



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Augalinio pluošto kompozito gamyba ir savybių tyrimas**  
Baigiamasis magistro projektas

---

**Miglė Žievytė**  
Projekto autorė

**Doc. Vaida Jonaitienė**  
Vadovė

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

**Augalinio pluošto kompozito gamyba ir savybių tyrimas**  
Baigiamasis magistro projektas  
Gamybos inžinerija (6211EX015)

---

**Miglė Žievytė**  
Projekto autorė

**Doc. Vaida Jonaitienė**  
Vadovė

**Doc. Saulius Baskutis**  
Recenzentas

---

**Kaunas, 2022**



**Kauno technologijos universitetas**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

Miglė Žievytė

**Augalinio pluošto kompozito gamyba ir savybių tyrimas**

Akademinio sąžiningumo deklaracija

Patvirtinu, kad:

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

Miglė Žievytė

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



Kaunas technologijos universitetas  
Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

## Baigiamojo magistro projekto užduotis

Studentui (-ei) – Miglei Žievytei

### 1. Projekto tema –

Augalinio pluošto kompozito gamyba ir savybių tyrimas

*(Lietuviškai)*

The Manufacturing and Research of Properties of Plant Fiber Composite

*(Angliškai)*

### 2. Projekto tikslas ir uždaviniai –

Tikslas: Suformuoti augalinio pluošto kompozitą ir ištirti struktūros įtaką mechaninėms savybėms.  
Uždaviniai:

1. pagaminti skirtingos sudėties kompozitines medžiagas, žaliavoms panaudojant atliekas iš gamybos įmonių;
2. sukurtiems kompozitams atlikti tempimo ir deginimo bandymus;
3. įvertinti kompozitinės medžiagos socialinius ir ekonominius rodiklius.

### 3. Pradiniai projekto duomenys –

Netaikoma

### 4. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos –

Kanapių pluoštai, tempimo įrenginys „Tinius Olsen–H10KT, laminavimo įrenginys Gottfried Joos LAP 40 (Vokietija)

Projekto autorė

Miglė Žievytė

2021-10-04

*(Vardas, Pavardė)*

*(Parašas)*

*(Data)*

Vadovė

Vaida Jonaitienė

2021-10-04

*(Vardas, Pavardė)*

*(Parašas)*

*(Data)*

Krypties studijų  
programų vadovė

Regita Bendikienė

2021-10-04

*(Vardas, Pavardė)*

*(Parašas)*

*(Data)*

Miglė Žievytė. Augalinio pluošto kompozito gamyba ir savybių tyrimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovė doc. Vaida Jonaitienė; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas.

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

Reikšminiai žodžiai: kompozitinė medžiaga, kanapės pluoštas, polietilenas, polipropilenas, mechaninės savybės.

Kaunas, 2022. 45 p.

### **Santrauka**

Su kompozitinėmis medžiagomis mes susiduriame kiekvieną dieną, nors to galime ir nepastebėti, todėl darbe trumpai pristatoma, kas yra kompozitas, kokiomis savybėmis jis pasižymi. Taip pat aptarti augaliniai pluoštai, naudojami kaip armuojanti medžiaga, ir šiame darbe panaudotas kanapių pluoštas, apžvelgti ir polimerai, naudoti matricai sudaryti. Be to, teorinėje dalyje aptarti penki populiariausi kompozitų gamybos būdai naudojami įvairiose pramonės šakose. Gamybos ir tyrimų metodikos skyriuje pristatomos žaliavos, gautos iš įvairių gamybinių įmonių kaip atliekos. Čia jos paruošiamos tolesniam naudojimui, pagaminami sudėtiniai kompozitinės medžiagos komponentai. Toliau nuosekliai aprašyta kompozito gamybos eiga, bei tempimo ir deginimo bandymai, atlikti pagamintiems keturiems kompozitams. Atlikus pirmąjį – tempimo – bandymą, įvertinama kokią įtaką gaminio stiprumui turi skirtingos kanapių pluoštų padėtyse: tarpusavyje lyginamos išilgai, skersai ir 45° kampo orientacijos. Toliau analizuojamos kompozitinės medžiagos, turinčios tas pačias matricas, bet skirtingus armuojančius pluoštus. Tam įvertinti atlikti tuščių polimerinių matricų lakštų tempimo bandymai, kurie palyginami su anksčiau minėtais tempimo bandymais pagamintiems polimerų ir kanapių pluoštų kompozitams. Galiausiai atliktas socialinis ir ekonominis gaminių vertinimas. Jo metu apskaičiuota kompozitinių medžiagų gamybinė savikaina ir atlikta SSGG analizė, kurios metu įvertintos kompozitinės medžiagos stiprybės, silpnybės, galimybės bei grėsmės.

Miglė Žievytė. The Manufacturing and Research of Properties of Plant Fiber Composite. Master's Final Degree Project / supervisor assoc. prof. Vaida Jonaitienė; 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: composite material, hemp fibre, polyethylene, polypropilene, mechanical properties.

Kaunas, 2022. Number of pages 45 p.

### **Summary**

We come into contact with composite materials every day, even though we may not realise it, so this paper gives a brief introduction to what a composite is and what its properties are. Plant fibres used as reinforcement material and hemp fibre used in this work are also discussed, as well as an overview of the polymers used to form the matrix. In addition, the theoretical part discusses the five most popular composite manufacturing techniques used in various industries. The production and research methodology section presents the raw materials obtained as waste from various manufacturing companies. Here they are prepared for further use and composite material components are produced. The composite manufacturing process is then described in a step-by-step manner, as well as the tensile and combustion tests carried out on the four produced composites. The first tensile test evaluates the effect on the strength of the product of the different positions of the hemp fibres in the specimens: longitudinal, transverse and 45° orientations are compared with each other. Composite materials with the same matrices but different reinforcing fibres are further analysed. To assess this, tensile tests have been carried out on blank sheets of polymer matrices, which are compared with the tensile tests carried out on the above-mentioned polymer and hemp fibre composites. Finally, a socio-economic evaluation of the products was carried out. This includes the calculation of the cost of production of the composite materials and a SWOT analysis which assesses the strengths, weaknesses, opportunities and threats of the composite material.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Santrumpų sąrašas .....</b>	<b>11</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>12</b>
<b>1. Kompozitinės medžiagos trumpai.....</b>	<b>13</b>
<b>2. Armuojantys augaliniai pluoštai.....</b>	<b>14</b>
2.1. Kanapės .....	15
<b>3. Polimerinės matricos.....</b>	<b>18</b>
3.1. Polipropilenas .....	18
3.2. Polietilenas .....	19
<b>4. Kompozitų gamybos būdai.....</b>	<b>21</b>
<b>5. Gamybos ir tyrimų metodika .....</b>	<b>24</b>
5.1. Gamybai naudojamos žaliavos ir įranga.....	24
5.2. Bandymų metodika.....	26
5.2.1. Tempimo bandymas .....	26
5.2.2. Deginimo bandymas.....	27
<b>6. Gamybos ir tyrimų rezultatai.....</b>	<b>28</b>
6.1. Pagaminti kompozitai.....	28
6.2. Mechaninių savybių tyrimų rezultatai .....	28
6.2.1. Tempimo bandymas .....	28
6.2.2. Deginimo bandymas.....	36
<b>7. Ekonominis ir socialinis kompozitinių medžiagų vertinimas.....</b>	<b>39</b>
7.1. Kompozitinės medžiagos gamybos savikaina .....	39
7.2. SSGG analizė.....	41
<b>Išvados .....</b>	<b>42</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>43</b>

## Lentelių sąrašas

1 lentelė. Kanapės pluošto cheminė sudėtis [13].....	16
2 lentelė. Natūralių pluoštų apdirbimo būdai ir jų poveikis [16] [17] [18] .....	17
3 lentelė. Polipropileno savybės [24], [25].....	19
4 lentelė. HDPE ir LDPE savybės [28], [29],.....	20
5 lentelė. Kompozito gamybai naudotos žaliavos .....	24
6 lentelė. Pagamintų kompozitinių medžiagų sudėtis .....	28
7 lentelė. Kompozitinių medžiagų tempimo bandymo rezultatai.....	31
8 lentelė. PE lakštų bandinių tempimo bandymo rezultatai .....	33
9 lentelė. PP lakštų bandinių tempimo bandymo rezultatai.....	33
10 lentelė. Deginimo bandymo rezultatai.....	38
11 lentelė. Kompozito gamybos kainai apskaičiuoti reikalingi duomenys .....	40
12 lentelė. Kompozito gamybos tiesioginės išlaidos.....	40



## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Kompozito struktūra [6] .....	13
<b>2 pav.</b> Armuojančių augalinių pluoštų išsidėstymas kompozite: a) chaotiškas; b) orientuotas; c) sluoksniais [5].....	13
<b>3 pav.</b> Natūralių pluoštų klasifikacija [7].....	14
<b>4 pav.</b> Stiebo sandara [8].....	15
<b>5 pav.</b> Kanapės pluošto gijos struktūra [14].....	16
<b>6 pav.</b> Polimero klasifikacija pagal struktūrą; a) linijinė; b) šakota; c) tinklinė [20].....	18
<b>7 pav.</b> Polipropileno polimerizacija [25].....	19
<b>8 pav.</b> PP plastiko simbolis [26].....	19
<b>9 pav.</b> PE sintezė: a) dvigubos jungties nutraukimas; b) grandinės augimas [27].....	20
<b>10 pav.</b> HDPE linijinė struktūra ir LDPE šakota struktūra [28] .....	20
<b>11 pav.</b> PE plastikų simboliai [26] .....	20
<b>12 pav.</b> Liejimo Procesas [31].....	21
<b>13 pav.</b> Ekstruzinis presavimas [31] .....	22
<b>14 pav.</b> Kompozito laminavimo schema [31] .....	22
<b>15 pav.</b> Pultruzijos schema [31] .....	23
<b>16 pav.</b> Auginimo technologija [31] .....	23
<b>17 pav.</b> Kompozito gamybai naudotos žaliavos: a) K1; b) K2; c) PP; d) PE .....	24
<b>18 pav.</b> Šukuotas kanapių pluoštas: a) K1; b) K2 .....	25
<b>19 pav.</b> Gittfried Joos: a) laminavimo įrenginys; b) nustatyti ir tikrieji parametrai .....	25
<b>20 pav.</b> Matricos lakštai: a) PE; b) PP .....	25
<b>21 pav.</b> Tinius Olsen - H10KT įrenginys .....	26
<b>22 pav.</b> Pagaminti bandiniai, kuriuose pluoštas orientuotas: a) išilgai bandinio; b) skersai bandinio; c) 45° kampu.....	26
<b>23 pav.</b> Nutrūkęs bandinys tempimo įrenginyje .....	27
<b>24 pav.</b> Kompozito gamyba: a) matricos lakštas uždėtas ant kepimo popieriaus; b) ant matricos lakšto paskirstytas pluoštas; c) ant pluošto uždėtas antrasis matricos lakštas; d) ant viršutinio matricos lakšto uždėtas kepimo popierius ir ruošinys įlaminuojamas .....	28
<b>25 pav.</b> KM1 bandinių pailgėjimo priklausomybių nuo veikiančių jėgų rezultatai su skirtingomis pluoštų orientacijomis .....	29
<b>26 pav.</b> KM2 bandinių pailgėjimo priklausomybių nuo veikiančių jėgų rezultatai su skirtingomis pluoštų orientacijomis .....	30
<b>27 pav.</b> KM3 bandinių pailgėjimo priklausomybių nuo veikiančių jėgų rezultatai su skirtingomis pluoštų orientacijomis .....	30
<b>28 pav.</b> KM4 bandinių pailgėjimo priklausomybių nuo veikiančių jėgų rezultatai su skirtingomis pluoštų orientacijomis .....	31
<b>29 pav.</b> PE bandinių be pluošto pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų tempimo bandymo metu .....	32
<b>30 pav.</b> PP bandinių be pluošto pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų tempimo bandymo metu .....	32
<b>31 pav.</b> KM1 bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų .....	34
<b>32 pav.</b> KM3 bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų .....	34
<b>33 pav.</b> PP lakštų bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų.....	35
<b>34 pav.</b> KM2 bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų .....	35

<b>35 pav.</b> KM2 bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų .....	36
<b>36 pav.</b> PE bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų .....	36
<b>37 pav.</b> Deginimo bandymo atlikimo schema.....	37
<b>38 pav.</b> Kompozito SSGG analizė .....	41

## Santrumpų sąrašas

Lot. – lotyniškas pavadinimas

PP – polipropilenas

PE – polietilenas

HDPE – didelio tankio polietilenas

LDPE – mažo tankio polietilenas

Vnt. - vienetai

K1 – kanapių pluoštas 1

K2 – kanapių pluoštas 2, žiemą laikytas lauke

KM1 – kompozitinė medžiaga 1, pagaminta naudojant kanapių pluoštą 1 ir polipropileną

KM2 – kompozitinė medžiaga 2, pagaminta naudojant kanapių pluoštą 1 ir polietileną

KM3 – kompozitinė medžiaga 3, pagaminta naudojant kanapių pluoštą 2 ir polipropileną

KM4 – kompozitinė medžiaga 4, pagaminta naudojant kanapių pluoštą 2 ir polietileną

## Išvadas

Kasmet didėjant gyventojų populiacijai neišvengiamai plečiasi miestai ir verslai, todėl daugėja ir išmetamų šiukšlių kiekis. Nors kasmet atsiranda vis daugiau skatinimų ar net ribojimų, aprašančių atliekų tvarkymą, vis dar didžioji dalis jų nusėda sąvartynuose. Pastebėjus, jog jų plotai tik didėja, o šiukšlės nesuyra ir niekur nedingsta, nuo 1990-ųjų imta kreipti daugiau dėmesio į atliekų perdirbimą: 1990 metais perdirbamų atliekų buvo 29040000 tonų, o 2018 šis kiekis padidėjo daugiau nei 2 kartus – 69090000 tonų [1]. Perdirbimo procesas ypatingai svarbus įvairiems plastikams, nes natūralus plastiko suirimo procesas gali užtrukti ne vieną dešimtmetį, o pastaruoju metu, ypač užklupus COVID-19 pandemijai, kiekvienuose namuose plastiko atliekų žymiai padaugėjo, nes norint išlaikyti antibakterines sąlygas, produkcija pakuojama į apsaugines taras. Kiekvieną dieną tokio plastiko išmetama apie 1,6 milijono tonų ir apytiksliai 3,4 milijardo vienkartinį apsauginių veido kaukių [2].

Norint šį ir kitus išmetamus plastikus prikelti kitam gyvenimui, prieš tai reiktų atrinkti tinkamas plastiko rūšis, nes tik termoplastikus galima kelis kartus išlydyti ir vėl naudoti gamybai, tačiau net ir jie po kelių perlydymų pradeda silpnėti ir praranda savo mechanines savybes [3]. Šiai problemai išspręsti galima rinktis iš dviejų variantų: lydant plastiką pridėti dalį naujai susintetinto polimero, arba armuojančio pluošto – taip pagaminant kompozitinę medžiagą. Nuo armuojančio pluošto rūšies priklauso kiek bus sustiprintos kompozito mechaninės savybės: vienoks pluoštas gali tik atkurti plastiko parametrus, kitas gali daug kartų pralenkti žaliavinės medžiagos savybes. Armuojančio pluošto parinkimui įtaką gali daryti ne tik tikslinės medžiagos savybės, bet ir kaina, kuris gaminiuose yra vienas iš svarbių dedamųjų elementų. Armuojančio pluošto kainai daugiausiai įtakos daro jo kilmė – sintetiniams gaminiams ji yra brangesnė, nes išgauti reikalinga laboratorinė įranga ir specialios priemonės, o natūralūs pluoštai išgaunami pigiau, dažniausiai jie sutinkami mūsų supančioje aplinkoje. Vieni iš pigiausių – augaliniai pluoštai, pavyzdžiui, Lietuvoje augantys linai arba kanapės, kurias užauginti nėra sudėtinga, o augimo ciklas gana trumpas [4].

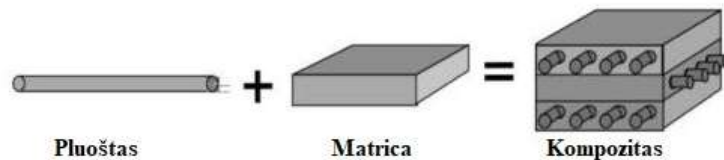
Kompozitinių medžiagų gamyba Lietuvoje dar nėra įsitvirtinusi, nes verslininkams dažnai pritrūksta žinių ar įrangos reikiamiems tyrimams atlikti, tad pagaminus augaliniu pluoštu armotą kompozitinę medžiagą ir patikrinus atsparumą tempimui bei degimui, galima būtų ne tik atverti naują nišą verslui, bet ir mažinti išmetamų šiukšlių kiekį, surinkus bei panaudojus plastiko ir pluoštų atliekas.

## 1. Kompozitinės medžiagos trumpai

Dažnai medžiagos ir jų rūšys apibūdinamos pagal savo cheminę sudėtį, todėl nėra lengva apibūdinti kas yra kompozitinė medžiaga (dažnai vadinama tiesiog kompozitu). Kompozitinė medžiaga pasižymi šiais bruožais:

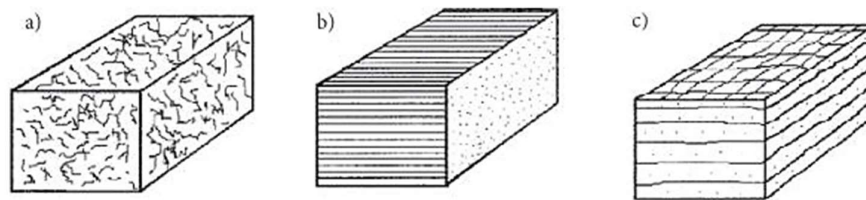
- suprojektuota sudėtimi, forma ir komponentų pasiskirstymu;
- sudaryta iš ne mažiau kaip dviejų komponentų, turinčių skirtingą cheminę sudėtį, bet netirpstančių viena kitoje;
- medžiagos savybės priklauso nuo abiejų sudėtinių komponentų;
- eksploatacinės savybės skiriasi nuo atskirų sudėtinių komponentų savybių [5].

Dažnu atveju kompozitinė medžiaga yra sudaryta iš dviejų sudedamųjų dalių: armuojančios medžiagos arba pluošto; matricos arba užpildo (žr. 1 pav.). Priklausomai nuo matricos ar armuojančios medžiagos, kompozitas gali būti klasifikuojamas į rūšis (polimerinis, metalinis, keramikinis, kanapių pluošto, džiuoto ir kt.).



1 pav. Kompozito struktūra [6]

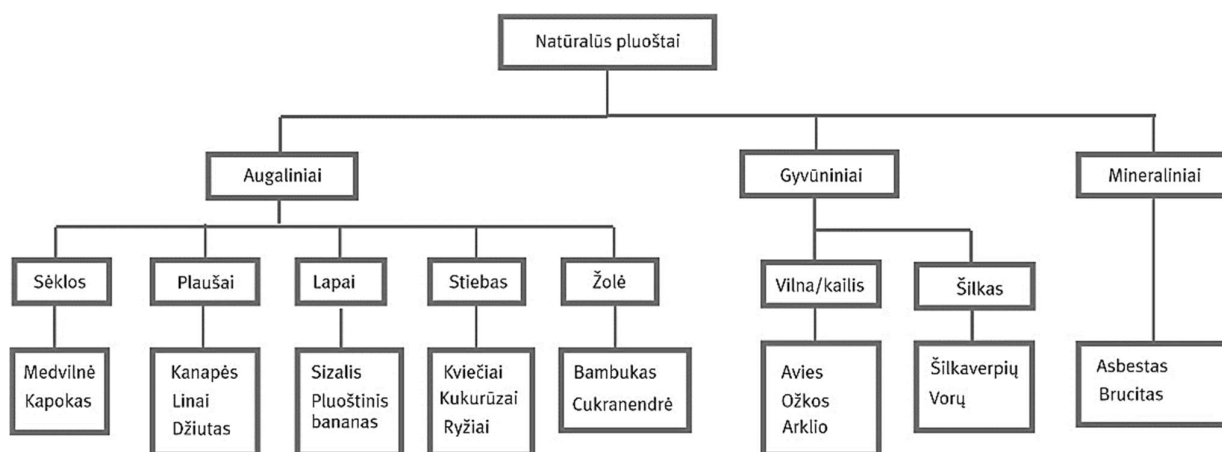
Tačiau klasifikavimas neapsiriboja sudėtinėmis kompozito medžiagomis. Klasifikacija taip pat gali būti skirstoma pagal: gamybos būdą, sandarą, užpildo formą ir kitas kategorijas. Kompozitams gaminti kaip armuojančią medžiagą naudojant augalinius pluoštus, intarpų išsidėstymas (žr. 2 pav.) dažnai lemia ir gamybos būdą, pvz.: chaotiškai išsidėstę pluoštai gaunami liejimo būdu, orientuotai išsidėstę – pultruzijos, sluoksniuotieji – presavimo būdu.



2 pav. Armuojančių augalinių pluoštų išsidėstymas kompozite: a) chaotiškas; b) orientuotas; c) sluoksniais [5]

## 2. Armuojantys augaliniai pluoštai

Ekologinei situacijai vis prastėjant imta ieškoti atsinaujinančių išteklių inžineriniams sprendimams, tad vis dažniau imta naudoti natūralius pluoštus, kurie kaip armuojančios medžiagos pradėjo keisti anglies, stiklo ar plastmasės pluoštus. Šiems pluoštams gauti dažniausiai nereikia įrenginėti specialių gamyklų ar laboratorijų, užtenka juos paimti iš gamtos. Natūralių pluoštų kategorijų yra daug ( žr. 3 pav.), tad priklausomai nuo gaminamo kompozito, galima pasirinkti tinkamiausiomis savybėmis pasižymintį.

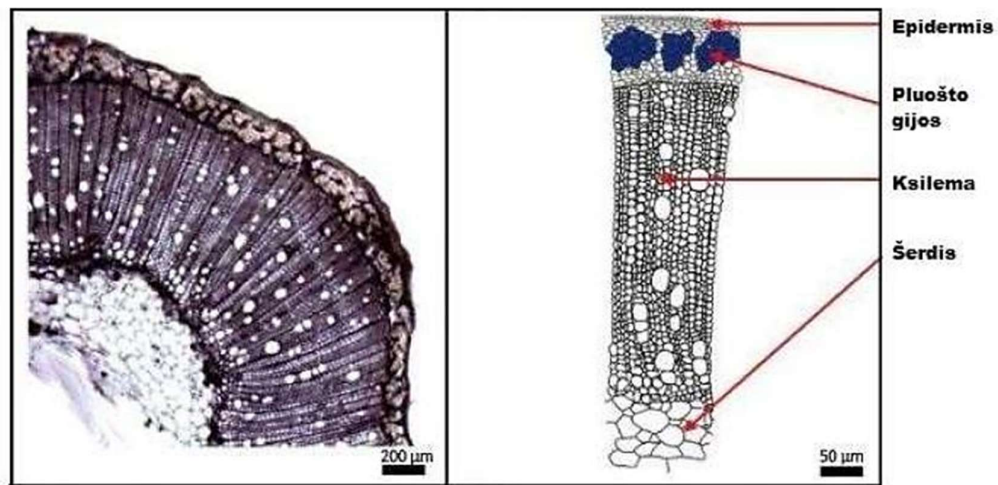


3 pav. Natūralių pluoštų klasifikacija [7]

Iš natūralių pluoštų, didžiausio dėmesio sulaukia augalinės kilmės. Jų augimo procesas gali užtrukti vos iki kelių mėnesių, todėl žaliava greitai atsinaujina, esant natūralioms sąlygoms arba sukuriant dirbtines, augalus galima auginti bet kuriame žemyne ar valstybėje, tad sutaupomos transportavimo išlaidos ir palaikomas nenutrūkstamas žaliavų tiekimas gamybai. Be ekonominių faktorių, šie natūralūs pluoštai pasižymi gera adhezija, kuri užtikrina pagamintos kompozitinės medžiagos tvirtumą [7].

Vieni iš dažniausiai naudojamų pluoštų – kanapės ir linai. Jie gaunami iš augalų stiebų išskiriant pluoštines gijas. Šios gijos yra augalo tvirtumo ir standumo šaltinis, todėl pasižymi puikomis mechaninėmis savybėmis. Augalo stiebo sandarą (žr. 4 pav.) sudaro:

- epidermio – atlieka apsauginę funkciją. Dar kitaip vadinamas tiesiog žieve;
- ksilema – minkštoji dalis, vyksta didžioji dalis apykaitos procesų;
- pluošto gijos – suteikia stiebui tvirtumo;
- šerdis – augalo centras, suteikia tvirtumo [8].



4 pav. Stiebo sandara [8]

## 2.1. Kanapės

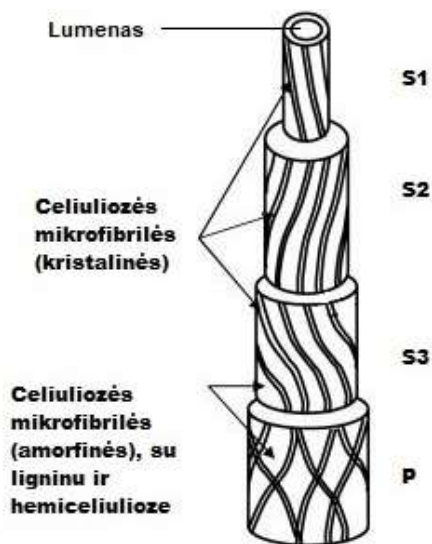
Pluoštinėmis kanapėmis (lot. *Cannabis Sativa*) Lietuvoje laikomos tokios, kurių sudėtyje yra randama mažiau kaip 0,2 % psichiką veikiančios medžiagos tetrahidrokanabinolio [9]. Pasaulyje ir Lietuvoje jos auginamos daugiau kaip 50000 metų, o pluoštas naudotas popieriaus, tekstilės gamybai, izoliacijai sudaryti. Ši paskirtis ne tik nepasikeitė, bet ir gerokai padidėjo, tačiau dažnai žmonės atbaido, o kai kuriuos atvirksčiai – traukia – kanapės pluošto audiniai, kadangi jie yra siejami su gimininga narkotine kanape [10]. Pluoštinę kanapę auginti ekonominiu požiūriu apsimoka ir todėl, jog visas augalas gali būti panaudojamas pramonėje: stiebas ir lapai – pluoštui; sėklos – maistui ir aliejui. Šis augalas geriausiai klesti 13–22 °C temperatūros aplinkoje, esant nedideliame drėgmes kiekiui. Augimo ciklas pakankamai trumpas (70–140 dienų), o nedidelis ligų poveikis lemia gausų derlių, kuriam užauginti prireikia nedidelių išlaidų. Nuėmus derlių, kanapes patariama išdžiovinti lauko sąlygomis ir toliau sandėliuoti pakankamai sausoje aplinkoje. Sandėliuojant kanapes natūraliai susidaro rūgštys, kurios apvalo augalą ir padeda natūraliai apdirbti prieš atskiriant pluoštą [4].

Kanapių pluoštas daugiausiai sudarytas iš celiuliozės, hemiceliuliozės ir lignino (detalesnė cheminė sudėtis pateikta 1 lentelėje). Pluošto gijų sancaupos yra išsidėsčiusios epidermyje, o iš vieno augalo galima išskirti apie 20–35 % pluošto, likusi augalo dalis gali būti panaudojama biokurui [4]. Išskirti šias gijas dažniausiai naudojamas pūdymas vandeniu arba apdorojimas fermentais. Drėgnuojant metus laikui išskirti gijas galima stiebą pūdant vandeniu, augalus paliekant tiesiog lauke. Toks procesas yra gana paprastas, nes jame naudojamas tik vanduo. Pūdant vanduo skverbiasi į stiebą, suardydama žievę ir persotindama augalą vandeniu. Natūralioje aplinkoje esančios bakterijos pradeda minkštųjų audinių (ksilemos) skaidymą. Šio proceso trūkumas – pūdant mikroorganizmai ar dėl nepakankamos priežiūros atsiradęs pelėsis gali pakenkti cheminei struktūrai ir susilpninti pluoštą. Norint išsaugoti geriausias pluošto savybes imta dažniau naudoti fermentinį pūdyimą (skaidymą). Jo metu naudojami baltymus tirpdantys cheminiai reagentai, mikroorganizmai ir fermentai. Tam, jog pluošto gijos būtų nepažeistos ir tinkamai atskirtos, šis procesas yra atidžiai prižiūrimas. Toliau kanapės gali būti apdorojamos ir mechaniškai – traiškomos – tai padeda lengviau išskirti gijas iš stiebo [11] [12].

**1 lentelė.** Kanapės pluošto cheminė sudėtis [13]

Chemini junginys	Dalis pluošte, %
Celiuliozė	55-90
Hemiceliuliozė	4-18
Ligninas	1-21
Pektinas	1-15
Vaškai	1-5
Drėgmė	10-40

Vidiniai išskirto pluošto sluoksniai (S1 ir S2) yra sudaryti iš celiuliozės mikrofibrilių, kurios išsidėsčiusios kristališkai, tai suteikia gijai tvirtumo. O išoriniai sluoksniai (S3 ir P) sudaryti iš kristalinės celiuliozės, o ligninas ir hemiceliuliozės išsidėsčiusios amorfiškai (žr. 5 pav.). Amorfinėje fazėje hidroksi- (-OH) grupės juda pakankamai laisvai tarp molekulių, reaguodamos su kitais cheminiais junginiais ar ore esančiomis vandens molekulėmis. Šioms prasiskverbusios į struktūrą drėgmė kaupiasi pluošte, dėl to pablogėja adhezinės savybės ir pluoštą sunkiau panaudoti gamyboje [14]. Apsisaugoti nuo šių nepageidaujamų reiškinių padeda ir specialus pluošto apdirbimas. Jo metu panaudojamos įvairios cheminės medžiagos ar mechaniniai procesai, sustiprinantys pluoštą ar kai kurias jo savybes. Populiariausias iš jų – šukavimas. Jo metu pluoštas yra šukuojamas specialiomis šukomis ir taip pašalinamos prikibusios apnašos ir ištiesinamos gijos. Šukuojant galima keisti šukas iš mažo, į didelio tankumo dantis turinčias šukas, taip gijos geriau atskiriamos ir išvengiama pluošto susiraižymo ar mazgų susidarymo. Toks apdirbimo būdas tinka ne tik kanapėms, bet ir kitiems pluoštams [15]. Kiti apdirbimo būdai pateikti 2 lentelėje.



**5 pav.** Kanapės pluošto gijos struktūra [14]



**2 lentelė.** Natūralių pluoštų apdirbimo būdai ir jų poveikis [16] [17] [18]

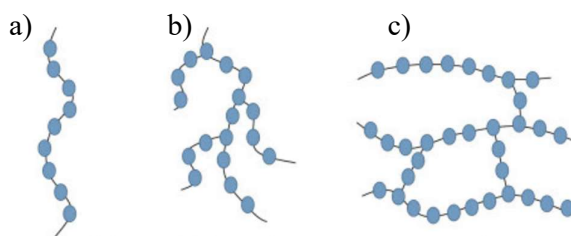
<b>Apdirbimas</b>	<b>Poveikis</b>
Merserizacija	Padidėja matricos ir pluošto adhezija, sumažintas vandens kiekis pluošte
Acetileninimas	Padidėja tempimo ir lenkimo jėgos
Fermentų poveikis	Sumažintas lignino kiekis
Propionilnimas	Sumažintas vandens kiekis,
Plazma	Padidėja hidrofobiškumas
Skystas amoniakas	Padidėja pluošto stiprumas, sumažėja adhezija
Skiepijimas nanomedžiagomis	Padidėjusi apsauga nuo UV spindulių ir adhezija su matrica
Balinimas	Išbalinama ruda pluošto spalva
Ultragarsas	Atskiria prikibusias apnašas
Natrio chloridas	Padidėja pluošto stiprumas ir atsparumas tempimui

Šie du celiuliozės pagrindo pluoštai yra paklausūs gamyboje ir todėl, jog natūrali jų kilmė gali paspartinti gaminio suirimą. Šiuo metu, kai ekologiniai faktoriai ypač svarbūs mūsų gamybos ir produktų eksploatavimo eigoje, linų ir kanapių pluoštams nereikia ypatingų sąlygų, jog prasidėtų ląstelių degradacija.

### 3. Polimerinės matricos

Polimeras – tai didelės molekulinės masės cheminis junginys, sudarytas iš vieno arba kelių molekulių (monomerų), pasikartojančių daug kartų. Polimero susidarymo procesas vadinamas polimerizacija. Polimerai klasifikuojami pagal:

- Kilmę: natūralūs – randami augaluose arba gyvūnuose; pusiau sintetiniai – cheminiu būdu sustiprinti natūralūs polimerai; sintetiniai – gauti sintezės būdu laboratorijose
- Struktūrą (žr. 6 pav.): linijinė – polimere monomerai išsidėstę nuoseklyje grandinėje. Tokie polimerai yra pakankamai tvirti, nes gana sunku suardyti ryšius tarp molekulių; šakota – nuo pagrindinės polimero grandinės šakomis išsidėsčiusios funkcinės grupės ( -OH, NH<sub>2</sub>, -COOH ir kt.); tinklinė – linijinių grandinių funkcinių grupių atšakos, susijungusios su kitomis linijinėmis grandinėmis [19]



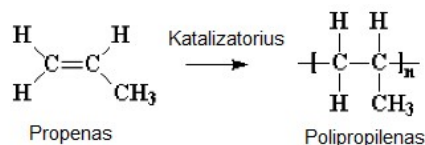
6 pav. Polimero klasifikacija pagal struktūrą; a) linijinė; b) šakota; c) tinklinė [20]

- Polimerizacijos būdą: adityvioji polimerizacija – grandinė susidaro prisijungimo reakcijos metu, t. y., tokie patys monomerai jungiasi į vieną ilgą grandinę. Šios polimerizacijos metu nesudaro jokių naujų komponentų; kondensacinė polimerizacija – kondensavimosi metu, dvi molekulės susijungia į vieną komponentą ir atskyla šalutinis produktas.
- Terminės savybės: elastomerai – plastiko struktūroje esančios tinklinės grandys, suteikia polimerui elastinių savybių, t. y., silpnai apkrovus plastiką, jis deformuojasi, tačiau apkrovai dingus, sugrįžta į pirminę formą; termoplastikai – linijinės struktūros plastikai, kurių formą galima keisti daug kartų, juos kaitinant, tačiau nekeičiant cheminės sudėties; termoaktyvieji polimerai – tokie plastikai, kuriuos negrįžtamai sukietinti galima paveikus katalizatoriumi, aukštu slėgiu arba tinkama spinduliuote [19], [21], [22].

Kiekvienais metais didėja plastiko ir jo gaminių produkcijos mastai, kurie 2020 metais siekė per 367 milijonų tonų. Dėl ekologinių rodiklių, siekiama kuo daugiau plastiko pakartotinai perdirbti, kad kuo mažiau jų liktų dūlėti sąvartynuose [23].

#### 3.1. Polipropilenas

Polipropilenas (dar trumpinamas PP) yra sintetinis termoplastinis polimeras, gaunamas iš propileno CH<sub>3</sub>CH=CH<sub>2</sub> monomerų adityviosios katalizinės polimerizacijos būdu (žr. 7 pav.). Taip pat jį galima išgauti kaip pašalinį produktą aliejaus rafinavimo metu. Pirmą kartą susintetintas buvo 1954 metais ir nuo tada dėl savo universalumo ir žemos gamybos kainos yra vienas iš daugiausiai sunaudojamų plastikų pasaulyje, todėl jo gamyba nenutrūksta [24], [25].



7 pav. Polipropileno polimerizacija [25]

Gamybos metu nutrūkus vienam iš dvigubų ryšių, polipropilenas tampa mažiau reaktyvus, atsparesnis cheminei erozijai ir vandens absorbcijai, todėl pagamintas PP vėliau gali būti panaudojamos tolesniems gamybos ir perdirbimo etapams neprarasdamas savo savybių (savybės pateiktos 3 lentelėje). Proceso metu naudojamas Ziegler-Natta arba metaloceno katalizatorius.

3 lentelė. Polipropileno savybės [24], [25]

Savybė	Dydis	Matavimo vienetas
Cheminė formulė	$(\text{C}_3\text{H}_6)_n$	
Tankis	0,9-0,94	$\text{g/cm}^3$
Minkštėjimo taškas	140-150	$^{\circ}\text{C}$
Lydymosi taškas	160-166	$^{\circ}\text{C}$
Maksimali darbinė temperatūra	100-130	$^{\circ}\text{C}$
Vandens absorbcija per 24h	0,1	%
Stiprumo riba	21-40	MPa
Santykinis pailgėjimas	3-700	%

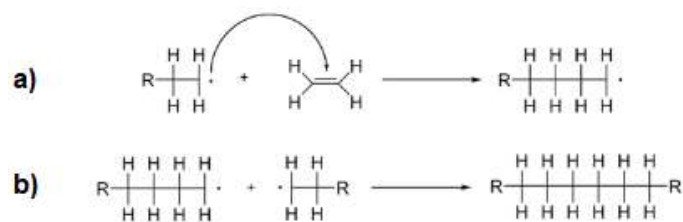
Pagamintas polipropilenas dažniausiai išliejamas balkšvų granulių, siūlų, lakštų arba įvairaus storio plėvelių pavidalu, kuriuos kompaktiška transportuoti. Toliau PP yra perlydomas gamybinėse įmonėse ir iš jo gaminami specifiniai daiktai, tokie kaip: automobilių detalės, žaislai, įrankiai, baldai, vamzdžiai, pakuotės ir kiti komponentai, priklausomai nuo gamintojo, kuriuos vėliau galima dar pakartotinai perdirbti. Ant gaminių, tinkamų perdirbimui, galima rasti simbolį 5 (žr. 8 pav.). Pamačius jį, pakuotę reikia mesti į rūšiavimui skirtą konteinerį, kitaip jie atsiduria šiukšlynuose, kur yra daugelį metų [26].



8 pav. PP plastiko simbolis [26]

### 3.2. Polietilenas

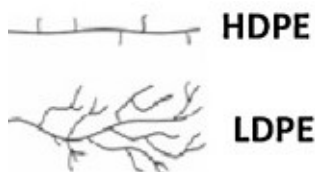
Polietilenas (PE) - vienas plačiausiai gaminamų termoplastikų pasaulyje, kurio cheminė formulė  $(\text{C}_2\text{H}_4)_n$ . Sintetinamas naudojant nesotųjį angliavandenilį eteną radikalinės polimerizacijos būdu, t. y. energijos įgavęs radikalas prisijungia iš eteno vieną vandenilį, taip nutraukiama dviguba jungtis ir gaunama atvira (10 pav. a) dvigubos jungties nutraukimas). Susitikus dviem laisvąją jungtį turintiems komponentams jie susijungia ir taip auga polietileno grandinė ( žr. 9 pav. b) grandinės augimas) [27].



9 pav. PE sintezė: a) dvigubos jungties nutraukimas; b) grandinės augimas [27]

Nuo to kaip susijungia polietileno grandinė yra išskiriamos kelios jo rūšys iš kurių plačiausiai žinomi LDPE ir HDPE. Šie du polimerai skiriasi savo grandinės struktūra – HDPE yra tvarkingos linijinės struktūros, kuri apie 70-80% išsidėsčiusi kristališkai, todėl pasižymi tvirtumu, o LDPE – šakotas, apie 40-50% kristalinės struktūros, kas suteikia plastikui daugiau plastiškumo (žr. 10 pav.) [28], [29]. Kitos HDPE ir LDPE savybės pateiktos 4 lentelėje.

PE rūšies plastikai yra be galo paklausūs gamyboje: iš HDPE gaminami vamzdžiai, buteliai, skalbimo priemonių pakuotės ir kt.; iš LDPE gaminami padėklai, plėvelės ar ploni maišeliai, laboratorinė įranga ir kiti gaminiai. Visi šie produktai būna pažymėti specialiu ženklu (žr. 11 pav.) ir gali būti perdirbami, tik kiekviena rūšis turi būti perdirbama atskirai [28].



10 pav. HDPE linijinė struktūra ir LDPE šakota struktūra [28]



11 pav. PE plastikų simboliai [26]

4 lentelė. HDPE ir LDPE savybės [28], [29],

Savybė	HDPE	LDPE	Matavimo vienetas
Cheminė formulė	$(C_2H_4)_n$		
Tankis	0,93-0,97	0,90-0,92	g/cm <sup>3</sup>
Minkštėjimo taškas	95	95	°C
Lydomosi taškas	130	115	°C
Maksimali darbinė temperatūra	85-90	85-90	°C
Vandens absorbcija per 24h	<0,01	<0,015	%
Stiprumo riba	30,5-33	32-60	MPa
Santykinis pailgėjimas	9-18	200-750	%

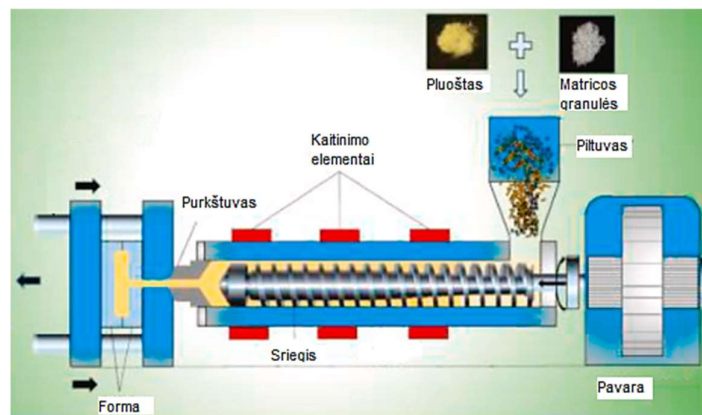
#### 4. Kompozitų gamybos būdai

Kompozito mechanines savybes neretai nulemia ir jo gamybos būdo parinkimas. Gamybos metu, kai kurie parametrai gali būti pakeičiami ir kontroliuojami, taip norint reguliuoti gaminio savybes. Ne visi gamybos metodai tinka skirtingiems kompozitams, prieš gamybą reiktų atsižvelgti į šiuos faktorius:

- Gaminio dydį;
- Formą;
- Kompozito pluošto orientaciją;
- Sudedamąsias dalis;
- Gamybos kainą ir kt. [30]

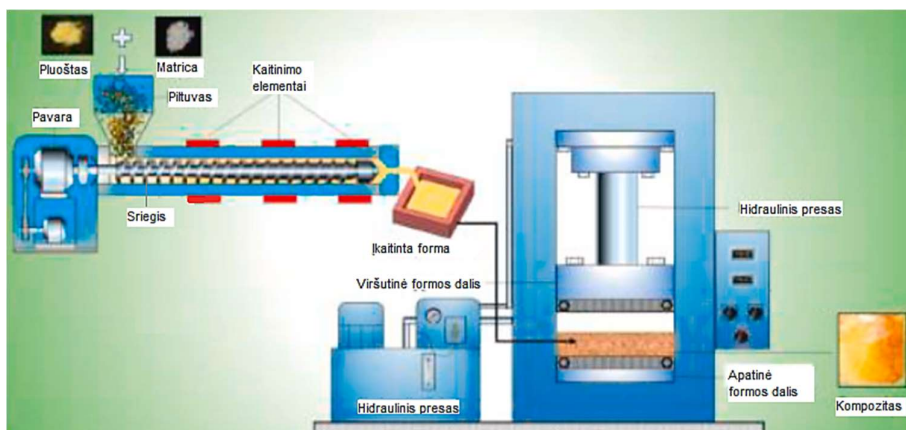
Dažniausiai naudojami gamybos būdai, tinkantys augaliniams kompozitams yra šie:

1. Liejimas. Šio proceso metu nustatyti kiekiai pluoštinės medžiagos ir matricos yra suberiami į tiekimo piltuvą, kur susimaišo. Sraigtinis elementas stumia medžiagas, o iš jo išorės išdėstyti kaitinimo elementai išlydo matricos granules. Šiame žingsnyje dvi medžiagos tampa homogeniniu mišiniu ir skystu pavidalu išpurškiami į parinktą formą. Po to forma atvėsinama ir kompozitą galima išimti. Liejimui naudojamas smulkintas pluoštas ir matricos granulės. Žr. 12 pav.



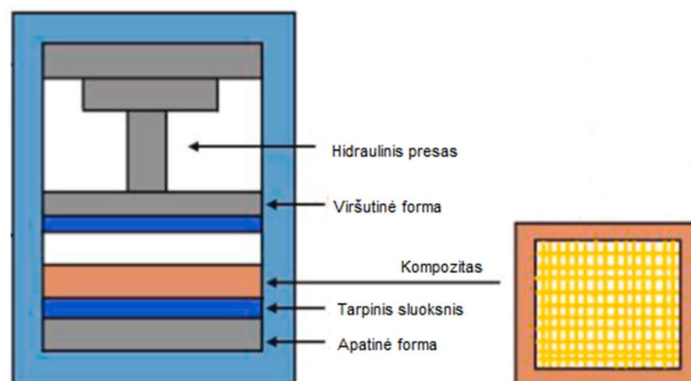
12 pav. Liejimo Procesas [31]

2. Ekstruzinis presavimas. Jį sudaro du žingsniai. Pirmasis yra labai panašus liejimui – pluoštas ir matrica sraigtinio elemento yra stumiami kaitinamu vamzdžiu, kur virsta homogeniniu mišiniu. Antrame žingsnyje paruoštas mišinys yra išpilamas į pakaitintą formą ir hidraulinio preso pagalba iš dviejų pusių suspaudžiamas, tuomet atvėsinamas ir išimamas iš formos. Žr. 13 pav.



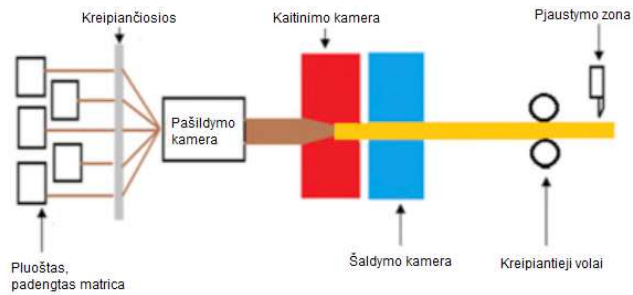
13 pav. Ekstruzinis presavimas [31]

3. Karštas presavimas arba laminavimas. Šio gamybos proceso metu matrica naudojama lakštų arba plėvelių pavidalu, kurie padedami išorinėse formos dalyse. Tarp matricos įdedamas armuojanti medžiaga, kuri taip pat gali būti dedama lakšto pavidalu, arba kaip palaidas pluoštas. Tarp gaminamo kompozito ir preso dedamas tarpinis sluoksnis, kad besilydanti matrica nepriliptų. Hidraulinis presas pradeda spausti šias medžiagas, kaitinimo elementai sušyla iki matricos lydymosi temperatūros ir ji pradeda skverbtis į pluošto vidų taip užpildydama oro tarpus tarp gijų ir sulipindama jas tarpusavyje (žr. 14 pav.) Pagrindiniai šio gamybos būdo pranašumai: įranga užima mažiau vietos, švarus procesas, armuojantis pluoštas gali būti orientuotas pasirinktomis kryptimis, galima naudoti ilgas bet trumpas pluošto gijas. Laminavimo būdu pagaminti kompozitai, kartais dar vadinami „sumuštinio“ tipo.



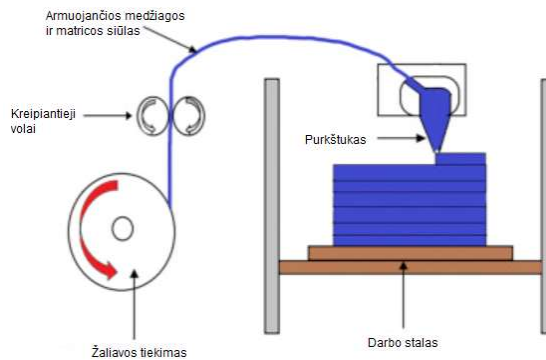
14 pav. Kompozito laminavimo schema [31]

4. Pultruzija. Jos metu naudojamas ilgas, iš anksto padengtas matrica pluoštas, kuris (žr. 15 pav.). Per specialias nukreipiančiąsias angas jis paduodamas į pašildymo kamerą, kurioje iš daug gijų sudaromas vienas elementas. Tuomet jis patenka į kaitinimo kamerą, kur matricai išsilydžius sudaromas vientisas kompozitas. Šaldymo kameroje gaminys atvėsinamas ir toliau volų pagalba tiekiamas nukreipiamas į pjaustymo zoną, kurioje kompozitas padalinamas į atitinkamo dydžio detales. Pultruzijos būdu daugiausiai gaminami ilgi, pastovių matmenų elementai (vamzdžiai, cilindrai, lakštai ir kt.). Viso proceso metu gaminys juda traukimo sistemos pagalbos būdu, esančios gamybos linijos pabaigoje.



15 pav. Pultruzijos schema [31]

5. Auginimo (arba pridedamoji) technologija (žr. 16 pav.). Vis daugiau susidomėjimo gamybos pramonėje sulaukiantis procesas, nes šis būdas naudojamas 3D spausdinimo technologijoje. Labiausiai paplitęs lydomojo nusodinimo metodas, nes juo galima naudoti kelių rūšių polimerines medžiagas (polilaktidas, polikaprolaktonas, ABS ir kitos). Auginimo arba spausdinimo metu siūlas, sudarytas iš armuojančios medžiagos ir matricos, tiekiamas į įkaitintą purkštuką, kur išlydyta medžiaga nusodinama ant jau prieš tai atspausdinto, sukietėjusio kompozito. Kol kompozitas yra išpurškiamas, jis yra įkaitęs taip, jog liečiamame plote išlydo kietą apatinę dalį. Taip atvėšę du sluoksniai tvirtai sukimba tarpusavyje ir spausdinimas vyksta toliau, sluoksnis po sluoksnio viršun [31].



16 pav. Auginimo technologija [31]

## 5. Gamybos ir tyrimų metodika

### 5.1. Gamybai naudojamos žaliavos ir įranga

Kompozitams pagaminti buvo naudojami du skirtingi kanapių pluoštai ir du polimerai. Jie pateikti 5 lentelėje ir 17 paveiksle:

5 lentelė. Kompozito gamybai naudotos žaliavos

Žaliavos	Trumpinys	Komentaras	Išvaizda	Žymėjimas paveiksle
Kanapių pluoštas 1	K1		Šviesiai rudas, trumpų, storų gijų pluoštas	a)
Kanapių pluoštas 2	K2	Per žiemą pluoštas paliktas lauke	Pilkšvai rudas, ilgų, plonų gijų pluoštas	b)
Polipropilenas	PP	Atliekos iš siūlų gamyklos	Įvairių spalvų	c)
Polietilenas	PE		Juodos spalvos	d)

Naudojamas polipropilenas yra gautas iš siūlų gamybos įmonės – tai sulužę, per ploni, per stori, arba kitaip brokuoti siūlų ričių gabalėliai, kurie buvo susmulkinti į granules.



17 pav. Kompozito gamybai naudotos žaliavos: a) K1; b) K2; c) PP; d) PE

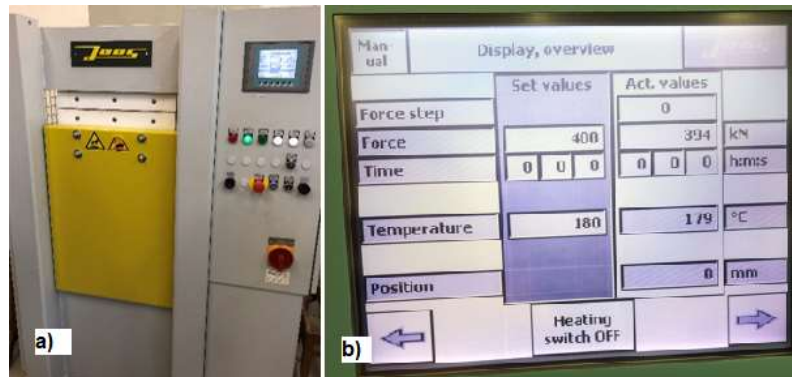
Žaliaviniai kanapių pluoštai gamybai nėra tinkami, tad juos apdoroti parinktas mechaninis apdirbimo būdas – šukavimas. Jo metu šukų pagalba iš pluošto pašalintos priemaišos, o gijos orientuotos viena kryptimi, kas vėliau leis pluoštą efektyviau panaudoti gamyboje. Šukuotas pluoštas pateiktas 18 paveiksle.





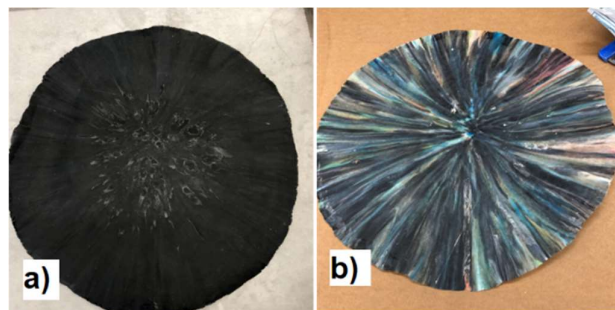
18 pav. Šukuotas kanapių pluoštas: a) K1; b) K2

Kompozitui pagaminti naudota Gottfried Joos įrenginys (žr. 19 pav. a) ), kurioje nustatyti parametrai (žr. 19 pav. b) ): 180 °C kaitinimo temperatūra; 400 kN presavimo jėga. Tikrieji išlaikomi parametrai 179 °C temperatūra ir 394 kN jėga. Kompozitas gamintas laminavimo būdu (procesas aprašytas 4 skyriuje). Kaip tarpinis nelipnus sluoksnis iš abiejų pusių dedamas kepimo popierius.



19 pav. Gittfried Joos: a) laminavimo įrenginys; b) nustatyti ir tikrieji parametrai

Kompozitų gamybai reikalinga turėti matricos plėvelę arba lakštą, todėl granulės laminavimo įrenginiu buvo išlydytos ir suspaustos, gautas vientisas lakštas (žr. 20 pav.). Kiekvieno plastiko pagaminta po 4 lakštus, nes vienam kompozitui pagaminti jie reikalingi du: vienas pluošto apačioje, kitas pluošto viršuje. Vienam lakštui pagaminti naudojama 20 g plastiko granulių.



20 pav. Matricos lakštai: a) PE; b) PP

## 5.2. Bandymų metodika

### 5.2.1. Tempimo bandymas

Tempimas yra vienas iš pagrindinių bandymų, kuriais nustatomos mechaninės medžiagos savybės, tokios kaip stiprumas, plastiškumas ar elastingumas. Tempimo bandymas buvo atliktas naudojant Tinius Olsen - H10KT įrenginį (žr. 21 pav.), kuris sujungtas su kompiuteriu ir jame matomi bandymo rezultatai. Tempimo charakteristikoms pamatuoti naudojamas 500 N tempimo jutiklis. Kiti nustatyti parametrai: tempimo greitis 25mm/min; atstumas tarp viršutinio ir apatinio griebtų 50 mm.



21 pav. Tinius Olsen - H10KT įrenginys

Tyrimui atlikti iš kiekvienos kompozitinės medžiagos pagaminta po 15 bandinių, trims skirtingomis pluošto kryptimis: 5 vnt. orientuoti išilgai bandinio; 5 vnt. skersai; 5vnt. 45° kampu (žr. 22 pav.). Taip pat pagaminta po 5 vnt. PP ir PE pavyzdžių be pluoštų intarpų. Bandinių išmatavimai: ilgis 105 mm; plotis 25 mm.



22 pav. Pagaminti bandiniai, kuriuose pluoštas orientuotas: a) išilgai bandinio; b) skersai bandinio; c) 45° kampu.

Kiekvienas bandinys įstatomas į griebtus ir tvirtai prispaudžiamas. Tuomet paleidžiamas tempimo įrenginys, kuris viršutinį griebtą kelia į viršų tol, kol jis nutrūksta (žr. 23 pav.). Proceso metu kompiuterio programinėje įrangoje brėžiama bandinio ilgio pokyčio  $\Delta l$  priklausomybė nuo

veikiančios jėgos F. Mėginiui nutrūkus griebtai sugrįžta į pirminę padėtį ir vienas egzempliorius pakeičiamas kitu, kol visi bandiniai patikrinami. Atlikus bandymus su viena grupe bandinių (vienoje grupėje yra 5 egzemplioriai), programinė įranga automatiškai suskaičiuoja maksimalios apkrovos, lūžio taško apkrovos ir santykinio pailgėjimo vidurkius.



23 pav. Nutrūkęs bandinys tempimo įrenginyje

Santykinis bandinio pailgėjimas ( $\epsilon$ ) % apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

kur:

$\Delta l$  – ilgio pokytis, mm;

$l_0$  – pradinis bandinio ilgis, mm.

### 5.2.2. Deginimo bandymas

Deginimo bandymo eiga:

1. Kompozito bandinys priartinamas prie ugnies šaltinio apie 5 mm atstumu.. Stebimas efektas: ar nuo karščio susiraito, ar lydosi.
2. Kompozitas įdedamas į liepsną. Pažymimas efektas: ar dega, ar lydosi laikomas ugnyje. Tuomet po truputį traukiamas iš liepsnos. Stebima, ar išnešus iš liepsnos kompozitas toliau dega, ar užgesta.
3. Jei pluoštas dega, liepsna užpučiama. Stebima ar nesimato rusenimo, pauostomi dūmai, įvertinami pelenai.

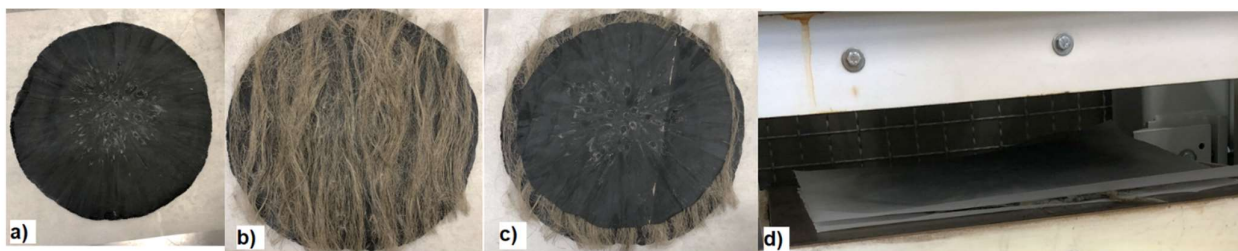
Gauti ir įvertinti efektai surašomi į duomenų lentelę [32].

Bandymui naudojami įrankiai: liepsnos šaltinis ir laikiklis.

## 6. Gamybos ir tyrimų rezultatai

### 6.1. Pagaminti kompozitai

Kompozitų gamybos metu, prese medžiagos išdėliotos taip: kepimo popierius, matricos lakštas, pluoštas, matricos lakštas, kepimo popierius. Šis ruošinys padėtas ant preso, sukepintas į vientisą darinį laminavimo įrenginyje spaudžiant ir kaitinant apie 10 sekundžių. Gamybos eiga pateikta 24 paveiksle. Sukepinus kompozitą, jis padedamas atvėsti ir prispaudžiamas metalo lakštu, tam, jog vėsdamas išliktų tiesus. Gaminiui atvėsus, nulupamas kepimo popierius.



**24 pav.** Kompozito gamyba: a) matricos lakštas uždėtas ant kepimo popieriaus; b) ant matricos lakšto paskirstytas pluoštas; c) ant pluošto uždėtas antrasis matricos lakštas; d) ant viršutinio matricos lakšto uždėtas kepimo popierius ir ruošinys įlaminuojamas

Analogišku būdu pagaminti 4 kompozitinės medžiagos, kurių sudėtis pateikta 6 lentelėje.

**6 lentelė.** Pagamintų kompozitinių medžiagų sudėtis

Kompozito numeris	Pluošto medžiaga	Pluošto masė, g	Matricos medžiaga	Matricos masė, g	Matricos ir pluošto santykis
1	Kanapės 1	5,32	PP	2x20g=40	0,88:0,12
2	Kanapės 1	4,85	PE	2x20g=40	0,89:0,11
3	Kanapės 2	5,4	PP	2x20g=40	0,88:0,12
4	Kanapės 2	4,43	PE	2x20g=40	0,90:0,10

### 6.2. Mechaninių savybių tyrimų rezultatai

#### 6.2.1. Tempimo bandymas

Po tempimo bandymo, iš kiekvieno pagaminto kompozito bandinių rezultatų, išrenkamas tas bandinys, kurio parametrai artimiausi apskaičiuotam visų grupės egzempliorių vidurkiui ir palyginami su analogiškai atrinktais kitais bandiniais (išskyrus tuščių polimerų bandinius). Kompozitinių medžiagų ir jų sudėtinųjų dalių charakteristikoms nustatyti buvo atlikti šie palyginimai:

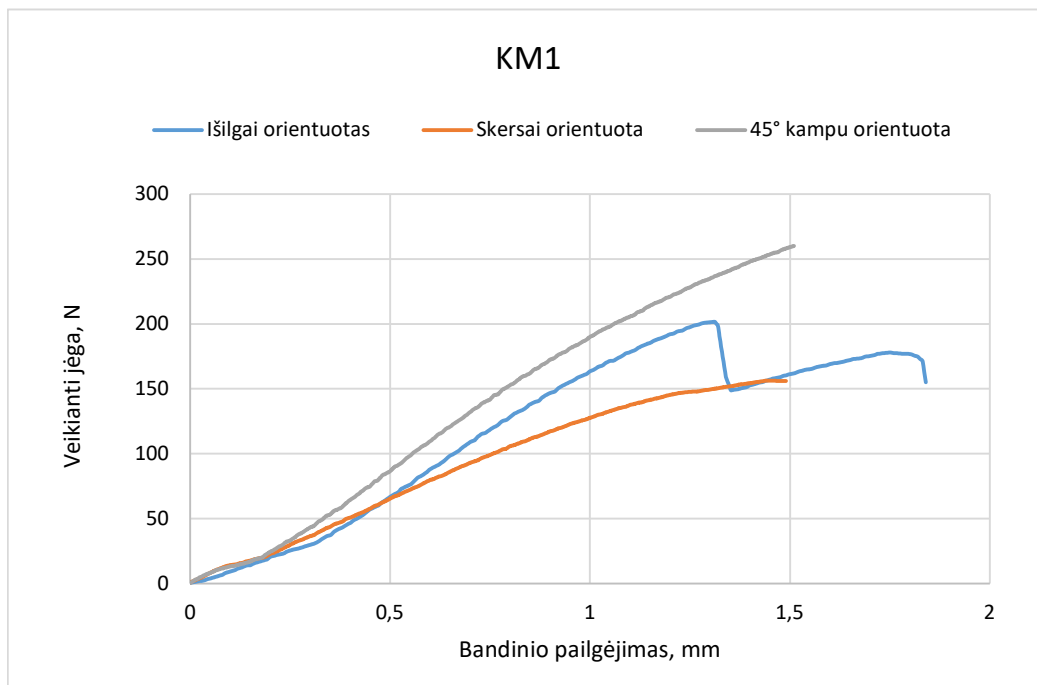
- orientacinis – lyginama, kokią įtaką pluošto gijų orientacija bandiniuose turėjo atsparumui tempiant;
- naudotų pluoštų – lyginamos kompozitinės medžiagos, turinčios tas pačias matricos medžiagas, bet skirtingus armuojančius pluoštus (K1 ir K2) ir tuščių polimerinių matricių lakštai.

Palyginus pluošto orientacijų išsidėstymą kompozito bandiniuose, nustatyta, jog KM1 ir KM2 tempimo testą geriausiai atlaikė bandiniai, kuriuose pluoštas buvo orientuotas 45° kampu, o KM3 ir

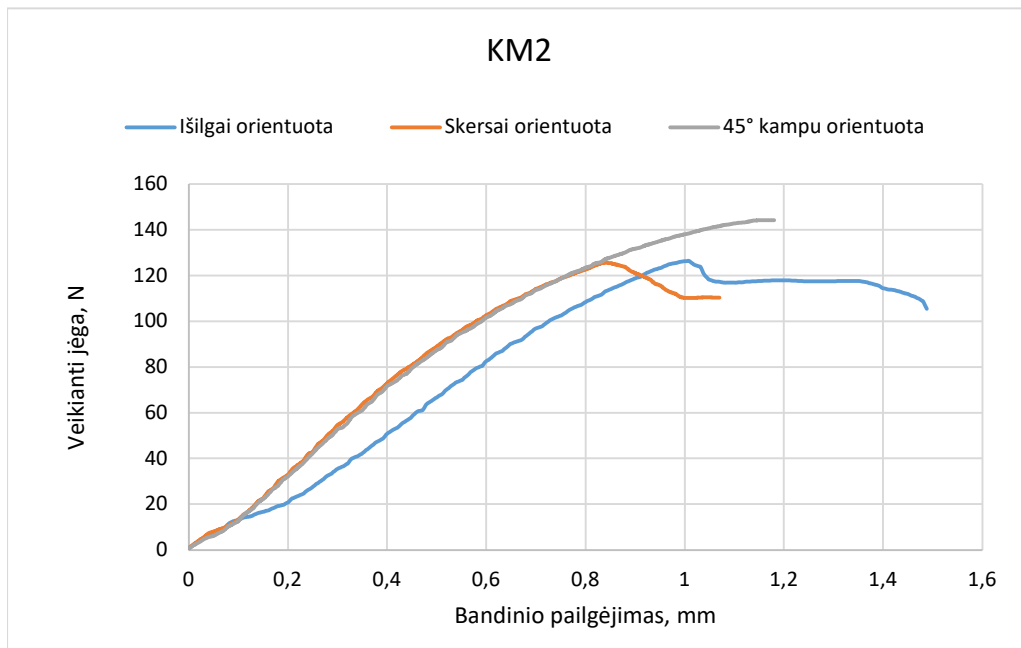


KM4 – pluoštas, orientuotas išilgai bandinio (žr. 25, 26, 27 ir 28 pav.). Iš visų keturių kompozitinių medžiagų, didžiausią stiprumą tempiant atlaikė KM4 išilgai orientuotų gijų bandinys, jam nutraukti reikėjo 298 N jėgos. KM1 bandiniui prirėkė 279,6 N, o KM3 – 381,6 N tempimo jėgos. Nors KM2 bandinyje skersai ir 45° orientuoti kompozito bandiniai tempimą atlaikė beveik vienodai, vis dėl to pastarajam nutraukti prirėkė daugiau jėgos – 144,2 N. Nors teoriškai išilgai bandinio orientuotas pluoštas turėtų pasižymėti geresniu atsparumu tempiant, praktikoje matome, kad tai ne visada pasitvirtina. Tokius rezultatus gali lemti pluošto apdorojimas, struktūra, paskirstymo būdas ar kiti faktoriai. Šiuo atveju pluošto paskirstymas buvo atliktas žmogaus, todėl natūralu, jog gijų tankis ant polimero lakšto galėjo būti įvairus. Taip pat pluošto gijos nėra natūraliai visiškai tiesios, matomi pabangavimai, nevienodi pluošto gijų ilgiai (žr. 19 pav.), tai gali šiek tiek iškreipti norimą orientaciją ir sustiprinti, arba priešingai, susilpninti kompozitą.

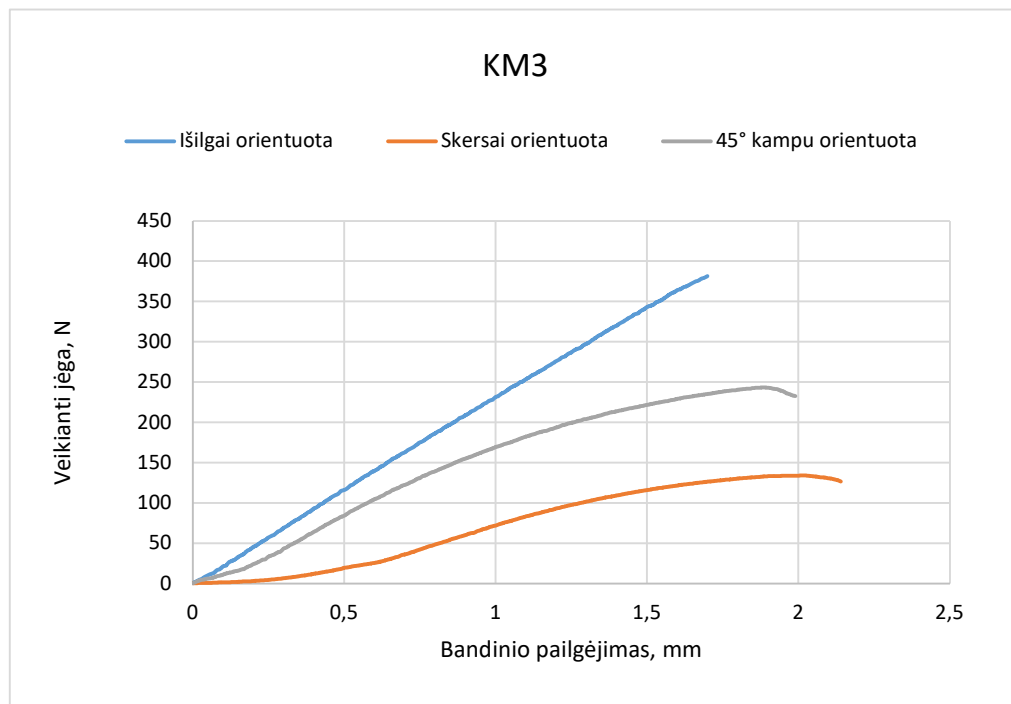
Toliau analizuojant tempimo kreives, galime nustatyti, jog pagaminti kompozitai yra gana standūs, nes bandinys deformuojasi pakankamai nedaug, t. y., jis priešinasi veikiančiai jėgai ir tempiamas sugeria pakankamai nedaug energijos. Juose sunku nustatyti polimerų pereinamąsias ir elastiškąsias sritis – jos geriausiai matosi KM1 išilgai, ir KM2 išilgai ir skersai orientuotuose bandiniuose, taip pat KM4 45° kampu orientuotame bandinyje: kreivė stabiliai kyla, tuomet įvyksta šio kritimas – tai pereinamoji sritis, kurioje bandinys, absorbavęs energiją pradeda plastiškėti. Toliau kreivei vėl pradeda kilti prasideda elastiškoji sritis – bandinys tempiasi ir ilgėja, iki kol įvyksta susilpnėjimas ir jis trūksta, t. y. kreivė staigiai krenta žemyn arba nutrūksta.



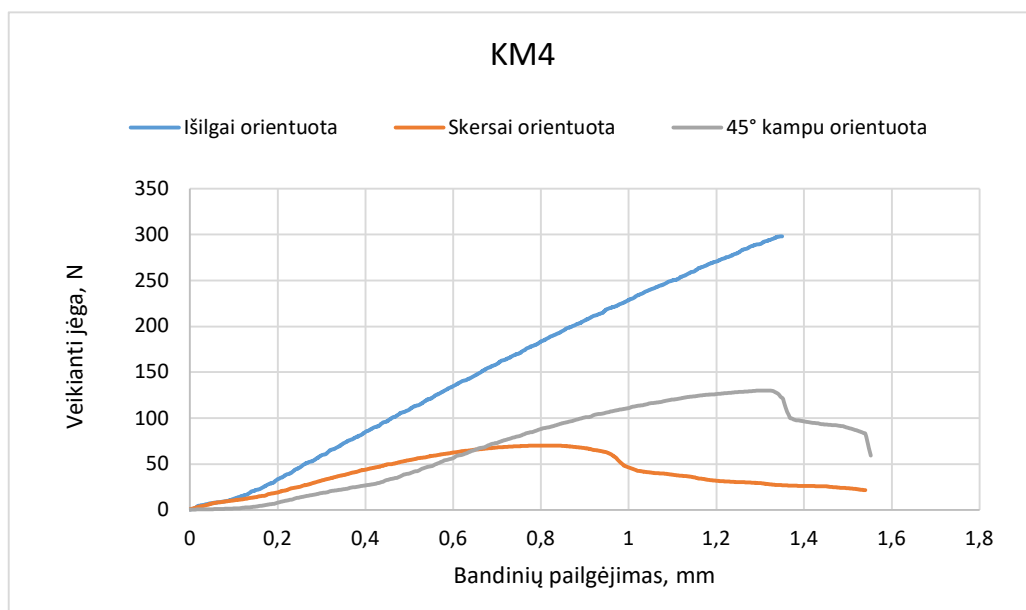
25 pav. KM1 bandinių pailgėjimo priklausomybių nuo veikiančių jėgų rezultatai su skirtingomis pluoštų orientacijomis



26 pav. KM2 bandinių pailgėjimo priklausomybių nuo veikiančių jėgų rezultatai su skirtingomis pluoštų orientacijomis



27 pav. KM3 bandinių pailgėjimo priklausomybių nuo veikiančių jėgų rezultatai su skirtingomis pluoštų orientacijomis



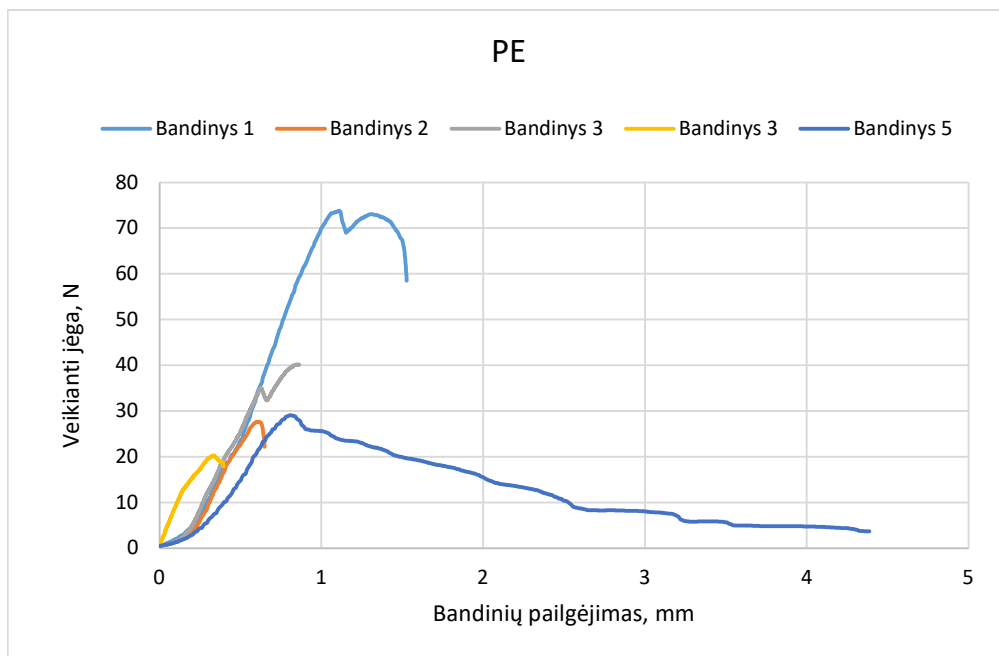
**28 pav.** KM4 bandinių pailgėjimo priklausomybių nuo veikiančių jėgų rezultatai su skirtingomis pluoštų orientacijomis

Po tempimo bandymo suskaičiuotas santykinis bandinių pailgėjimas svyravo nuo 2,14 iki 4,28 %, t. y. bandiniai pailgėjo nuo 2,247 iki 4,494 milimetrų. Šie ir kiti parametrai pateikti 7 lentelėje.

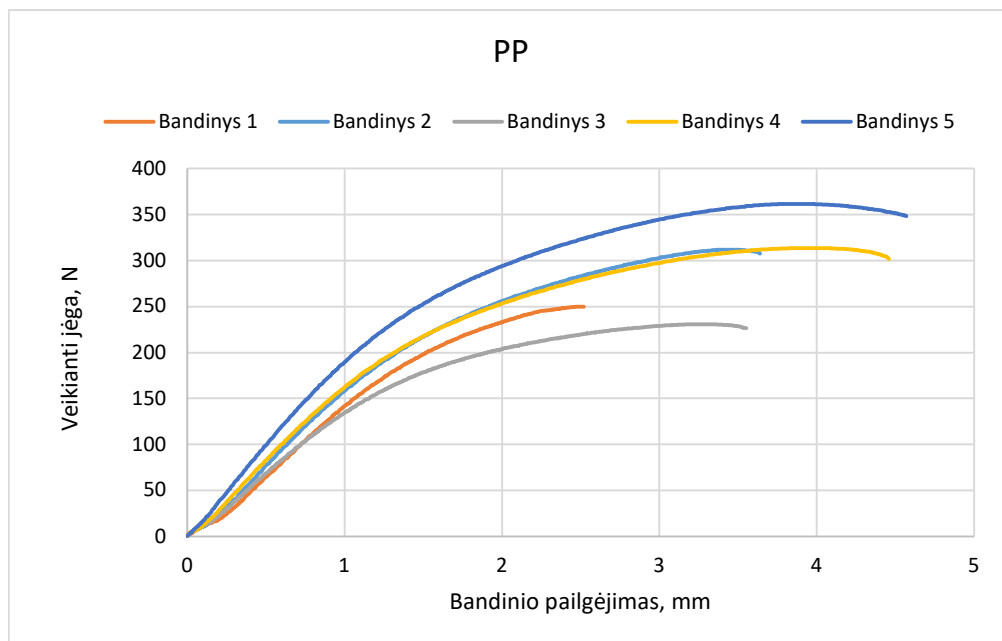
**7 lentelė.** Kompozitinių medžiagų tempimo bandymo rezultatai

Kompozitinė medžiaga	Pluošto gijų orientacija	Maksimali jėga, N	Santykinis pailgėjimas, %	Jėga lūžio momentu, N
KM1	Išilgai	201,8	3,68	155
	Skersai	156,2	2,98	156
	45°	281,6	3,74	279,6
	vidurkis	213,2	3,46	196,8
KM2	Išilgai	126,5	2,976	105,5
	Skersai	125,6	2,14	110,4
	45°	144,2	2,36	144,2
	vidurkis	132,1	2,492	120,33
KM3	Išilgai	381,6	3,4	381,6
	Skersai	134,1	4,28	126,8
	45°	243,3	3,98	232,8
	vidurkis	253,0	3,88	247,06
KM4	Išilgai	298	2,7	298
	Skersai	70,3	3,08	21,6
	45°	130,1	3,104	59,4
	vidurkis	166,13	2,961	126,33

Pluošto palyginimui atlikti ir polimerinių matricos lakštų, pagamintų iš PP ir PE (žr. 29 ir 30 pav.), tempimo bandymai. Jau tempiant pastebėta, kad PP bandiniai yra plastiškesni ir trūksta ne taip greitai kaip PE. Iš tempimo grafiko matyti, jog visi polipropileno bandiniai atlaikė daugiau nei 200 N tempimą, o dauguma polietileno bandinių neviršijo net 40 N ribos (žr. 27 pav.). Visų PP bandinių vidurkis iki trūkimo ribos lygus 286,8 N, o santykinis pailgėjimas 7,5 % (7,875 mm). PE bandiniams analogiškai – 29,72 N ir 3,879 % (4,073 mm). Bandinių rezultatai ir jų vidurkiai pateikti 8 ir 9 lentelėse.



29 pav. PE bandinių be pluošto pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų tempimo bandymo metu



30 pav. PP bandinių be pluošto pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų tempimo bandymo metu



**8 lentelė.** PE lakštų bandinių tempimo bandymo rezultatai

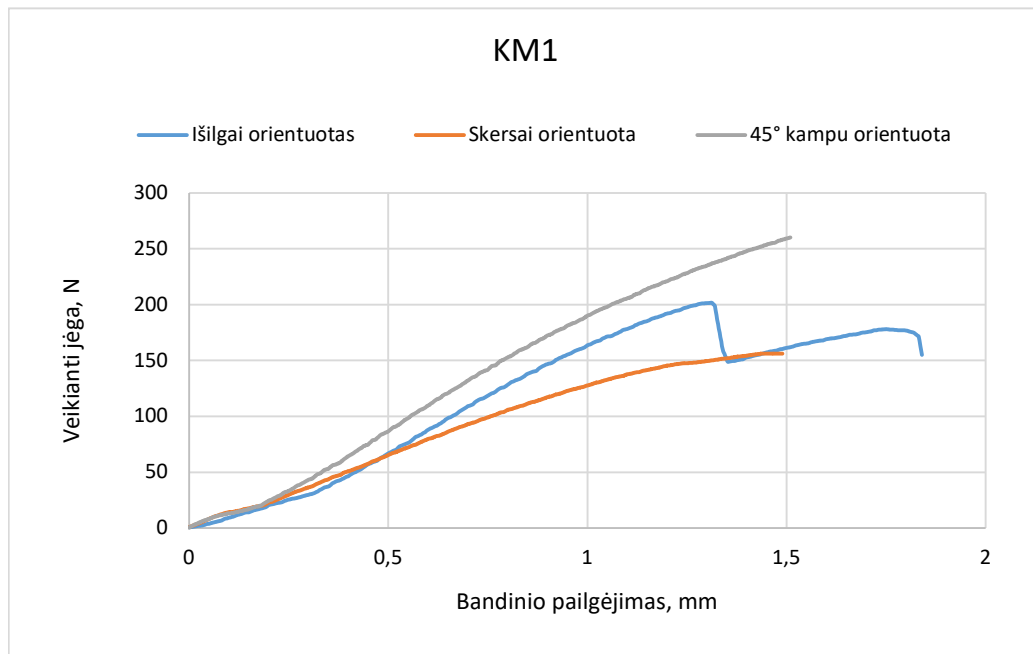
Bandinys	Maksimali jėga, N	Santykinis pailgėjimas, %	Jėga, lūžio momentu, N
1	73,8	3,056	58,5
2	27,64	1,3	22,2
3	40,17	1,722	40,13
4	20,3	0,792	17,86
5	29,08	12,53	2,4
Vidurkis	38,2	3,879	29,72

**9 lentelė.** PP lakštų bandinių tempimo bandymo rezultatai

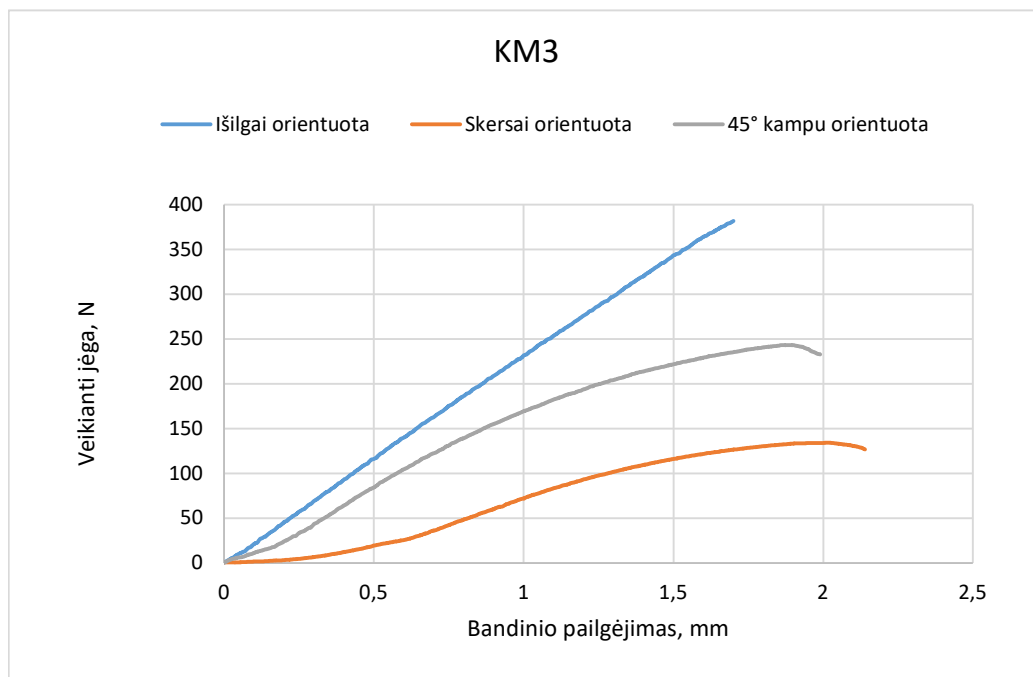
Bandinys	Maksimali jėga, N	Santykinis pailgėjimas, %	Jėga, lūžio momentu, N
1	249,8	5,04	249,8
2	311,6	7,28	307,6
3	230,5	7,1	226,5
4	313,6	8,92	301,6
5	361,6	9,14	348,4
Vidurkis	293,4	7,5	286,8

Šie tuščių matricių tempimo bandymai palyginti su kompozitinėmis medžiagomis, kurių gamybai jie buvo panaudoti ir nustatyta, kuris pluoštas, K1 ar K2, geriau atlaikė tempimo bandymus.

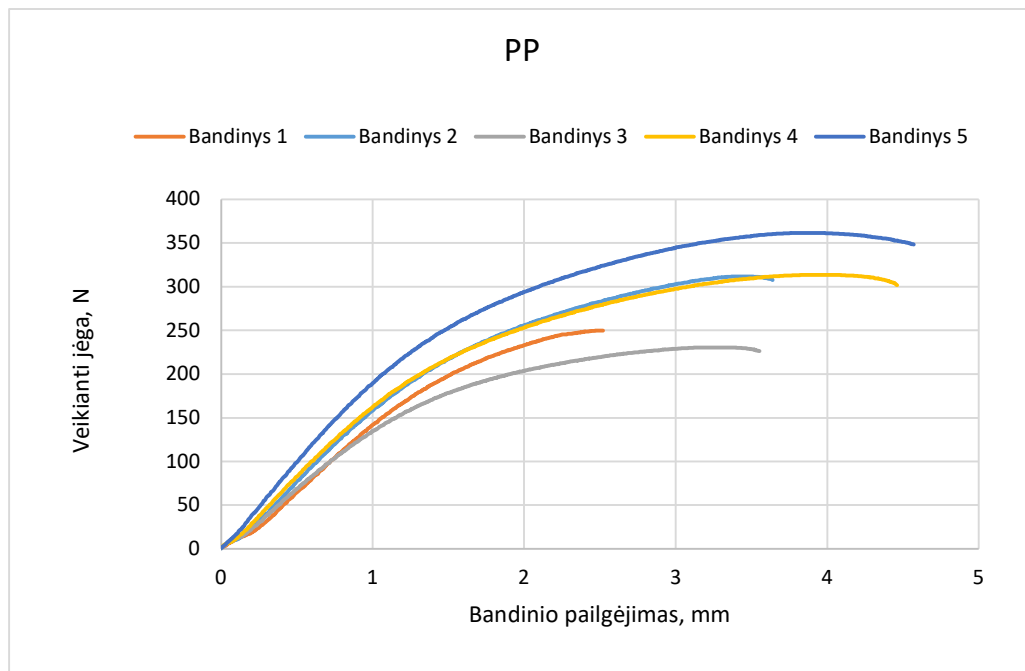
Lyginant tuščio PP lakšto bandinius ir jo kompozitus KM1 (naudota K1) ir KM3 (naudota K2) (žr. 31, 32 ir 33 pav.), pastebėta, jog pirmosios kompozitinės medžiagos (naudotas 1 kanapių pluoštas) tempimo testo rezultatai netgi suprastėjo, o trečiosios kompozitinės medžiagos (naudotas 2 kanapių pluoštas) rezultatai beveik nesiskyrė: KM1 atlaikė vidutiniškai 196,8 N, KM3 247,06 N, o tuščias PP 286,8 N jėgą, analogiškai santykinis pailgėjimas 3,46 %, 3,88 % ir 7,5 %. Žvelgiant į tokius rezultatus, galima teigti, kad K1 pluoštas yra silpnesnis tempiant ir mažiau elastingas, nei tuščias PP lakštas, kadangi storesnis pluoštas susilpnino polimero molekulių sukibimą tarpusavyje. K2 pluoštas sumažino tik elastingumą, nes plonesnės ir mažiau išsišakojusios gijos leido plastikui gerai sukibti, tad stiprumas išliko panašus.



31 pav. KM1 bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų

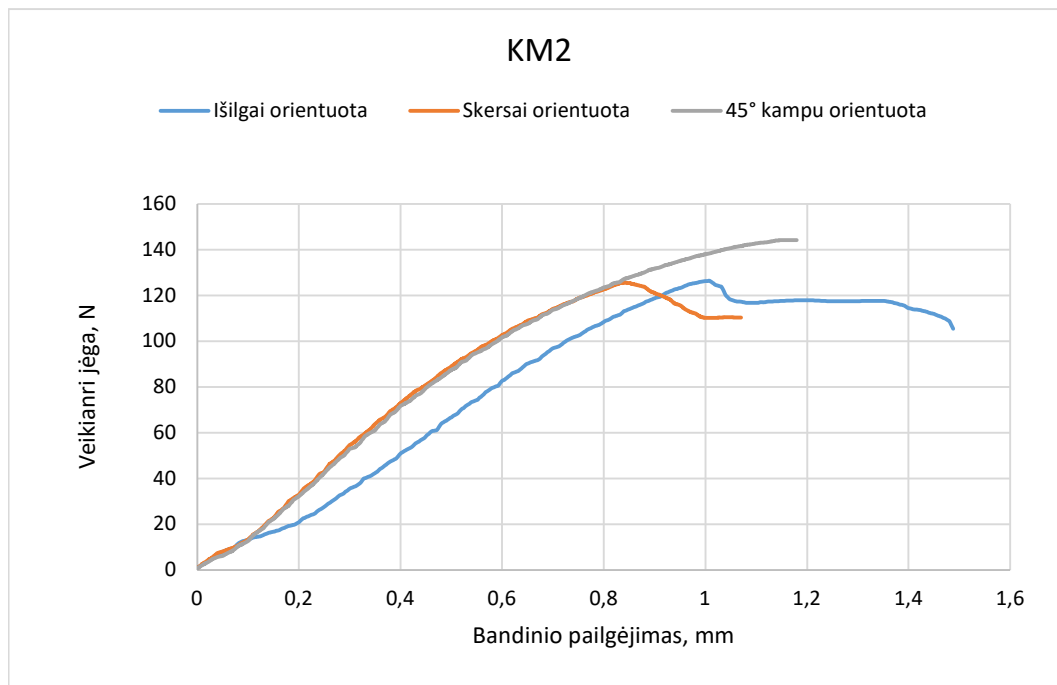


32 pav. KM3 bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų

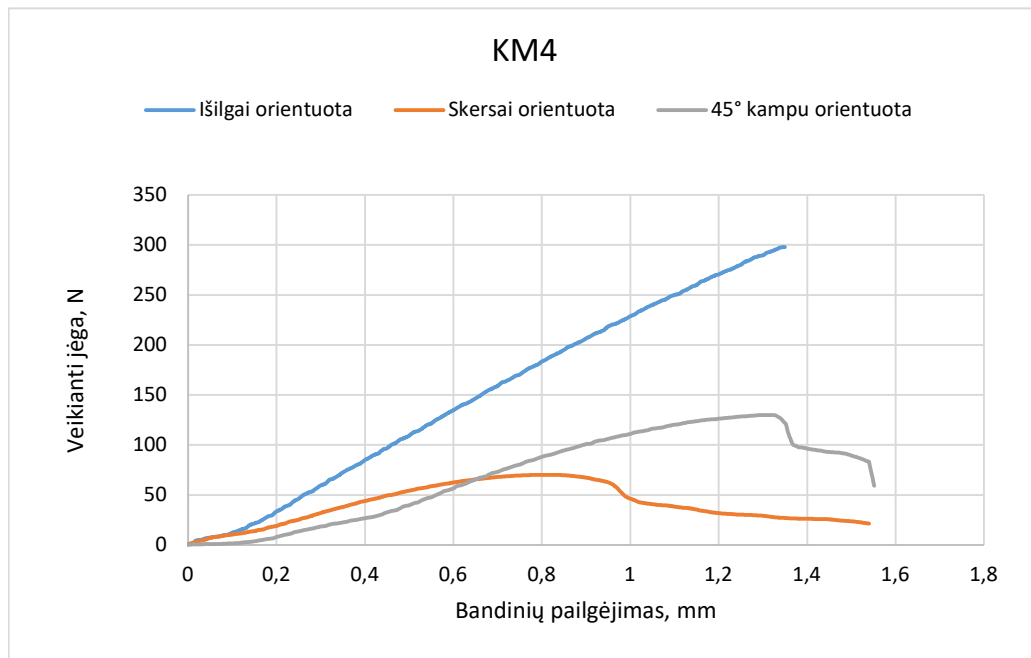


**33 pav.** PP lakštų bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų

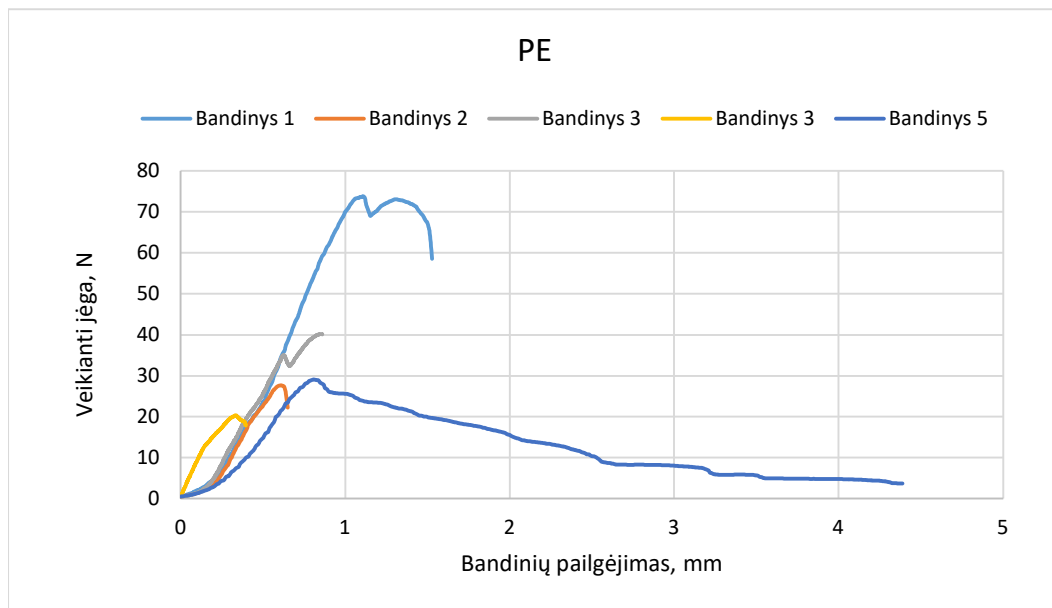
Lyginant PE lakšto bandinių rezultatus ir iš jų pagamintus KM2 (naudotos K1) ir KM4 (naudotos K2), matyti, kad abu pluoštai gerai armuoja matricos lakštus: KM2 vidutiniškai atlaikė 120,33 N, KM4 126,33 N tempimo jėgą, kuomet PE lakštas – tik 29,72 N. Santykinis kompozitinių medžiagų pailgėjimas sumažėjo, lyginant su tuščiu PE lakštu: KM2 2,492 %, KM4 2,961 %, PE 3,879 % (žr. 34, 35 ir 36 pav.)



**34 pav.** KM2 bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų



35 pav. KM2 bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų



36 pav. PE bandinių pailgėjimo priklausomybės nuo veikiančių jėgų

Abiejų palyginimų metu matyti, jog K1 pluoštas pasižymi ne tokiomis geromis armuojančiomis savybėmis kaip K2. Šį rezultatą gali lemti trumpos pirmojo kanapių pluošto gijos. Nors antrasis kanapių pluoštas yra plonesnis, bet jo gijos ilgesnės ir vientisesnės.

### 6.2.2. Deginimo bandymas

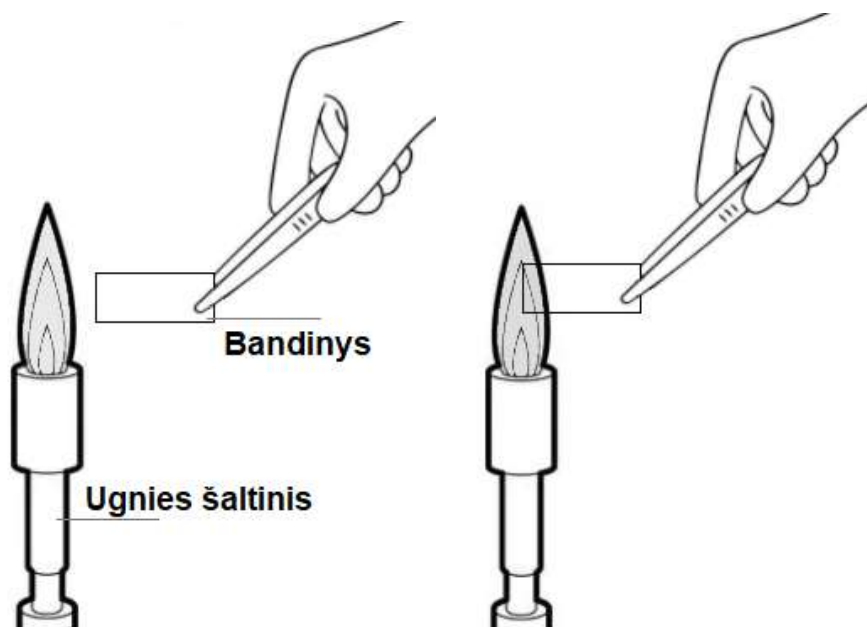
Deginimo bandymo metu stebimi pagamintų kompozitų bandinių ir jų atskirų sudedamųjų dalių poveikis, priartinus prie liepsnos šaltinio ir laikant joje. Pastebėti efektai surašyti ir pateikti 10 lentelėje.

Deginant pluoštus K1 ir K2, gautas identiškas efektas: priartinus prie liepsnos šaltinio, pradeda raitytis tik ploniausios, atsikišusios gijos. Bandinius įdėjus į liepsną, jie greitai užsidega ir dega pašalinus iš jos. Jiems degant nejaučiamas arba jaučiamas nežymus degančių šiaudų kvapas. Pelenų susidaro nedaug, jie pilkos spalvos. Nepaisant to, jog paruošimo būdas pramoniniam naudojimui skiriasi, K1 ir K2 pluoštų deginimo efektas identiškas todėl, nes juos sudaro tie patys cheminiai elementai.

Polimerinius matricų lakštus priartinus prie liepsnos nepastebima jokie efekto. Įdėjus bandinius į liepsną, stebima, kaip jie pradeda užsidega, ima lydytis ir lašėti, nukritę lašai vėl sustingsta į polimero gabalėlius. Suskystėjęs PP laša greičiau ir yra šiek tiek skystesnis, nei PE. Ištraukus bandinį iš liepsnos, jis nenustoja degti. Pelenų nėra, jaučiamas nežymus svylančios plastmasės kvapas.

Pagamintas kompozitines medžiagas priartinus prie liepsnos nepastebimas joks efektas. Bandinį įdėjus į liepsną, jis gana greitai užsidega, o išsilydęs pradeda lašėti. Kompozitą pašalinus iš liepsnos šaltinio, jis toliau dega atsiranda juodi dūmai, jaučiamas nežymus degančios plastmasės kvapas. Užgesinus liepsną pelenų nepastebima, matomi nulašėję ir sustingę polimero likučiai.

Šis bandymas aktualus šiuolaikiniams gaminiams, nes neretas produktas savyje turi elektronikos komponentų, kurie, esant blogoms eksploatacavimo sąlygoms ar gamybiniam brokui, gali greitai užsiliepsnoti, taip sugadindami ne tik produktą, tačiau ir sukeldami gaisro tikimybę. Tikimasi, jog gaminiai bus kuo atsparesni ugnies ar kaitros poveikiui. Pamačius deginimo bandymo rezultatus, reiktų gerai pasvarstyti, kur būtų optimalu naudoti gaminį, kad jis greitai neužsidegtų.



37 pav. Deginimo bandymo atlikimo schema

**10 lentelė.** Deginimo bandymo rezultatai

<b>Medžiaga</b>	<b>Efektas priartinus prie liepsnos</b>	<b>Efektas liepsnoje</b>	<b>Efektas išnešus iš liepsnos</b>	<b>Pelenai</b>
KM1	Nepastebimas	Greitai užsidega ir pradeda lydytis	Toliau sparčiai dega ir lydosi, jaučiamas nežymus plastmasės kvapas, atsiranda juodi dūmai	Nėra, sustingsta nukritę polimero lašai
KM2	Nepastebimas	Greitai užsidega ir pradeda lydytis	Toliau sparčiai dega ir lydosi, jaučiamas nežymus plastmasės kvapas, atsiranda juodi dūmai	Nėra, sustingsta nukritę polimero lašai
KM3	Nepastebimas	Greitai užsidega ir pradeda lydytis	Toliau sparčiai dega ir lydosi, jaučiamas nežymus plastmasės kvapas, atsiranda juodi dūmai	Nėra, sustingsta nukritę polimero lašai
KM4	Nepastebimas	Greitai užsidega ir pradeda lydytis	Toliau sparčiai dega ir lydosi, jaučiamas nežymus plastmasės kvapas, atsiranda juodi dūmai	Nėra, sustingsta nukritę polimero lašai
PP	Nepastebimas	Lydosi, dega, nežymus plastmasės kvapas	Toliau dega ir lydosi, jaučiamas nežymus plastmasės kvapas, atsiranda juodi dūmai	Nėra, sustingsta nukritę polimero lašai
PE	Nepastebimas	Lydosi, dega, nežymus plastmasės kvapas	Toliau dega ir lydosi, jaučiamas nežymus plastmasės kvapas, atsiranda juodi dūmai	Nėra, sustingsta nukritę polimero lašai
K1	Susiraito išsikišusios smulkios gijos	Greitai užsiliepsnoja	Toliau sparčiai dega	Pilki, birūs
K2	Susiraito išsikišusios smulkios gijos	Greitai užsiliepsnoja	Toliau sparčiai dega	Pilki, birūs

## 7. Ekonominis ir socialinis kompozitinių medžiagų vertinimas

### 7.1. Kompozitinės medžiagos gamybos savikaina

Skaičiuojant kompozitinių medžiagų gamybinę savikainą ( $X_{gam.}$ ), privaloma įvertinti tiesiogines ( $X_{tiesiog.}$ ) ir netiesiogines ( $X_{netiesiog.}$ ) gamybos išlaidas. Tiesioginėms priskiriamos visos išlaidos, susijusios su produkto gamyba – šiuo atveju: žaliavos, pagalbinė medžiaga – kepimo popierius, įrenginių sunaudojama elektros energija. Netiesioginėms išlaidoms priskiriamos tos, kurių negalima priskirti konkrečiam gaminiui (darbuotojų atlyginimai, gamybinių patalpų apšvietimas ir apšildymas, įrenginių amortizacija). Kadangi netiesioginės išlaidos susijusios su įmonės veikla ir išlaikymu, šiuo atveju jų nevertinsime, todėl kompozitinės medžiagos gamybinei savikainai apskaičiuoti užteks tik tiesioginių išlaidų.

Gaminant keturias kompozitines medžiagas buvo parinktos tokios sąlygos, kurios tinka visoms žaliavoms, todėl galima apskaičiuoti vieno kompozito (KM1) gamybos savikainą, kuri bus identiška visiems gaminiams. Visi matricų lakštai buvo gaminti iš 20 g polimerų, o vidutiniškai vienam kompozitui pagaminti prireikė 5 g armuojančio pluošto. Kadangi šios medžiagos buvo surinktos kaip atliekos iš kitų gamybinių įmonių, jų kaina lygi 0 eurų. Tiesioginės išlaidos pateiktos 12 lentelėje.

Elektros energija gamybos proceso metu buvo naudojama technologijai ( $W_{jėgai}$ ). Elektros energijos poreikis technologijai priklauso nuo įrenginio variklio aktyvinio galingumo ( $P_a$ ) ir jų efektyvaus darbo laiko ( $T_{ef.ir.}$ ).

$$T_{ef.ir.} = T_{ciklo} \cdot k_{ir}; \quad (2)$$

kur:

$T_{ef.ir.}$  – efektyvus įrengimų darbo laikas, h;

$T_{ciklo}$  – kompozito gamybos ciklo laikas, h ;

$k_{ir}$  – įrengimų panaudojimo koeficientas, kuris įvertina įrengimų prastovas, apskaičiuojamas pagal 3 formulę:

$$k_{ir} = 1 - a/100 \quad (3)$$

kur: a – įrengimų prastovos ciklo metu, % ;

$$W_{jėgai} = P_a \cdot k_g \cdot T_{ef.ir.}; \quad (4)$$

kur:

$W_{jėgai}$  – elektros energijos poreikis varikliams varyti, kWh;

$k_g$  – variklių galingumo panaudojimo koeficientas.

Tuomet žinant sunaudotą elektros energijos poreikį, galima apskaičiuoti kompozito gamybos kainą:

$$X_{komp} = W_{jėgai} \cdot t_{el. en.}; \quad (5)$$

kur:

$X_{komp.}$  – kompozito gamybos kaina;

$t_{el. en.}$  – elektros energijos tarifas, eur/kWh.

Kompozito gamybai buvo naudojamas karšto presavimo įrenginys, kurio pagalba buvo pagaminti du matricos lakštai ir sukepinta kompozitinė medžiaga. Iš viso reikia 3 presavimo ciklų, kurie kiekvienas užtrunka apie 1 minutę. Sukarpyti ir tolygiai paskirstyti armuojantį pluoštą ant matricos lakštų reikia apie 2 min., o gaminiui atvėsti – apie 1 minutę, tad visas gamybos ciklas tęsiasi 6 minutes. Panaudotai elektros energijai apskaičiuoti reikalingi duomenys pateikti 11 lentelėje.

**11 lentelė.** Kompozito gamybos kainai apskaičiuoti reikalingi duomenys

Rodiklis	Trumpinys	Matavimo vienetas	Reikšmė
Kompozito gamybos ciklo laikas	$T_{ciklo}$	h	0,1
Įrenginių prastovos ciklo metu	a	%	50
%renginio variklio aktyvinis galingumas	$P_a$	kW	26,9
Variklių galingumo panaudojimo koeficientas <sup>1</sup>	$k_g$		0,929
Elektros tarifas <sup>2</sup>	$t_{el. en.}$	Eur/kWh	0,177

Tuomet apskaičiuota kompozito gamybos kaina ( $X_{komp.}$ ) ir įrašoma į 12 lentelę:

$$T_{ef.įr} = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ h}$$

$$k_{įr} = 1 - 50/100 = 1 - 0,5 = 0,5$$

$$W_{jėgai} = 26,9 \cdot 0,929 \cdot 0,05 = 1,249505 \approx 1,25 \text{ kWh}$$

$$X_{komp} = 1,249505 \cdot 0,177 = 0,221 \text{ eur.}$$

**12 lentelė.** Kompozito gamybos tiesioginės išlaidos

Išlaidos rūšis	Kiekis, sunaudotas kompozito gamybai	Kaina
Pluoštas K1	5g	0 eur.
PP granulės	40g	0 eur.
Kepimo popierius	6 vnt.	0,298 eur
Sunaudota elektros energija	1,25 kWh	0,221 eur.
Bendrai tiesioginių išlaidų vienam kompozitui pagaminti		0,519 eur.
Bendrai tiesioginių išlaidų keturiems kompozitams pagaminti		2,076 eur.

<sup>1</sup> Pagal tarptautinę elektros energijos sunaudojimo klasę, nuo 2015 metų pagaminta įranga, sunaudojanti iki 30 kW energijos, turi priklausyti IE3 klasei ir negali veikti mažiau 0,929 galingumo koeficientu [https://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-efficiency-policy-opportunities-for-electric-motor-driven-systems\\_5kkg52gb9gjd-en](https://www.oecd-ilibrary.org/energy/energy-efficiency-policy-opportunities-for-electric-motor-driven-systems_5kkg52gb9gjd-en)

<sup>2</sup> Elektros energijos tarifai paimti iš [www.ignitis.lt](http://www.ignitis.lt) svetainės duomenų

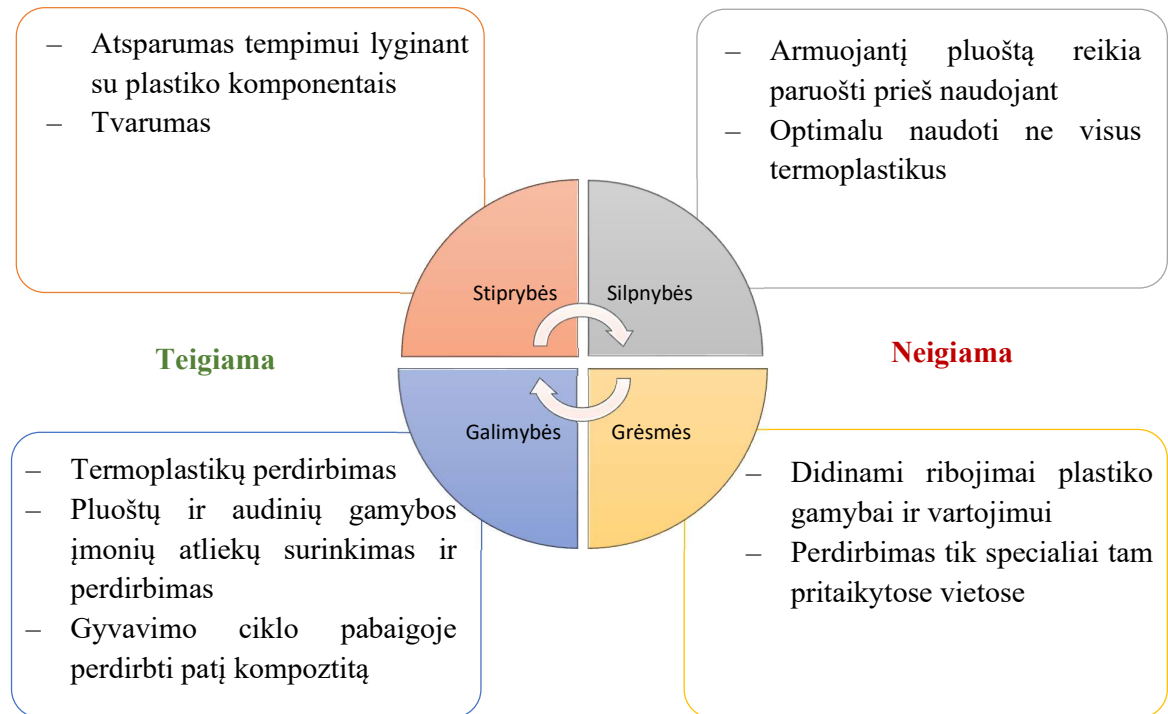


## 7.2. SSGG analizė

Socialiniam vertinimui atlikti sudaryta SSGG kompozitinės medžiagos analizė, kurios metu analizuojamos stiprybės, silpnybės, galimybės ir grėsmės (žr. 38 pav.).

Analizės metu nustatytos 5 teigiamos kompozito savybės, kurios daugiausiai susijusios su medžiagų perdirbimu, kas ypač aktualu dabartinėje visuomenėje, kadangi vis dar didėja išmetamų atliekų kiekiai, o sąvartynų ribos plečiasi. Gaminant kompozitus iš termoplastikų, juos būtų galima surinkti iš gamybos įmonių, kuriose plastikas išmetamas kaip pakuotės atliekos, brokuoti komponentai ar kita. Kaip armuojantis pluoštas naudojamos kanapės taip pat gautos kaip atliekos, ir pluoštams esant akivaizdžiai skirtingiems savo struktūra, net ir trumpos bei storos gijos gali būti panaudojamos kaip armuojanti medžiaga. Taip pat plastiko ir kanapių kompozitas pasižymi ilgaamžiškumu ir geresnėmis mechaninėmis savybėmis nei vien plastikas, todėl būtų naudinga apsvarstyti pakeisti plastiko komponentus į plastiko kompozitus.

Gaminant kompozitą iš atliekų, reikėtų atsižvelgti, jog žaliavas reikia atitinkamai paruošti: pluoštą išsukuoti, o plastiką susmulkinti į granules. Šios procedūros užtrunka laiko ir gali reikalauti papildomos įrangos ar įrengimų, t. y. papildomos išlaidos. Taip pat tyrimų metu nustatyta, jog ne visus plastikus optimalu naudoti kaip matricą, todėl kiekvienai rūšiai būtų reikalingi atlikti pirminius tyrimus ir tik nustčius, jog medžiagą tikslinga armuoti pluoštu, galima svarstyti apie kompozitų gamybą.



38 pav. Kompozito SSGG analizė

## Išvados

1. Pagaminti keturi skirtingų sudėčių kompozitai, panaudojant du kanapių pluoštus kaip armuojančią struktūrą, ir polipropilena bet polietilena kaip matricas. KM1 – pagaminta naudojant kanapių pluoštą 1 ir polipropilena; KM2 – naudojant kanapių pluoštą 1 ir polietilena; KM3 – kanapių pluoštą 2 ir polipropilena; KM4 – kanapių pluoštą 2 ir polietilena. Gamybai gautos žaliavos buvo surinktos iš gamybos įmonių bei ūkininkų kaip nebereikalingos atliekos, kurios kompozito gamybos metu buvo perdirbamos.
2. Mechaninėms savybėms patikrinti, kompozitams atlikti tempimo ir deginimo bandymai. Tempimo bandymo metu buvo palygintas pluošto orientacijų išsidėstymas kompozito bandiniuose, ir nustatyta, jog KM1 ir KM2 tempimo testą geriausiai atlaikė bandiniai, kuriuose pluoštas buvo orientuotas 45° kampu, o KM3 ir KM4 – pluoštas, orientuotas išilgai bandinio. Iš visų keturių kompozitinių medžiagų, didžiausią stiprumą tempiant atlaikė KM4 išilgai orientuotųjų bandinys, jam nutraukti reikėjo 298 N jėgos.  
Tempimo bandymo metu taip pat palyginta kaip du kanapių pluoštai armuoja skirtingas matricas. Norint tai įvertinti, atlikti ir polimerinių matricos lakštų, pagamintų iš PP ir PE, tempimo bandymai. Lyginant PP lakšto bandinius ir jo kompozitus KM1 ir KM3, pastebėta, jog naudojant 1 kanapių pluoštą tempimo testo rezultatai netgi suprastėjo, o naudojant 2 kanapių pluoštą rezultatai beveik nesiskyrė: KM1 atlaikė vidutiniškai 196,8 N, KM3 247,06 N, o tuščias PP 286,8 N jėgą. Lyginant PE lakšto bandinių rezultatus ir iš jų pagamintus KM2 ir KM4, matyti, kad abu pluoštai gerai armuoja matricos lakštus: KM2 vidutiniškai atlaikė 120,33 N, KM4 126,33 N tempimo jėgą, kuomet PE lakštas – tik 29,72 N. Tad palyginus du kanapių pluoštus, nustatyta, kad geresnėmis armuojančiomis savybėmis pasižymi K2 pluoštas.  
Deginimo bandymo metu tiek sudėtinius komponentus, tiek pagamintus kompozitus priartinus prie liepsnos nepastebėtas joks efektas, liepsnoje jie gana greitai užsiliepsnoja, o pašalinus iš ugnies šaltinio, degimas nenutrūksta.
3. Atlikus ekonominį ir socialinį kompozitinę medžiagos vertinimą apskaičiuota gamybinė kompozitinių medžiagų savikaina. Vieno kompozito gamybos kaina lygi 0,519 euro. Kadangi gamybos sąlygos buvo parinktos tinkančios visoms medžiagoms, tad apskaičiuota bendra keturių kompozitinių medžiagų gamybinė savikaina lygi 2,076 eurų. SSGG analizės metu nustatytos 5 teigiami kompozito aspektai, susiję su kompozito stiprumu, tvarumu ir perdirbimo galimybėmis. Taip pat nustatytos ir 4 neigiamybės, susijusios su tolesniais tyrimais ar įrangos stygiu.

## Literatūros sąrašas

1. US EPA, O. National Overview: Facts and Figures on Materials, Wastes and Recycling. In [interaktyvus]. 2017. [žiūrėta 2021-12-04]. .
2. BENSON, N.U. ir kt. COVID pollution: impact of COVID-19 pandemic on global plastic waste footprint. In *Heliyon* [interaktyvus]. 2021. Vol. 7, no. 2, p. e06343. [žiūrėta 2021-12-04]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.heliyon.2021.e06343>.
3. DEMETS, R. ir kt. Addressing the complex challenge of understanding and quantifying substitutability for recycled plastics. In *Resources, Conservation and Recycling* [interaktyvus]. 2021. Vol. 174, p. 105826. [žiūrėta 2021-12-04]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.resconrec.2021.105826>.
4. PARVEZ, A.M. ir kt. Potential of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) for bioenergy production in Canada: Status, challenges and outlook. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [interaktyvus]. 2021. Vol. 141, p. 110784. [žiūrėta 2021-10-13]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.rser.2021.110784>.
5. GAILIUS, A. *Kompozicinės medžiagos ir dirbiniai energetiškai efektyvių pastatų statybai* [interaktyvus]. . Vilnius, Lithuania: Vilnius Gediminas Technical University, 2012. ISBN 978-609-457-177-0.
6. KUMAR, Y.K. - LOHCHAB, D. *Influence of Aviation Fuel on Mechanical properties of Glass Fiber-Reinforced Plastic Composite* [interaktyvus]. 2016. Prieiga per internetą: doi: <10.17148/IARJSET.2016.3413>.
7. SANJAY, M.R. ir kt. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. In *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2018. Vol. 172, p. 566–581. [žiūrėta 2021-04-06]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.jclepro.2017.10.101>.
8. RÉQUILÉ, S. ir kt. Exploring the link between flexural behaviour of hemp and flax stems and fibre stiffness. In *Industrial Crops and Products* [interaktyvus]. 2018. Vol. 113, p. 179–186. [žiūrėta 2021-04-08]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.indcrop.2018.01.035>.
9. XIV-386 Lietuvos Respublikos pluoštinių kanapių įstatymo Nr. XII-336 pakeitimo įstatymas. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-10-13]. .
10. MÜSSIG, J. ir kt. Transdisciplinary top-down review of hemp fibre composites: From an advanced product design to crop variety selection. In *Composites Part C: Open Access* [interaktyvus]. 2020. Vol. 2, p. 100010. [žiūrėta 2021-10-13]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.jcomc.2020.100010>.
11. VINOD, A. ir kt. Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. In *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2020. Vol. 258, p. 120978. [žiūrėta 2021-04-11]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.jclepro.2020.120978>.
12. LUZI, F. ir kt. Optimized extraction of cellulose nanocrystals from pristine and carded hemp fibres. In *Industrial Crops and Products* [interaktyvus]. 2014. Vol. 56, p. 175–186. [žiūrėta 2021-10-13]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.indcrop.2014.03.006>.

13. VISCUSI, G. ir kt. Natural fiber reinforced inorganic foam composites from short hemp bast fibers obtained by mechanical decortication of unretted stems from the wastes of hemp cultivations. In *Materials Today: Proceedings* [interaktyvus]. 2021. Vol. 34, p. 176–179. [žiūrėta 2021-04-07]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.matpr.2020.02.672>.
14. KABIR, M.M. ir kt. Effects of chemical treatments on hemp fibre structure. In *Applied Surface Science* [interaktyvus]. 2013. Vol. 276, p. 13–23. [žiūrėta 2021-04-08]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.apsusc.2013.02.086>.
15. LAZORENKO, G. ir kt. Effect of pre-treatment of flax tows on mechanical properties and microstructure of natural fiber reinforced geopolymer composites. In *Environmental Technology & Innovation* [interaktyvus]. 2020. Vol. 20, p. 101105. [žiūrėta 2021-10-13]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.eti.2020.101105>.
16. MUNEER AHMED, M. ir kt. Enhancement of impact toughness and damage behaviour of natural fibre reinforced composites and their hybrids through novel improvement techniques: A critical review. In *Composite Structures* [interaktyvus]. 2021. Vol. 259, p. 113496. [žiūrėta 2021-05-05]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.compstruct.2020.113496>.
17. WANG, H. ir kt. Grafting of nano-TiO<sub>2</sub> onto flax fibers and the enhancement of the mechanical properties of the flax fiber and flax fiber/epoxy composite. In *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* [interaktyvus]. 2015. Vol. 76, p. 172–180. [žiūrėta 2021-10-13]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.compositesa.2015.05.027>.
18. DARIA, M. ir kt. Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review. In *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2020. Vol. 268, p. 122129. [žiūrėta 2021-04-08]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.jclepro.2020.122129>.
19. What are Polymers and Classification of Polymer Notes. [Interaktyvus]. .2014. [žiūrėta 2021-10-22]. Prieiga per internetą: url: <https://semesters.in/what-are-polymers-and-classification-of-polymers-notes-pdf-ppt/> .
20. Linear, Branched And Cross-linked Structures in Polymers [Interaktyvus]. 2020. [žiūrėta 2021-10-22]. Prieiga per internetą: url: <https://mechanicalbase.com/linear-branched-and-cross-linked-structures-in-polymers/>.
21. PLANK, C.M. - TRELA, B.C. A Review of Plastics Use in Winemaking: HACCP Considerations. In *American Journal of Enology and Viticulture* [interaktyvus]. 2018. Vol. 69, no. 4, p. 307–320. [žiūrėta 2021-10-22]. . Prieiga per internetą: doi: <10.5344/ajev.2018.17041>.
22. ZEENAT ir kt. Plastics degradation by microbes: A sustainable approach. In *Journal of King Saud University - Science* [interaktyvus]. 2021. Vol. 33, no. 6, p. 101538. [žiūrėta 2021-10-22]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.jksus.2021.101538>.
23. Global plastic production 1950-2020. In *Statista* [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-10-23]. .
24. MADDAH, H.A. Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. In *American Journal of Polymer Science* [interaktyvus]. 2016. Vol. 6, no. 1, p. 1–11. [žiūrėta 2021-10-22]. . .
25. BHAIYAT, T. *Effect of Fiber Loading on the Moisture Absorption and Mechanical Properties of Kenaf Fiber Reinforced Composites - MECN4006 Undergraduate Research Project*. . 2017. .
26. MATTHEWS, C. ir kt. A review on European Union's strategy for plastics in a circular economy and its impact on food safety. In *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2021.

Vol. 283, p. 125263. [žiūrėta 2021-10-22]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.jclepro.2020.125263>.

27. ADNAN, M. ir kt. In Situ Synthesis of Hybrid Inorganic–Polymer Nanocomposites. In *Polymers* . 2018. Vol. 10, p. 1129. .

28. KUMAR SEN, S. - RAUT, S. Microbial degradation of low density polyethylene (LDPE): A review. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* [interaktyvus]. 2015. Vol. 3, no. 1, p. 462–473. [žiūrėta 2021-10-29]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.jece.2015.01.003>.

29. GRAUNKE, T. ir kt. Organic Membranes for Selectivity Enhancement of Metal Oxide Gas Sensors. In *Journal of Sensors* . 2016. Vol. 2016, p. 1–22. .

30. MURARIU, M. - DUBOIS, P. PLA composites: From production to properties. In *Advanced Drug Delivery Reviews* [interaktyvus]. 2016. Vol. 107, p. 17–46. [žiūrėta 2021-09-23]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.addr.2016.04.003>.

31. RAJESHKUMAR, G. ir kt. Environment friendly, renewable and sustainable poly lactic acid (PLA) based natural fiber reinforced composites – A comprehensive review. In *Journal of Cleaner Production* [interaktyvus]. 2021. Vol. 310, p. 127483. [žiūrėta 2021-09-23]. . Prieiga per internetą: doi: <10.1016/j.jclepro.2021.127483>.

32. VITALIJA RUBEŽIENĖ ir kt. Šiuolaikiniai techninės tekstilės tyrimo metodai ir standartizacija | KTU e-knygos internetu. Elektroninės knygos. In [interaktyvus]. [žiūrėta 2021-10-29]. .