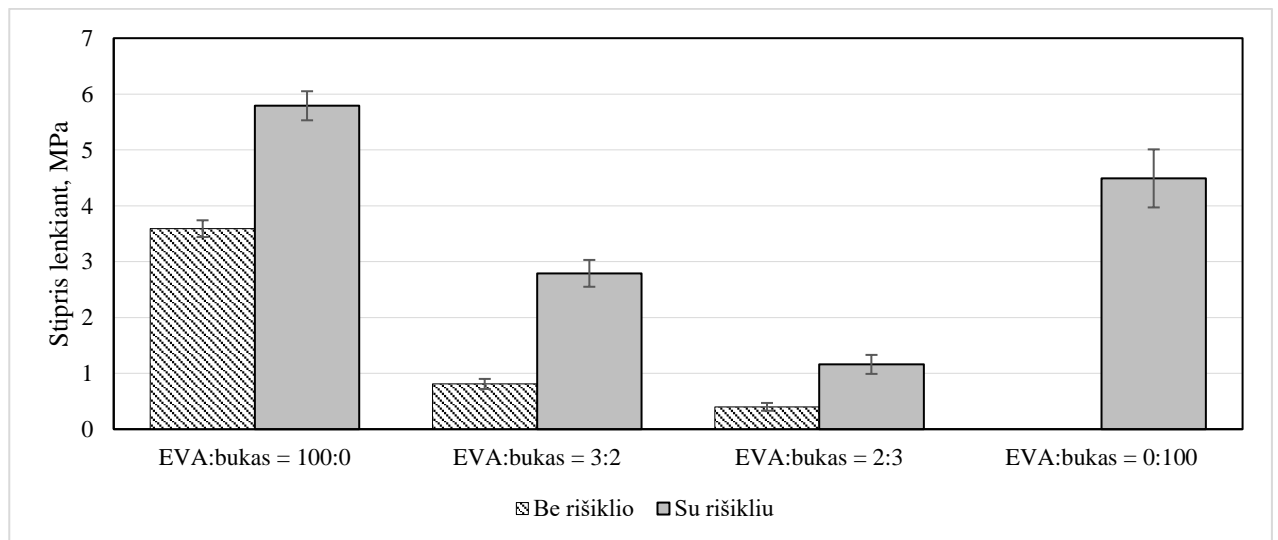
Darbo metu suformuotų kompozitinių plokščių modulio vertės pateikiamos 19 pav. Didžiausia tamprumo modulio vertė būdinga buko atliekų kompozitui, papildytam rišikliu. Galima pastebėti, jog rišiklio įvedimas didesnę įtaką darė iš EVA ir medienos sudarytų kompozitų tamprumo moduliiui. Lyginant EVA bei buko kompozitus, kuriuose šios atliekos atitinkamai sudarė santykį 3:2 ir 2:3, pastebėta, jog į kompozito sudėtį įvestas rišiklis tamprumo modulio vertę padidino maždaug 5 kartus.



19 pav. Kompozitų tampumo modulis

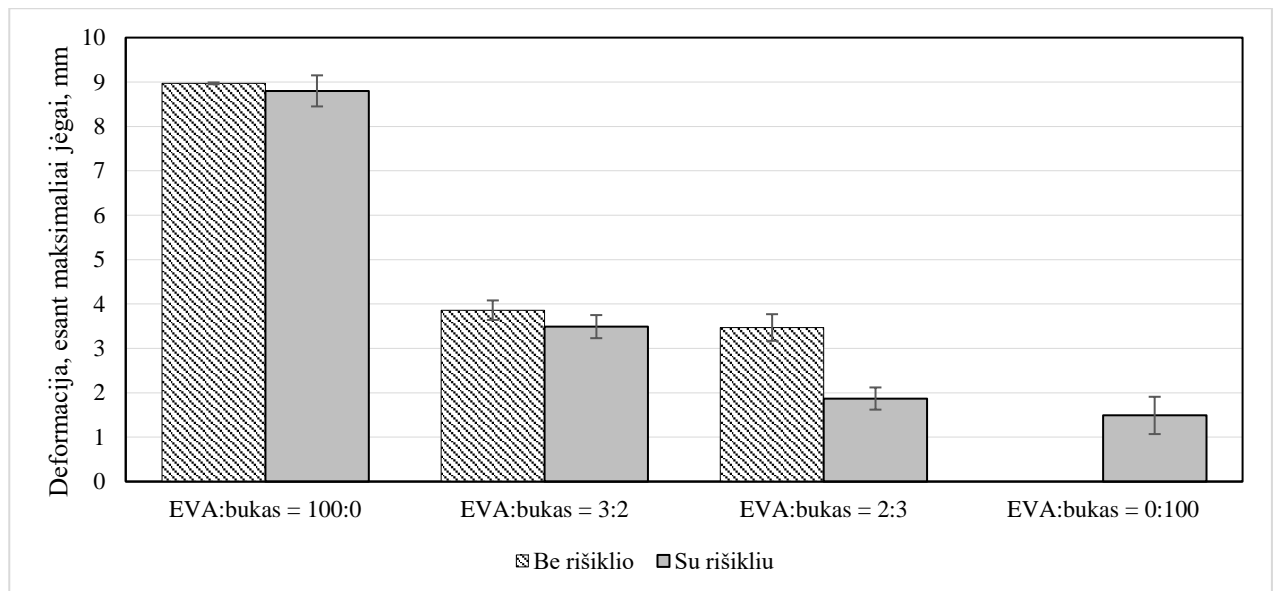
20 ir 21 pav. pateikiami suformuotų kompozicinių plokščių lenkimo bandymo rezultatai. Bandinių stiprio lenkiant vertės kinta intervale tarp 0,4 MPa ir 5,79 MPa (žr. 20 pav.). Didžiausiu stipriu lenkiant pasižymi rišikliu papildytas kompozitas sudarytas tik iš EVA atliekų. Lyginant kompozitus EVA:bukas = 3:2 ir EVA:bukas = 2:3 pastebėta, jog medienos kiekiui išaugus 20 %, bandinių stipris lenkiant sumažėjo maždaug 50 %.

Įtraukus PA rišiklį, sąveika tarp kompozito matricos ir užpildo buvo pagerinta. Tą patvirtina ir rezultatai – lenkiamasis bandinių stipris išaugo maždaug 2 kartus.



20 pav. Kompozitų stipris lenkiant

Tirtų bandinių deformacijos, esant maksimaliai jėgai, vertės svyruoja tarp 1,87 mm ir 8,97 mm (žr. 21 pav.). Duomenys atskleidžia, jog bandinių deformacijos vertės mažėja didėjant medienos kiekiui kompozite – medienos kiekiui išaugus 20 %, kompozitų deformacija, esant maksimaliai jėgai, sumažėjo maždaug 10 %. Rišiklio įvedimas į EVA ir buko atliekų kompozitus, jų deformaciją, pasiekus maksimalią jėgą, sumažino vidutiniškai 50 %.



21 pav. Kompozitų deformacija, esant maksimaliai jėgai

Siekiant palyginti gautus rezultatus su komercinėmis avalynės detalėmis gaminti naudojamomis medžiagomis, lenkimo bandymas buvo atliktas ir su komercinio kamščio, neaustinės medžiagos bei avalynės kartono bandiniais. Šie rezultatai pateikiami 9 lentelėje.

9 lentelė. Komercinių avalynės detalių gamybai skirtų plokščių lenkimo bandymo rezultatai

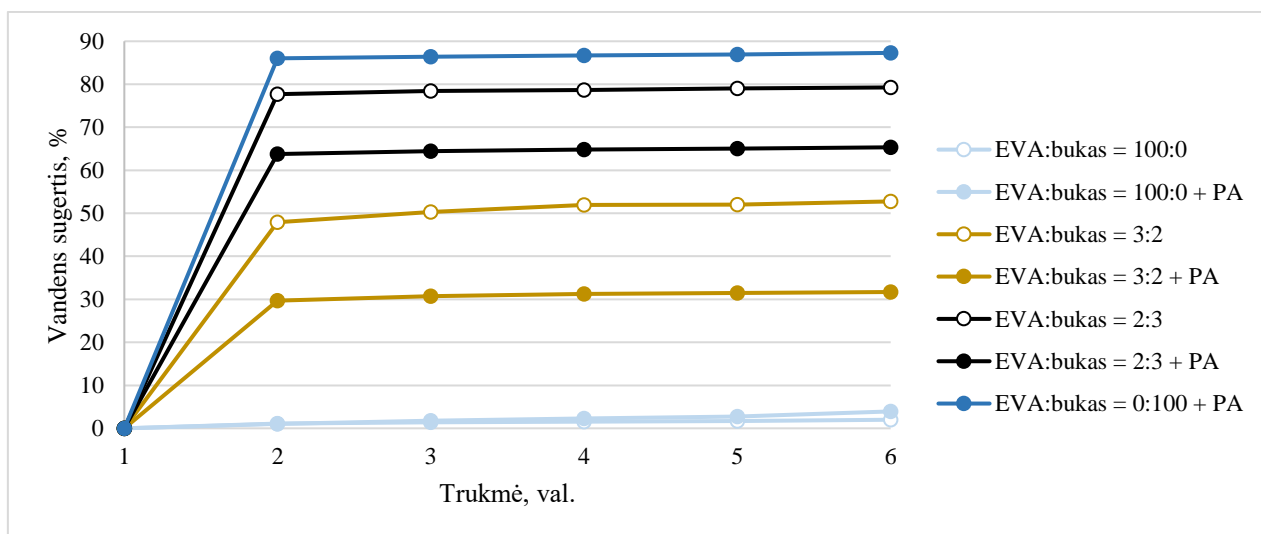
Bandiniai	Tamprumo modulis, MPa	Stipris lenkiant, MPa	Deformacija, esant maksimaliai jėgai, mm
Kamštinė plokštė	$8,4 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,1$	$9,0 \pm 0,1$
Neaustinė medžiaga „Biagoli“	$300,1 \pm 12,4$	$4,9 \pm 0,4$	$8,6 \pm 0,5$
Avalynės kartonas „Bartoli“	$534,0 \pm 17,0$	$11,3 \pm 0,3$	$7,1 \pm 0,6$
Avalynės kartonas „Texon“	$2804,8 \pm 132,5$	$30,1 \pm 2,6$	$3,4 \pm 0,3$

Pateiktus duomenis lyginant su darbo metu suformuotų kompozitų savybėmis, galima pastebėti, jog darbo metu suformuotų kompozitų tamprumo modulis yra mažiausiai 4 kartus didesnis nei komercinio kamščio, o kompozitų EVA:bukas = 3:2 + PA, EVA:bukas = 0:100 + PA – artimas avalynės kartonui „Bartoli“. Kamštienos stiprio lenkiant vertės panašios į kompozitų, kuriuose EVA ir buko dalelės sudaro santykį atitinkamai 3:2 ir 2:3, o tik iš buko atliekų sudarytos, rišikliu papildytos plokštės stipris lenkiant yra artimas „Biagoli“ gamintojo neaustinei medžiagai. Pagal deformacijos, esant maksimaliai jėgai, vertes, kamščiui ir neaustinei medžiagai artimiausi yra kompozitai EVA:bukas = 100:0 ir EVA:bukas = 100:0 + PA, o plokštės sudarytos iš EVA ir buko atliekų – avalynės kartonui „Texon“.

Atlikti darbo metu suformuotų kompozitų bandymai atskleidė, jog EVA ir medienos atliekų dalelių santykis yra esminis aspektas, darantis įtaką kompozitų mechaninėms savybėms. Dažniausiai dėl savo prigimties mediena lemia didesnę kompozito stiprumą ir modulį, bet sumažėja jo lankstumas ir ištįsa. Bandymų rezultatai taip pat patvirtina, kad dėl PA rišiklio naudojimo yra pasiekama didesnė sąveika tarp kompozito matricos ir užpildo – EVA ir buko – dalelių.

3.7. Kompozitų vandens absorbcijos tyrimas

Siekiant patikrinti suformuotų kompozitų higienines savybes, buvo atliktas vandens absorbcijos tyrimas. Bandymo metu buvo pastebėta, jog didžiausias bandinių vandens sugerties pokytis atsirado po pirmosios bandymo valandos, o vėliau kito nežymiai (22 pav.).



22 pav. Bandinių vandens sugerties kitimas

Gauti vandens absorbcijos tyrimo rezultatai pateikiami 10 lentelėje.

10 lentelė. Kompozitų vandens absorbcija

Kompozito pavadinimas	Vandens sugertis W_A , g/m ²	Vandens sugertis, %
EVA:bukas = 100:0	64	2,26
EVA:bukas = 100:0 + PA	120	4,80
EVA:bukas = 3:2	1368	56,11
EVA:bukas = 3:2 + PA	972	32,49
EVA:bukas = 2:3	2060	81,36
EVA:bukas = 2:3 + PA	1876	66,90
EVA:bukas = 0:100 + PA	2116	88,83

Nustatyta, kad prasčiausiomis vandens absorbcijos savybėmis (64 g/m²) pasižymi kompozitas sudarytas tik iš EVA atliekų, o geriausiomis (2116 g/m²) – plokštė iš buko atliekų, papildyta rišikliu. Bandymo rezultatai atskleidžia, kad didėjant buko medienos atliekų kiekiui kompozite, plokštės vandens absorbcijos savybės gerėja. Taip yra dėl hidrofiliškos medienos kilmės – joje esantys, ypač paviršiuje išsidėstę kapiliarai sparčiai prisipildo vandens. Lyginant tokios pačios sudėties plokštes galima pastebėti, jog rišiklio įvedimas į EVA ir buko atliekų kompoziciją lėmė vandens sugerties verčių sumažėjimą vidutiniškai 30 %. Tą galima paaiškinti hidrofobine PA prigimtimi.

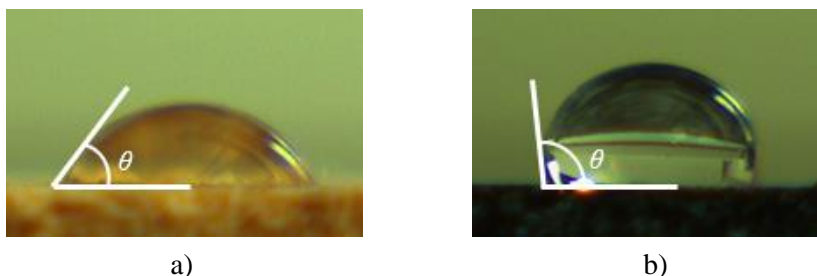
Kompozito, sudaryto tik iš EVA atliekų, atveju gauti priešingi rezultatai – panaudojus rišiklį, bandinių sugeriamo vandens kiekis išaugo maždaug du kartus. Taip galėjo nutikti dėl prastos sąveikos tarp EVA ir PA dalelių. Dėl šios priežasties EVA-PA tarpfaziniame paviršiuje atsiranda įtrūkimai ir tarpai, pro kuriuos į kompozitą yra pernešamos vandens molekulės.

Avalynės gamybai naudojamų medžiagų gebėjimas absorbuoti drėgmę lemia puikias higienines savybes bei komfortą ją dėvint. Atlikto bandymo rezultatai atskleidė, jog pagamintų kompozitinių

plokščių vandens sugertis yra maždaug 30–85 % didesnė nei sudėtinių kamštienos kompozicijų (4 lentelė). Tik iš EVA arba iš EVA ir rišiklio sudarytų plokščių atveju, jų vandens absorbcijos vertės yra artimos apžvelgtiems sudėtiniais kamštienos kompozitams.

Vandens absorbcijos bandymą atlikus su kamštinės plokštės bandiniais paaiškėjo, kad jų vandens sugertis siekia 1800 g/m^2 . Taigi, komerciniam kamščiui artimiausiomis drėgmės absorbavimo savybėmis pasižymi kompozitas, kuriame EVA ir buko atliekų santykis lygus 2:3, papildytas PA (1876 g/m^2). Šios plokštės vandens absorbcijos vertė artima ir vieniems iš kartono bandinių – tai paaiškėjo ištyrus dviejų tipų kartoną – „Bartoli“ kartono bandinių vandens absorbcija lygi 1984 g/m^2 , „Texon“ kartono – 720 g/m^2 . „Texon“ kartonui artimiausias kompozitas EVA:bukas = 3:2 + PA, o neaustinei medžiagai (1456 g/m^2) – EVA:bukas = 3:2.

Siekiant įvertinti suformuotų kompozitų hidrofobiškumą/hidrofiliskumą, atliktas drėkinimo bandymas, kurio metu buvo matuojami sąlyčio kampai θ . Šis kampas susidaro tarp tiriamo bandinio paviršiaus ir lašelio paviršiaus liestinės trijų fazių (kietojo kūno, skysčio ir dujų) susikirtimo taške (žr. 23 pav.).



23 pav. Kompozitų paviršiaus ir vandens lašelio sąlyčio kampas: a) EVA:bukas = 0:100 + PA ($\theta = 54,6^\circ$), b) EVA:bukas = 100:0 + PA ($\theta = 112,9^\circ$)

Galima aiškiai pastebėti, kad vandens lašeliui palietus iš buko ir PA rišiklio sudarytą kompozitą, skystis greitai pasklinda ant jo paviršiaus, o tai rodo medžiagos hidrofiliskumą (žr. 23 pav. a). EVA ir PA rišiklio atveju (žr. 23 pav. b) matomas priešingas reiškinys – ant šio paviršiaus susiformavęs sferinis lašelis, kurio sąlyčio kampas yra $112,9^\circ$. Taigi, galima teigti, jog šis kompozitas pasižymi hidrofobinėmis savybėmis.

Darbo metu suformuotų kompozitų paviršiaus drėkinimo kampai kito nuo $48,7^\circ$ iki $112,9^\circ$ (11 lentelė). Kampų matavimo metu paviršiaus nevilgymo reiškinys ($\theta > 90^\circ$) buvo pastebėtas tiriant tik iš EVA atliekų sudarytą kompozitą. Kitų kompozitų atveju vyko dalinis drėkinimas – $0 < \theta < 90^\circ$.

11 lentelė. Kompozitų paviršiaus drėkinimo kampai

Kompozito pavadinimas	Drėkinimo kampas, °
EVA:bukas = 100:0	96,5
EVA:bukas = 100:0 + PA	112,9
EVA:bukas = 3:2	82,0
EVA:bukas = 3:2 + PA	86,1
EVA:bukas = 2:3	54,6
EVA:bukas = 2:3 + PA	57,4
EVA:bukas = 0:100 + PA	48,7

Lentelėje pateikti rezultatai atskleidžia, kad drėkinimo kampo vertė mažėja didėjant buko kiekiui kompozite – medienos kiekiui išaugus penktadaliu, kampo vertė sumažėja maždaug 35 %. Tą galima

paaikinti hidrofiline medienos prigimtimi. Riiklio įvedimas taip pat daro įtaką kompozito drėkinimui – kampo vertės išauga vidutiniškai maždaug 11 %.

3.8. Suformuotų kompozitų apdirbimo galimybė

Siekiant patikrinti galimybes gautus kompozitus apdoroti moderniais medienos apdirbimo įrankiais, buvo atlikti plokštės frezavimo ir šlifavimo bandymai. Gautos frezuotos įklotės vaizdas pateiktas 24 paveikslėlyje.



24 pav. Frezavimo būdu apdirbtas kompozitas

Pastebėta, jog iš kompozito lengvai išgaunama norima forma, plokštė, ją apdirbant, neskyla ir netrupa. Gauti rezultatai patvirtina darbo metu suformuotų kompozitų tinkamumą apdorojimui frezavimo, šlifavimo įranga ir avalynės detalėms, tokioms kaip įklotės, vidpadžiai, formuoti.

4. Ekonominė dalis

Aplinkai draugiškesnio gyvenimo būdo taisyklės taikyti asmeniniame gyvenime dažniausiai nėra itin sudėtinga, tačiau žvelgiant į pasaulio pramonę, galima pastebėti, kad primant tiek ekonominiu, tiek ekologiniu požiūriu palankius, su atliekų tvarkymu susijusius sprendimus, neretai kyla sunkumų. Siekiant įvertinti gamybos atliekų panaudojimo poveikį avalynės apačios detalių kainai, bus apskaičiuota darbo metu sukurtų kompozitinių plokščių savikaina.

9 - ajame verslo apskaitos standarte teigiama, jog prekės savikainą sudaro tiesioginės ir netiesioginės gamybos išlaidos. Netiesioginėmis vadinamos tokios išlaidos, kurios nėra priskiriamos konkrečiam gaminiui, pavyzdžiui, pagalbinių medžiagų (tokių, kurios yra naudojamos gamybos metu, bet į gaminio sudėtį neįeina) įsigijimas, įrenginių nusidėvėjimas, gamybos patalpų šildymas bei apšvietimas. Tiesioginės išlaidos apima produkcijos gamybą – žaliavas, gamyboje dirbančių asmenų darbo užmokestį, įrengimų naudojamus energetinius resursus [71]. Šiuo atveju bus vertinamos vienam gaminiui, tai yra, kompozitų formavimui tenkančios išlaidos, todėl netiesioginės, su įmonės išlaikymu, valdymu ir pardavimais susijusios išlaidos nebus įtraukiamos. Taigi, darbo metu suformuotos vienos kompozitinės plokštės savikaina S_K bus apskaičiuojama pagal 14 formulę:

$$S_K = I_Z + I_E + I_A, \quad (14)$$

čia: I_Z – išlaidos žaliavoms (Eur), I_E – išlaidos energijai (Eur), I_A – išlaidos atlyginimams (Eur).

280 × 140 mm dydžio kompozitinėms plokštėms pagaminti reikiamų EVA ir buko atliekų kiekis svyravo nuo 0 g iki 100 g, o kompozito surišimui naudojamo PA masė siekė 20 g. Kadangi visos šios medžiagos yra gamybos procesų atliekos, jų kaina nekinta priklausomai nuo kiekio, taigi, $I_Z = 0$ Eur.

Kompozitams gaminti buvo reikalingi du įrenginiai – atliekų džiovinimui skirta krosnelė ir plokščių formavimui naudotas presas. Bendras kompozitų gamybos metu suvartojamas elektros energijos kiekis priklauso nuo naudojamų įrenginių galios ir jų veikimo laiko. Akivaizdu, jog įrenginiai nebus nuolat naudojami pilnu pajėgumu, todėl įsivedamas teorinis variklių galingumo naudojimo koeficientas, kurio vertė paprastai siekia 0,6-0,8. Bendros išlaidos už elektros energiją I_E apskaičiuojamos pagal 15 formulę:

$$I_E = \Sigma (0,6 * K_E * G * T_1), \quad (15)$$

čia: 0,6 – variklių galingumo naudojimo koeficientas, K_E – elektros energijos kaina už kWh (0,24 Eur [72]), G – įrenginio galia (W), T_1 – įrenginio veikimo trukmė (val.).

Elektros energijos poreikio ir kainos suvestinė pateikiama 12 lentelėje. Bendros išlaidos už elektros energiją, suvartojamą vienos kompozitinės plokštės gamybos metu, lygios 0,48 Eur.

12 lentelė. Elektros energijos poreikis ir kaina vienos kompozitinės plokštės gamybai

Įrenginys	Galia, kW	Veikimo trukmė, val.	Suvalytos elektros energijos kaina, Eur
Džiovinimo krosnelė	1,2	0,13	0,02
Presas	26,9	0,12	0,46

Siekiant apskaičiuoti išlaidas tenkančias darbo užmokesčiui, reikia įvertinti darbuotojo indėlį į gamybos procesą. Asmuo turėtų ne tik prižiūrėti kompozitų formavimo procesą, bet ir atlikti tokias

operacijas, kaip atliekų svėrimas, jų maišymas, mišinio paskleidimas formoje. Remiantis šio darbo metu sukurtų kompozitų gamybos eiga galima teigti, kad šias užduotis darbuotojas atliktų per maždaug 5 min (0,08 val.). Sudėjus šį laiką ir atliekų džiovinimo bei presavimo trukmę, nevertinant to, kad kelios operacijos, tokios kaip atliekų svėrimas ir plokštės presavimas, gali vykti vienu metu, gaunama, jog bendras vienos kompozitinės plokštės gamybos ciklas siekia apie 0,33 val.

Statistika atskleidžia, kad detalių apdirbimo techniku dirbantis asmuo per mėnesį vidutiniškai uždirba maždaug 800 Eur [73] (neto) arba apytiksliai 4,76 Eur/val. (jei laikoma, jog per mėnesį dirbama 21 dieną po 8 val. per parą). Išlaidos atlyginimams I_A apskaičiuojamos pagal 16 formulę:

$$I_A = T_D * K_D, \quad (16)$$

čia: T_D – darbo trukmė (val.), K_D – valandinis darbo užmokestis (Eur/val.).

Apskaičiavus tris dedamąsias – išlaidas už žaliavas, energiją ir darbo užmokestį – paaiškėjo, jog vienos kompozitinės plokštės savikaina S_K yra lygi maždaug 2,05 Eur. Jei priimame, kad avalynės vidpadžiams formuoti yra naudojami standartiniai 100 × 300 mm dydžio ruošiniai, tuomet dviejų tokių plokščių kaina siektų 4,10 Eur.

Siekiant palyginti šią sumą su įmonėje egzistuojančiais gamybos įkainiais, bus apskaičiuota preliminari avalynės įdėklų poros savikaina. Įmonės įsigyjamų EVA plokščių vidutinė kaina yra 1,1 Eur/dm², taigi, du standartiniai įdėklų ruošiniai kainuoja apie 6,60 Eur.

Siekiant įvertinti, kokią dalį savikainos sudaro išlaidos už žaliavas, bus apskaičiuojama bendra avalynės įdėklų poros savikaina (14 formulė). 13 lentelėje pateikiama įmonėje įdėklų formavimo metu naudojama įranga, jų galia ir vykdomų operacijų trukmė (formuojant porą įdėklų). Įrenginių suvartojamos elektros energijos kaina apskaičiuota pagal 15 formulę. Bendros išlaidos už elektros energiją siekia 0,57 Eur.

13 lentelė. Įmonėje įdėklų formavimo metu atliekamos operacijos ir naudojama įranga

Operacija	Įrenginys	Galia, kW	Veikimo trukmė, val. (formuojant porą įdėklų)	Suvartojamos elektros energijos kaina, Eur
Ruošinių pritraukimas	Vakuuminis siurblys	4	0,1	0,06
Avalynės įdėklų drožimas	CNC frezavimo įranga	3	0,5	0,22
Generuojamų drožlių nusiurbimas	Atliekų siurblys	20	0,1	0,29

Skaičiuojant išlaidas tenkančias darbo užmokesčiui, prie bendros įdėklų formavimo trukmės – 0,7 val. – pridedamos papildomos 2 min, kurios skiriamos plokščių perkėlimui, ruošinių išėmimui. Bendras vienos poros įdėklų formavimo ciklas trunka apie 0,73 val. Atsižvelgiant į tai, išlaidos atlyginimams tuomet siekia 3,47 Eur (16 formulė).

Sudėjus išlaidas už žaliavas, suvartojamą elektros energiją ir darbo užmokestį, gaunama, jog bendra įmonei tenkanti įdėklų poros savikaina siekia 10,64 Eur. Galima pastebėti, kad kaštai už žaliavas sudaro apytiksliai 62 % visos savikainos. Įsigyjamas komercinės avalynės detalėms formuoti skirtas EVA plokštės pakeitus šio darbo metu suformuotais kompozitais, bendra vidpadžių poros savikaina galėtų sumažėti apytiksliai penktadaliu – iki maždaug 8,57 Eur.

Svarbu paminėti ir tai, jog šis sprendimas galėtų būti naudingas įmonei ne tik ekonominiu, bet ir aplinkosaugos, socialiniu požiūriu. Suomijos mokslininkų atliktas tyrimas rodo, jog pakartotinis ar perdirbtų medžiagų naudojimas gaminiuose yra patraukli savybė, o tai dažnai paskatina pirkėjus įsigyti produktą [74]. Taigi, pakartotinis susidariusių atliekų panaudojimas įmonėje gaminamoms avalynės detalėms lemtų ne tik sumažėjusį poveikį aplinkai, bet ir geresnį įvaizdį tarp vartotojų.

Išvados

1. Šiame darbe avalynės detalių iš etileno vinilo acetato kopolimero (EVA) putplasčio ir buko medienos ruošinių frezavimo metu susidariusios atliekos buvo panaudotos naujo kompozito, galinčio pakeisti įprastai naudojamas avalynės įdėklų ar vidpadžių medžiagas, kūrimui. Ištyrus šių atliekų santykio įtaką kompozitų savybėms galima teigti, jog komerciniam kamščiui artimiausiomis stipruminėms ir drėgmės absorbcijos savybėmis pasižymi kompozitas, kuriame EVA ir buko atliekų santykis lygus 2:3.
2. Atlikta diferencinė skenuojamosios kalorimetrijos, termogravimetrinė ir skenuojančio elektroninio mikroskopo (SEM) suformuotų kompozito bei jo komponentų analizė atkleidė, jog dėl aukštai temperatūrai jautrios medienos struktūros, kompozito formavimo temperatūra negali viršyti 200 °C. Atsižvelgiant į tai, buvo parinkti optimalūs kompozitinių plokščių formavimo parametrai: spaudimo jėga – 134 kN, trukmė – 7 min, temperatūra – 165 °C.
3. Sąveikai tarp EVA ir buko medienos pagerinti buvo naudojamos selektyvaus sukepinimo lazeriu proceso metu susidariusios poliamido (PA) miltelių atliekos. Gauti SEM vaizdai parodė, jog suformuotame kompozite PA nepasiekė klampiatakės būsenos, tačiau formavimo metu buvo pasiekta temperatūra, kai PA įgauna elastišką būseną, kurios dėka tarp EVA, buko ir PA dalelių gauta pakankamai gera sąveika. Teigiamą rišiklio įvedimo įtaką kompozito mechaninėms savybėms patvirtino atlikti bandymai – kai PA kiekis kompozicijoje siekė 17 %, bandinių stipris tempiant ir lenkiant išaugo apie 80 %.
4. Sukurtų kompozitų SEM analizė atkleidė gerą tarpfazinę sąveiką EVA ir buko medienos dalelių skiriamąjoje riboje. Atliekų kompozitų sudėties įtakos jo struktūrai, fizikinėms ir mechaninėms savybėms analizės rezultatai parodė, kad medienos atliekų kiekiui padidėjus 20 %, kompozito ištįsios trūkimo metu vertė sumažėja maždaug 45 %. Kompozito bandinių vandens absorbcijos kiekis tiesiogiai priklauso nuo jame esančio medienos kiekio – penktadaliu išaugęs buko kiekis lemia vidutiniškai 40 % didesnę vandens sugertį.
5. Atlikti skaičiavimai atkleidė, kad komercinės avalynės detalėms formuoti skirtas EVA plokštes pakeitus šio darbo metu suformuotais naujais kompozitais, įdėklų poros savikainą būtų galima sumažinti maždaug 20 %.

Literatūros sąrašas

1. EUROSTAT. *Generation of waste by waste category, hazardousness and NACE Rev. 2 activity*. Interneto puslapis. Prieiga per: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_wasgen/default/table?lang=en. [žiūrėta 2022-09-05].
2. EUROSTAT. *Waste Statistics*. Interneto puslapis. Prieiga per: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics&oldid=551198#Total_waste_generation. [žiūrėta 2022-09-05].
3. FEI Y., ZHAOJU W., JIAYI W., YIYAO L., RUIDAN C., YIZHI P., JIE M. Effect of landfill age on the physical and chemical characteristics of waste plastics/microplastics in a waste landfill sites. *Environmental Pollution*. Interaktyvus. t. 306 (2022), 199366. ISSN 0269-7491. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749122005802>. [žiūrėta 2022-09-05].
4. ZHIQIANG F., SHUMIN L., HEZHONG T., YAN H., BOBO W., SHUHAN L., LINING L., XIAOXUAN B., ZHIHUI G., YUNQIAN L. A comprehensive emission inventory of hazardous air pollutants from municipal solid waste incineration in China. *Science of The Total Environment* [interaktyvus]. Interaktyvus. t. 826 (2022), 154212. ISSN 0048-9697. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722013043>. [žiūrėta 2022-09-05].
5. MONTEIRO, H., RIBEIRO, I., GONÇALVES, M., ITEN, M., CAETANO, N.S. Life cycle energy and carbon analysis of a road-safety barrier produced using recycled tire rubber. *Energy Reports*. Interaktyvus. t. 8 (2022), nr. 3, pp. 270-276. ISSN 2352-4847. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484722000385#!>. [žiūrėta 2022-09-05].
6. AKTER, M. M. K., HAQ, U. N., ISLAM, M. M., UDDIN, M. A. Textile-apparel manufacturing and material waste management in the circular economy: A conceptual model to achieve sustainable development goal (SDG) 12 for Bangladesh. *Cleaner Environmental Systems*. Interaktyvus. t. 4 (2022), 100070. ISSN 2666-7894. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666789422000010#bib47>. [žiūrėta 2022-09-05].
7. WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. *Our Common Future* Interaktyvus. Oxford: Oxford University Press, 1987. Prieiga per: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>. [žiūrėta 2022-09-06].
8. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTERIJA. *Darbotvarkė 21: subalansuotos plėtros programa, Rio deklaracija: apie aplinką ir plėtrą, miškininkystės principai*. Interaktyvus. 2001. Prieiga per: <https://am.lrv.lt/uploads/am/documents/files/%C5%A0ESD%20apskaitos%20ir%20kt%20ataskaitos/Agenda21.pdf>. [žiūrėta 2022-09-06].
9. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. *A Sustainable Europe for a Better World: A European Union Strategy for Sustainable Development*. Interaktyvus. 2001 Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52001DC0264&from=BG>. [žiūrėta 2022-09-06].
10. UN GENERAL ASSEMBLY. *Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Interaktyvus. 2015, A/RES/70/1. Prieiga per: <https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html>. [žiūrėta 2022-09-06].

11. BONNEDAHL, K. J., HEIKKURINEN, P., PAAVOLA, J. Strongly sustainable development goals: Overcoming distances constraining responsible action. *Environmental Science and Policy*. Interaktyvus. t. 129 (2022), pp. 150-158. ISSN 1462-9011. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901122000107>. [žiūrėta 2022-09-06].
12. KLAIPĖDOS VALSTYBINĖ KOLEGIJA. *Darnaus vystymosi tikslai*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://www.kvk.lt/wp-content/uploads/2021/07/paveikslelis.jpg>. [žiūrėta 2022-09-06].
13. EUROPEAN COMMISSION. *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*. Interaktyvus. 2015 m. gruodžio 2 d. Nr. COM(2015) 614. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>. [žiūrėta 2022-09-06].
14. NOBRE, G. C., TAVARES, E. The quest for a circular economy final definition: A scientific perspective. *Journal of Cleaner Production*. Interaktyvus. t. 314 (2022), 127973. ISSN 0959-6526. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621021910#bib47>. [žiūrėta 2022-09-06].
15. EUROPEAN COMMISSION. *A European Green Deal*. Internetinis puslapis. Prieiga per: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en. [žiūrėta 2022-09-07].
16. LIETUVOS RESPUBLIKOS ŽEMĖS ŪKIO MINISTERIJA. *Žalioji kursas*. Internetinis puslapis. Prieiga per: <https://zum.lrv.lt/lt/zalioji-kurasas>. [žiūrėta 2022-09-10].
17. ROWAN, N. J., POGUE, R. Editorial overview: Green new deal era — Current challenges and emerging opportunities for developing sustaining and disruptive innovation. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. Interaktyvus. t. 22 (2021), 100294. ISSN 2468-5844. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468584421000660>. [žiūrėta 2022-09-10].
18. COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. *The 8th Environment Action Programme - Turning the Trends Together - Council conclusions*. Interaktyvus. 2019-10-04, Nr. 12795. Prieiga per: <https://www.consilium.europa.eu/media/40927/st12795-2019.pdf>. [žiūrėta 2022-09-18].
19. EUROPOS VADOVŲ TARYBA. *Taryba priėmė 8-ąją aplinkosaugos veiksmų programą*. Internetinis puslapis. Prieiga per: <https://www.consilium.europa.eu/lt/press/press-releases/2022/03/29/council-adopts-8th-environmental-action-programme/>. [žiūrėta 2022-09-19].
20. EUROPOS KOMISIJA. *Nauja Europos pramonės strategija*. Interaktyvus. 2020-03-10, Nr. 102. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0102&from=EN>. [žiūrėta 2022-09-19].
21. EUROPOS KOMISIJA. *Atsparumo, susijusio su svarbiausiomis žaliavomis, didinimas. Kaip siekti didesnio saugumo ir tvarumo?* Interaktyvus. 2020-09-03, Nr. 474. Prieiga per: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>. [žiūrėta 2022-09-19].
22. EUROPEAN RAW MATERIALS ALLIANCE. *About us*. Internetinis puslapis. Prieiga per: <https://erma.eu/about-us/>. [žiūrėta 2022-09-19].
23. EUROPEAN COMMISSION. *European Raw Materials Alliance*. Internetinis puslapis. Prieiga per: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-raw-materials-alliance_en. [žiūrėta 2022-09-20].

24. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Lietuvos Respublikos atliekų tvarkymo įstatymas: 1998 m. birželio 16 d. Nr. VIII-787*. Interaktyvus. Nauja redakcija nuo 2003-01-01 Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.59267/asr>. [žiūrėta 2022-09-18].
25. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. *Dėl nacionalinės darnaus vystymosi strategijos patvirtinimo ir įgyvendinimo*. Interaktyvus. 2003-09-11, Nr. 89-4029 Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.217644/WPqyZkDuCy>. [žiūrėta 2022-09-22].
26. LIETUVOS RESPUBLIKOS SEIMAS. *Atliekų tvarkymo taisyklės: 1999 m. liepos 14 d. Nr. 217* Interaktyvus. 1999-07-21, Nr. 63-2065 Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.84302>. [žiūrėta 2022-09-22].
27. LIETUVOS RESPUBLIKOS APLINKOS MINISTRO ĮSAKYMAS. *Dėl valstybinės atliekų prevencijos programos patvirtinimo*. Interaktyvus. 2013-10-30, Nr. 113-5663 Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.458655?jfwid=32wf8x2q>. [žiūrėta 2022-09-22].
28. LIETUVOS RESPUBLIKOS VYRIAUSYBĖ. *Dėl Lietuvos Respublikos Vyriausybės nutarimo projekto „Dėl valstybinio atliekų prevencijos ir tvarkymo 2021-2027 metų plano“ projekto derinimo*. Interaktyvus. Reg. Nr.: 21-24949 Prieiga per: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAP/5784c061b79511ebb83ad5fbec9dd554?positionInSearchResults=6&searchModelUUID=962247f9-e4d3-4bd6-b3e5-5026c904fc16>. [žiūrėta 2022-09-22].
29. SMITH, P. *Global footwear market - statistics & facts*. Statista [interaktyvus]. 2022 [žiūrėta 2022-09-21]. Prieiga per: <https://www.statista.com/topics/4571/global-footwear-market/>
30. MUTHU, S. S. The environmental impact of footwear and footwear materials. IŠ: *Handbook of Footwear Design and Manufacture* [interaktyvus]. Woodland, 2013, p. 266-279 [žiūrėta 2022-09-21]. ISBN 9780857095398. Prieiga per: doi: <https://doi.org/10.1533/9780857098795.3.266>
31. THE LONDON ORTHOTIC CONSULTANCY. *Foot Scanning*. Interneto puslapis. Prieiga per: <https://www.londonorthotics.co.uk/orthotics/foot-orthotics/insole-manufacture-technology/>. [žiūrėta 2022-09-25].
32. AMAZONAWS. *Prefab1*. Interneto šaltinis. Prieiga per: https://s3.amazonaws.com/HMP/hmp_in/imported/photos/pt11prefab1.jpg. [žiūrėta 2022-09-23].
33. SCHNEIDER, C., LANGER, R., LOVEDAY, R., HAIR, D., Applications of ethylene vinyl acetate copolymers (EVA) in drug delivery systems. *Journal of Controlled Release*. Interaktyvus. t. 262 (2017), pp. 284-295. ISSN 0168-3659. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016836591730771X>. [žiūrėta 2022-09-23].
34. CHANDA, M., ROY, S. K. *Industrial Polymers, Specialty Polymers, and Their Applications* Interaktyvus. CRC Press, 2008. ISBN: 9780429140631. Prieiga per: https://www.researchgate.net/publication/329319663_Industrial_Polymers_Specialty_Polymers_and_Their_Applications. [žiūrėta 2022-09-22].
35. ELGADY, Ibrahim Younis. *Recycling of EVA Foam Waste as A Constituent of Lightweight Concrete Mixture for Construction Application*. Daktaro disertacija. Interaktyvus. Sudanas: Sudan University of Science and Technology College of Graduate Studies, 2018. Prieiga per: <http://repository.sustech.edu/handle/123456789/20656>. [žiūrėta 2022-09-22].
36. *Structure of Ethylene-vinyl acetate*. Interaktyvus. In: Wikipedia. Wikimedia foundation. Prieiga per: https://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene-vinyl_acetate#/media/File:Ethylenvinylacetat.svg. [žiūrėta 2022-09-23].

37. LIU, T., ZHAO, B., ZHANG, J. Recent development of repairable, malleable and recyclable thermosetting polymers through dynamic transesterification. *Polymer*. Interaktyvus. t. 194 (2020), 122392. ISSN 0032-3861. Prieiga per: ScienceDirect, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386120302299?casa_token=1XGUlxGLPqIAAAAA:b4orjK1Dkqv91FRu9CFtB4UeuPBgonEkr-1nJPXJkDFiU7BWHB3oOPupkOjJGWHUWVVQd_aOa24. [žiūrėta 2022-09-23].
38. PICKERING, S. J. Recycling technologies for thermoset composite materials – current status. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. Interaktyvus. t. 37 (2020), nr. 8, pp. 1206-1215. ISSN 1359-835X. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359835X05002101?via%3Dihub>. [žiūrėta 2022-09-23].
39. BUJAK, J. W. Thermal utilization (treatment) of plastic waste. *Energy*. Interaktyvus. t. 90 (2015), nr. 2, pp. 1468-1477. ISSN 0360-5442. Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544215008622?via%3Dihub>. [žiūrėta 2022-09-25].
40. RAGAERT, K., DELVA, L., VAN GEEM, K. Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management*. Interaktyvus. t. 69 (2017), pp. 24-58 Prieiga per: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X17305354?via%3Dihub>. [žiūrėta 2022-09-25].
41. NIKE INTERNATIONAL LTD. *EVA recycling method*. Int. Cl: C08J11/04. JAV patentas. US13/605577. 2012-09-06. Prieiga per: <https://patents.google.com/patent/US9074061B2/en>.
42. PAIVA JUNIOR, C. Z., SANTANA PERUCHI, R., DE CARVALHO FIM, F., DE OVILEIRA SILVA SOARES, W., BALBINO DE SILVA, L. Performance of ethylene vinyl acetate waste (EVA-w) when incorporated into expanded EVA foam for footwear. *Journal of Cleaner Production*. Interaktyvus. t. 317 (2021), 128352. ISSN 0959-6526. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262102566X>. [žiūrėta 2022-09-25].
43. GREGOROVA, V., LEDEREROVA, M., STEFUNKOVA, Z. Investigation of Influence of Recycled Plastics from Cable, Ethylene Vinyl Acetate and Polystyrene Waste on Lightweight Concrete Properties. *Procedia Engineering*. Interaktyvus. t. 195 (2017), pp. 127-133. ISSN 1877-7058. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817320866>. [žiūrėta 2022-09-25].
44. HONG, Z., YAN, K., WANG, M., YOU, L., GE, D. Low-density polyethylene/ethylene-vinyl acetate compound modified asphalt: Optimal preparation process and high-temperature rheological properties. *Construction and Building Materials*. Interaktyvus. t. 314 (2022), 125688. ISSN 0950-0618. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095006182103422X>. [žiūrėta 2022-09-26].
45. BERGER, F., GAUVIN, F., BROUWERS, H. J. H. The recycling potential of wood waste into wood-wool/cement composite. *Construction and Building Materials*. Interaktyvus. t. 260 (2020), 119786. ISSN 0950-0618. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061820317918#b0005>. [žiūrėta 2022-10-06].
46. GIORGIA, F., BOLDRIN, A., ASTRUP, T. Resource quality of wood waste: The importance of physical and chemical impurities in wood waste for recycling. *Waste Management*. Interaktyvus. t. 87 (2019), pp. 135-147. ISSN 0956-053X. Prieiga per: ScienceDirect,

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X19300765#b0250>. [žiūrēta 2022-10-06].
47. UEMURA SILVA, V. , NASCIMENTO, M. F., OLIVEIRA, P. R., HALLAK PANZERA, T., REZENDE, M. O. ir kiti. Circular vs. linear economy of building materials: A case study for particleboards made of recycled wood and biopolymer vs. conventional particleboards. *Construction and Building Materials*. Interaktyvus. t. 285 (2021), 122906. ISSN 0950-0618. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061821006668#b0100>. [žiūrēta 2022-10-09].
 48. LIU, J., LI, Y., MO, H., XIE, E., FANG, J., GAN, W. Current utilization of waste biomass as filler for wood adhesives: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Interaktyvus. t. 115 (2022), pp. 48-61. ISSN 1226-086X. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X22004427>. [žiūrēta 2022-10-09].
 49. TASCIOGLU, C., UMEMURA, K., YOSHIMURA, T. Seventh-year durability evaluation of zinc borate incorporated wood-plastic composites and particleboard. *Composites Part B: Engineering*. Interaktyvus. t. 137 (2017), pp. 123-128. ISSN 1359-8368. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359836816332656?via%3Dihub>. [žiūrēta 2022-10-09].
 50. EZZAHRAE, M. F., NACER. A., LATIFA, E., ABDELLAH, Z., MOHAMED, I., MUSTAPHA, J. Thermal and mechanical properties of a high-density polyethylene (HDPE) composite reinforced with wood flour. *Journal of Industrial and Materials Today: Proceedings*. Interaktyvus. (2022). ISSN 1359-8368. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322055821>. [žiūrēta 2022-10-11].
 51. WANG, B., QI, Z. et al. Preparation and mechanism of lightweight wood fiber/poly(lactic acid) composites. *International Journal of Biological Macromolecules*. . Interaktyvus. t. 217 (2022), pp. 792-802. ISSN 0141-8130. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813022015331>. [žiūrēta 2022-10-11].
 52. HUANG, Y., LU, L. et al. Eco-friendly wood-plastic composites from laminate sanding dust and waste poly(propylene) food pails. *Waste Management*. Interaktyvus. t. 149 (2022), pp. 96-104. ISSN 0956-053X. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X22003142#!>. [žiūrēta 2022-10-11].
 53. KAZEMI, Y., CLOUTIER, A., RODRIGUE, D. Design analysis of three-layered structural composites based on post-consumer recycled plastics and wood residues. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. Interaktyvus. t. 53 (2013), pp. 1-9. ISSN 1359-835X. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X13001620?via%3Dihub>. [žiūrēta 2022-10-11].
 54. PHIRI, M. J., PHIRI, M. M., MPITSO, K., HLANGOTHI, S. P. Curing, thermal and mechanical properties of waste tyre derived reclaimed rubber–wood flour composites. *Materials Today Communications*. Interaktyvus. t. 25 (2020), 101204. ISSN 2352-4928. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352492820311375?via%3Dihub>. [žiūrēta 2022-10-11].
 55. ZHAO, J., WANG, X M., CHANG, J. M., CUI, Q. Sound insulation property of wood–waste tire rubber composite. *Composites Science and Technology*. Interaktyvus. t. 70 (2010), pp. 2033-

2038. ISSN 0266-3538. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266353810001284?via%3Dihub>. [žiūrėta 2022-10-11].
56. AYRILMIS, N., BUYUKSARI, U., AVCI, E. Utilization of waste tire rubber in manufacture of oriented strandboard. *Waste Management*. Interaktyvus. t. 29 (2009), pp. 2553-2557. ISSN 0956-053X. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X09002104?via%3Dihub>. [žiūrėta 2022-10-11].
57. SARGIANIS, J., et al. Natural Cork Agglomerate Employed as an Environmentally Friendly Solution for Quiet Sandwich Composites. *Scientific Reports*. Interaktyvus. t. 2 (2012), nr. 403. ISSN 2045-2322. Prieiga per: ReseachGate, https://www.researchgate.net/publication/224934169_Natural_Cork_Agglomerate_Employed_as_an_Environmentally_Friendly_Solution_for_Quiet_Sandwich_Composites. [žiūrėta 2022-10-11].
58. FOOTCORK. *Reinventing Fashion and Comfort for the Footwear Industry*. Internetinis puslapis. Prieiga per: <http://www.amorim-sealtex.com/amorim/UploadFiles/2013924153757520.pdf>. [žiūrėta 2022-10-13].
59. FOOTCORK. *Reinventing Footwear*. Internetinis puslapis. Prieiga per: https://amorimcorkcomposites.com/media/2940/brochure-footwear_en_digital.pdf. [žiūrėta 2022-10-20].
60. XIAOYAN, L., LIU, R., LONG, L., LIU, B., XU, J. Tensile behavior and water absorption of innovative composites from natural cork granules and bamboo particles. *Composite Structures*. Interaktyvus. t. 258 (2021), 113376. ISSN 0263-8223. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S026382232033302X?via%3Dihub>. [žiūrėta 2022-10-13].
61. MARQUES, B., TADEU, A., ANTONIO, J., ALMEIDA, J., DE BRITO, J. Mechanical, thermal and acoustic behaviour of polymer-based composite materials produced with rice husk and expanded cork by-products. *Construction and Building Materials*. Interaktyvus. t. 239 (2020), 117851. ISSN 0950-0618. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819333045?via%3Dihub>. [žiūrėta 2022-10-13].
62. TRIFELDAITĖ, G., ŽUKIENĖ, K., KAZLAUSKIENĖ, I. Ortopedinėje avalynėje naudojamų medžiagų energijos savybių vertinimas. *Pramonės inžinerija – 2018: jaunujų mokslininkų konferencija, 2018 m. gegužės 10 d. : pranešimų medžiaga*. Interaktyvus. 2018, pp. 80-85. Prieiga per: <https://vb.ktu.edu/permalink/f/1slhar4/ELABAPDB29806589>. [žiūrėta 2022-10-15].
63. THE WOOD DATABASE. *European Beech*. Internetinis puslapis. Prieiga per: <https://www.wood-database.com/european-beech/>. [žiūrėta 2022-10-15].
64. EOS. *Polyamide 12 Nylon*. Internetinis puslapis. Prieiga per: <https://www.eos.info/en/additive-manufacturing/3d-printing-plastic/sls-polymermaterials/polyamide-pa-12-alumide>. [žiūrėta 2022-10-15].
65. LIETUVOS STANDARTIZACIJOS DEPARTAMENTAS. LST EN ISO 22649:2016, *Avalynė. Vidpadžių ir įkločių bandymo metodai. Vandens absorbcija ir desorbcija (ISO 22649:2016) = Footwear – test methods for insoles and insocks – Water absorbtion and desobtion: Europos*

- standartas EN ISO 22649:2016 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2016.
66. INTERNATIONAL STANDART. ISO 18454:2018(E), *Footwear – Standart atmosheres for conditioning and testing of footwear and components for footwear*, 2018.
67. STARK, W., JAUNICH, M., BOHMEYER, W., LARGE, K. Investigation of the crosslinking behaviour of ethylene vinyl acetate (EVA) for solar cell encapsulation by rheology and ultrasound. *Polymer Testing*. Interaktyvus. t. 31 (2012), p. 904-908. ISSN 0142-9418. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142941812001249> [žiūrėta 2022-10-20].
68. BRYN, A., BRYN, J., OSTROWSKA-LIGEZA, E., KALETA, A., GORNICKI, K. ir kiti. Wood biomass characterization by DSC or FT-IR spectroscopy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Interaktyvus. t. 126 (2016), p. 27-35. ISSN 1588-2926. Prieiga per: SpringerLink, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-016-5713-2>. [žiūrėta 2022-10-20].
69. TARRIO-SAAVEDRA, J., NAYA, S., FRANCISCO-FERNANDEZ, M., LOPEZ-BECEIRO, J., ARTIAGA, R. Functional nonparametric classification of wood species from thermal data. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. Interaktyvus. t. 104 (2010), p. 87-100. ISSN 1588-2926. Prieiga per: AKJournals, <https://akjournals.com/view/journals/10973/104/1/article-p87.xml>. [žiūrėta 2022-10-20].
70. VILARDELL, A. M., YADROITSAVA, I., et al. Laser powder bed fusion of polyamide-composite for antibacterial applications: Characterization and properties. *Materials Today Communications*. Interaktyvus. t. 31 (2022), 103727. ISSN 2352-4928. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492822005888>. [žiūrėta 2022-10-22].
71. LIETUVOS RESPUBLIKOS FINANSŲ MINISTERIJA. *Dėl 9-ojo verslo apskaitos standarto „atsargos“ patvirtinimo*. Interaktyvus. Reg. Nr.: 2018-04414. Prieiga per: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/f74bf5c02cea11e88ea9fc46d2024961>. [žiūrėta 2022-11-03].
72. IGNITIS. *Visuomeninio tiekėjo elektros planai*. Internetinis puslapis. Prieiga per: <https://ignitis.lt/lt/elektros-kainos>. [žiūrėta 2022-11-03].
73. CV-Online. *Medienos apdirbimo technikas*. Internetinis puslapis. Prieiga per: <https://www.manoalga.lt/atlyginimu-informacija/medienos-apdirbimo-pramone/medienos-apdirbimo-technikas?search=1>. [žiūrėta 2022-11-03].
74. RUOKAMO, E., RÄISÄNEN, M., KAUPPI, S. Consumer preferences for recycled plastics: Observations from a citizen survey. *Journal of Cleaner Production*. Interaktyvus. t. 379 (2022), n. 2, 103727. ISSN 0959-6526. Prieiga per: ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622042925>. [žiūrėta 2022-11-05].