



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

# **Stiklo pluoštu sustiprintų plastikų tyrimai**

Baigiamasis magistro projektas

---

**Simonas Štreimikis**

Projekto autorius

doc. Ernestas Ivanauskas

Vadovas

---

**Kaunas, 2024**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

## **Stiklo pluoštu sustiprintų plastikų tyrimai**

Baigiamasis magistro projektas

Statybinių konstrukcijų ir gaminių inžinerija (6121EX008)

---

**Simonas Štreimikis**

Projekto autorius

**doc. Ernestas Ivanauskas**

Vadovas

**Prof. dr. Vitoldas Vaitkevičius**

Recenzentas

---

**Kaunas, 2024**



**Kauno technologijos universitetas**

Statybos ir architektūros fakultetas

Simonas Štreimikis

## **Stiklo pluoštu sustiprintų plastikų tyrimai**

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.

Simonas Štreimikis

*Patvirtinta elektroniniu būdu*



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS**

**Magistro baigiamojo projekto užduotis**

Studijų programa: STATYBINIŲ KONSTRUKCIJŲ IR GAMINIŲ INŽINERIJA

Baigiamojo projekto tematika (lietuvių k.):  
STIKLO PLUOŠTU SUSTIPRINTŲ PLASTIKŲ TYRIMAI

Baigiamojo projekto tema patvirtinta dekanu potvarkiu Nr.: 2023-11-30 NR. V25-09-28

(lietuvių k.):  
STIKLO PLUOŠTU SUSTIPRINTŲ PLASTIKŲ TYRIMAI

(anglų k.):  
RESEARCH ON GLASS FIBER-REINFORCED PLASTICS

**Pradiniai duomenys darbui:**

<b>Baigiamojo projekto dalys:</b>	<b>Atlikti</b>
Įvadas	<input checked="" type="checkbox"/>
Literatūros apžvalga	<input checked="" type="checkbox"/>
Metodologija	<input checked="" type="checkbox"/>
Eksperimentiniai tyrimai	<input checked="" type="checkbox"/>
Analitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Skaitiniai tyrimai	<input type="checkbox"/>
Ekonominė dalis	<input type="checkbox"/>
Išvados	<input checked="" type="checkbox"/>

**Kita informacija (pagal poreikį):**

**Vadovas:** Docentas Ernestas Ivanauskas  
(indėlis 100 %) *pareigos, vardas, pavardė*  
*Patvirtinta elektroniniu būdu*

**Konsultantas:** \_\_\_\_\_  
(indėlis \_\_\_\_\_ %) *pareigos, vardas, pavardė*

**Konsultantas:** \_\_\_\_\_  
(indėlis \_\_\_\_\_ %) *pareigos, vardas, pavardė*

**Studentas:** Simonas Štreimikis  
*vardas, pavardė*  
*Patvirtinta elektroniniu būdu*

Štreimikis, Simonas. Stiklo pluoštu sustiprintų plastikų tyrimai. Magistro baigiamasis projektas / vadovas / doc. Ernestas Ivanauskas; Kauno technologijos universitetas, Statybos ir architektūros fakultetas.

Studijų kryptis ir sritis (studijų krypčių grupė): Inžinerijos mokslai, Statybos inžinerija (E05).

Reikšminiai žodžiai: Stiklo pluoštas, Matrica, Derva, Stiklo pluoštu sustiprintas plastikas.

Kaunas, 2024. 46 p.

### **Santrauka**

Stiklo pluoštu sustiprintas plastikas yra viena inovatyviausių medžiagų statybos pramonėje, kuri dar nėra iki galo ištirta. Šis kompozitas turi nemažai pranašumu lyginant su metalais ir kitais kompozitais. Todėl norint kuo racionaliau panaudoti šią medžiagą reikia gerai iširti ir išanalizuoti savybes.

Šiame darbe buvo pagaminti stiklo pluoštu sustiprinti plastiko bandiniai panaudojant poliesterines dervas ir stiklo pluoštą keičiant stiklo pluošto sluoksnio svorį. Siekiant nustatyti kokie aplinkos veiksniai veikia labiausiai ir kokia įtaką daro stiklo pluošto sluoksnio svoris.

Magistro darbą sudaro: literatūros apžvalga, bandinių gamybos ir bandymų metodika, eksperimentinė dalis rezultatų apžvelgimas ir išvados. Literatūros apžvalgoje aptariama stiklo pluošto sustiprinto plastiko sudėtis, modeliavimas, alternatyvios medžiagos, šios medžiagos teikiamos naudos, perdirbimas, gamybą ir atlikti eksperimentai. Bandinių gamyboje aprašoma, kaip yra pagaminti bandiniai. Eksperimentinėje dalyje aprašoma bandinių poveikimas, atliekami eksperimentai, pateikiamas gautų rezultatų analizavimas ir išvados.

Šiame tyrime buvo tiriami aplinkos poveikiai (šaldymo ciklai 5% natrio chlorido tirpale, šalčio poveikis ir kaitinimo poveikis) priklausomai nuo stiklo pluošto sluoksnio svorio. Taip pat buvo atliekamas deginimo bandymas nustatyti stiklo pluošto tikslų kiekį.

Štreimikis, Simonas. Research on Glass Fiber-Reinforced Plastics. Master's Final Degree Project / supervisor / doc. Ernestas Ivanauskas; Faculty of Civil Engineering and Architecture, Kaunas University of Technology.

Study field and area (study field group): Engineering Sciences, Civil Engineering (E05).

Keywords: Glass fiber, Matrix, Resin, Glass fiber reinforced plastic.  
Kaunas, 2024. 46 p.

### **Summary**

Glass Fiber Reinforced Plastic (GFRP) is one of the most innovative materials in the construction industry that has not yet been fully researched. This composite material offers numerous advantages compared to metals and other composites. For this reason, it is important to thoroughly investigate and analyze its properties for proper usage.

For this research, samples of glass fiber reinforced plastic were produced using polyester resin and glass fiber, with variations in the weight of the glass fiber layer. The goal was to determine the environmental factors that have the most significant impact on samples and to assess how the weight of the glass fiber layer influences the material.

This research paper consists of a literature review, methodology for sample production and testing, an overview of experimental results, and conclusions. The literature review discusses the composition of GFRP, modeling, alternative materials, benefits of these materials, recycling, production, and conducted experiments. The methodology section describes the production of samples and the tests to be performed. The experimental part details the exposure of samples to environmental conditions (freezing cycles in a 5% sodium chloride solution, exposure to cold, and exposure to heat) based on the weight of the glass fiber layer.

The research aimed to identify the environmental effects on GFRP and assess how changes in the glass fiber layer's weight impact the material. The study also included a combustion test to determine the quantity of glass fiber in the samples.

## Turinys

<b>Lentelių sąrašas .....</b>	<b>8</b>
<b>Paveikslų sąrašas .....</b>	<b>9</b>
<b>Santrumpų ir terminų sąrašas .....</b>	<b>10</b>
<b>Įvadas.....</b>	<b>11</b>
<b>1. Literatūros apžvalga .....</b>	<b>12</b>
1.1. Įvadas į kompozitines medžiagas .....	12
1.1.1. Kompozitinės medžiagos.....	12
1.1.2. Stiklo pluoštas .....	12
1.1.3. Matrica– polimerinė derva .....	14
1.1.4. Stiklo pluoštu sustiprinto plastiko modeliavimas.....	15
1.2. Alternatyvi medžiaga.....	15
1.3. Stiklo pluošto susistiprinto plastiko plusai ir perdirbimas. ....	15
1.4. Stiklo pluoštu sustiprinto plastiko apdirbimas .....	16
1.4.1. Pjovimas .....	16
1.4.2. Gręžimas.....	17
1.5. Atlikti tyrimai .....	17
1.5.1. Fizinės ir mechaninės savybės.....	17
1.5.2. Neardomas defektų nustatymas .....	17
1.5.3. Ugnies atsparumas.....	18
1.5.4. Smūgio bandymas .....	18
1.5.5. Pyrolizė.....	18
1.5.6. Jūros ir vandens poveikis.....	19
1.5.7. Sprogdinimo bandymas .....	19
<b>2. Bandinių gamyba.....</b>	<b>20</b>
<b>3. Eksperimentinė dalis .....</b>	<b>22</b>
3.1. Lenkimo bandymas .....	23
3.2. Tempimo bandymas .....	31
3.3. Deginimo bandymas .....	40
3.4. Smūgio bandymas .....	43
<b>Išvados .....</b>	<b>45</b>
<b>Literatūros sąrašas .....</b>	<b>46</b>
<b>Priedai.....</b>	<b>49</b>
1 Matrica (SYNOLITE™ 8388–P–1) .....	49
2 Stiklo pluoštas (E6CRMC).....	52
3 Lenkimo diagramos pagal jėgą ir deformacija .....	53

## Lentelių sąrašas

<b>1 lentelė.</b> Pluoštų fizikinės ir mechaninės savybės [1].....	13
<b>2 lentelė.</b> Lenkimo bandymo pradiniai duomenys. ....	24
<b>3 lentelė.</b> Lenkimo bandymo duomenys ir rezultatai. ....	26
<b>4 lentelė.</b> Tempimo bandymo pradiniai duomenys. ....	32
<b>5 lentelė.</b> Tempimo bandymo duomenys ir rezultatai. ....	34



## Paveikslų sąrašas

<b>1 pav.</b> Ciklinio šaldymo kamera.....	22
<b>2 pav.</b> Kaitinimo krosnis .....	23
<b>3 pav.</b> Šaldymo kamera .....	23
<b>4 pav.</b> Lenkimo bandymas .....	28
<b>5 pav.</b> Bandiniai po lenkimo bandymo .....	28
<b>6 pav.</b> F100 bandiniai po lenkimo bandymo .....	29
<b>7 pav.</b> Lenkiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto plastiko (300g/m <sup>2</sup> ) .....	29
<b>8 pav.</b> Lenkiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto plastiko (450g/m <sup>2</sup> ) .....	30
<b>9 pav.</b> Lenkiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto (600g/m <sup>2</sup> ) .....	31
<b>10 pav.</b> Tempimo bandymo prietaisas .....	36
<b>11 pav.</b> Bandinys po tempimo(nr.1).....	36
<b>12 pav.</b> Bandinys po tempimo (nr.2).....	37
<b>13 pav.</b> Visi bandiniai po tempimo bandymo .....	37
<b>14 pav.</b> 300g/m <sup>2</sup> grupės bandiniai po tempimo bandymo .....	38
<b>15 pav.</b> Tempiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto (300g/m <sup>2</sup> ) .....	38
<b>16 pav.</b> Tempiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto (450g/m <sup>2</sup> ) .....	39
<b>17 pav.</b> Tempiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto (600g/m <sup>2</sup> ) .....	40
<b>18 pav.</b> Bandiniai prieš ir po bandymo išdeginti .....	41
<b>19 pav.</b> Po nepavykusio deginimo bandymo likęs stiklo pluoštas .....	42
<b>20 pav.</b> Vaizdas per mikroskopą į bandinį po nepavykusio deginimo bandymo.....	42
<b>21 pav.</b> Rutulio smūginio metodo schema [41] .....	43
<b>22 pav.</b> Rutulio smūginio metodo principinė schema [41] .....	43
<b>23 pav.</b> Rutulio smūginio metodo prietaisas [41] .....	44
<b>24 pav.</b> Bandiniai po 10 smūgių.....	44

## **Santrumpų ir terminų sąrašas**

### **Santrumpos:**

GFRP- glass fiber reinforced plastic (Stiklo pluoštu sustiprintas plastikas)

### **Terminai:**

Mufelis – kamera iš ugniai atsparių medžiagų

Kalcinacija – medžiagų kaitinimas, norint pašalinti iš jų lakiąsias medžiagas

## Įvadas

Dabartinėje inžinerijos ir medžiagotyros srityse akcentuojamas didelis susidomėjimas naujomis bei pažangiomis medžiagomis, kurios ne tik turi unikalias savybes, bet taip pat yra pritaikytos specifinėms pramonėms, bei inžinerijos ir konstrukcijų reikmėms. Tarp šių perspektyvių medžiagų grupių išsiskiria stiklo pluoštu sustiprinti plastikai (GFRP).

Stiklo pluoštu sustiprinti plastikai (GFRP) yra plačiai panaudojami įvairiose pramonės šakose dėl jų unikalų savybių, tokių kaip lengvumas, didelis stiprumas ir gamybos lankstumas. Šios kompozitinės medžiagos turi svarbią vietą automobilių gamyboje, vėjo jėgainių konstrukcijose ir daugelyje kitų pramonės sričių. Nepaisant plataus šios medžiagos naudojimo, iki šiol trūksta išsamių tyrimų apie GFRP kompozitų elgseną skirtingomis sąlygomis, ypač atsižvelgiant į skirtingus stiklo pluošto kiekius kompozite.[22]

Šis tyrimas sieks papildyti esamus duomenis šia tema, nagrinėjant, kaip modifikuoto stiklo pluošto kiekio variacijos GFRP kompozituose veikia jų mechanines savybes ir struktūrinį stabilumą, ypač susiduriant su skirtingais aplinkos iššūkiais. Supratimas apie tai, kaip šios variacijos veikia kompozitų elgseną, yra itin svarbus siekiant optimalaus jų pritaikymo konkrečioms sąlygoms. Tyrimo rezultatai turėtų ne tik papildyti žinias apie GFRP kompozitų elgseną, bet ir suteikti naujų įžvalgų, kurios galėtų būti taikomos kuriant patvaresnius ir efektyvesnius kompozitus.

Atliktas tyrimas – galėtų prisidėti prie duomenų apie stiklo pluoštu sustiprintų plastikų elgseną, bei prisidėti formuojant pažangias inžinerines koncepcijas ir pramonės sprendimus, kuriuose atsižvelgiama į aplinkos įtaką.

Tyrimo tikslas yra išsamiai išanalizuoti įvairias modifikuoto stiklo pluošto proporcijas, stiklo pluoštu sustiprinto plastiko kompozitų mechanines savybes ir struktūrinę charakteristikas.

Tyrimo uždaviniai:

1. atlikti išsamią esamos literatūros apžvalgą apie stiklo pluoštu sustiprintą plastiką, sutelkiant dėmesį į jų mechanines ir struktūrinę savybes;
2. įvertinti, kaip skirtingos modifikuoto stiklo pluošto proporcijos kompozituose veikia pagrindines mechanines savybes, tokias kaip tempimo stiprumas, lenkimo stiprumas, smūgio atsparumas, deginimo bandymas;
3. įvertinti, kaip skirtingos temperatūros ir kiti veiksniai paveikia kompozitinių medžiagų savybes.

## 1. Literatūros apžvalga

### 1.1. Įvadas į kompozitines medžiagas

#### 1.1.1. Kompozitinės medžiagos

Kompozitai yra medžiagos, kurios susideda iš dviejų ar daugiau skirtingų elementų. Kai kurias atvejais skirtingi elementai gali būti pagaminti iš to paties medžiagų pagrindo. Kompozito savybės visiškai skiriasi nuo jo sudedamųjų dalių savybių. Vienas iš pagrindinių kompozitinių medžiagų privalumų yra tai, kad sudedamųjų dalių savybės papildo viena kitą, dėl to gautų medžiagų savybės yra reikiamos [2,24].

Kompozitai yra medžiagos, kurios sudarytos iš trijų pagrindinių komponentų: stiklo pluošto siūlų, polimerinės matricos (dervos) ir priedų. Priedai apima kietiklius, plastifikatorius, atsparumo smūgiui modifikatorius, antipirenus, antioksidantus, antistatikus, pūtodarius, šviesos stabilizatorius, šilumos stabilizatorius ir kitas medžiagas, pvz., užpildus ar pigmentus [3].

Stiklo pluošto siūlai suteikia reikiamą stiprumą kompozitinei medžiagai, o polimerinė matrica yra skirta sujungti stiklo pluoštus į vientisumą ir apsaugoti juos. Polimerinė matrica turi apsaugoti stiklo pluoštus nuo pažeidimų ruošimo, gamybos ir eksploatacijos laikotarpiu. Matrica atskiria stiklo pluoštą ir joje pasiskirsto apkrovas, kurios perduodamos pluoštui. Matrica turi būti suderinta su pluoštu tiek chemiškai, tiek termiškai, nes ji atlieka svarbų vaidmenį saugant pluoštą nuo aplinkos poveikio [1].

Daugiausiai kompozitų gamybai, dėl santykinai nedidelės kainos, naudojamas stiklo pluoštas. Stiklo pluošto polimeriniai kompozitai plačiai naudojami įvairiose srityse, tokiose kaip kosmoso pramonė, automobilių, jūrų ir karinė pramonė. Šio pluošto populiarumą lemia geras atsparumas korozijai, lengvumas, dielektrinės charakteristikos ir geresnės bangų slopinimo charakteristikos nei metalų [4,19].

GFRP (angl. *glass fiber reinforced plastic*) kompozitai buvo sukurti tam, kad atitiktų pramonės keliamus reikalavimus didelio stiprumo medžiagoms su mažu svoriu. GFRP medžiagos pranašumai apima svorį, padidėjusį stiprumą ir sumažėjusias medžiagų bei gamybos sąnaudas. Stiklo pluoštu sustiprinti kompozitai yra naudojami inžinerijos reikmėms. Pastebima, kad tradiciškai pluoštu sustiprinti plastikai buvo naudojami dekoratyviniams ir lengvai apkrautiems konstrukcijų elementams. Tačiau vis daugiau inžinierių supranta, kad iš šių medžiagų galima gauti didelį specifinį stiprumą ir tvirtumą, todėl šios medžiagos vis dažniau naudojamos konstrukcijoms. Straipsniuose pabrėžiama pluoštu sustiprintų plastikų pranašumas panaudojant šias medžiagas, pvz., formos potencialas, gebėjimas gaminti sudėtingas geometrijas ir galimybė pritaikyti medžiagą [13,30,31].

#### 1.1.2. Stiklo pluoštas

Stiklas yra tvirta, neorganinė ir amorfinė medžiaga, pagaminta iš silicio dioksido SiO<sub>2</sub> (50–75 % masės dalimi). Stiklo storis priklauso nuo gaminių matmenų, todėl mažų skersmenų (paprastai 4–34 μm) pluoštelių stiklo tempimo stipris yra didesnis. Tai paaiškinama tuo, kad mažesniame elemento skersmenyje yra mažiau vidinių defektų ir medžiagos tempimo stipris didėja. Stikliniai pluoštai gaminami lydant stiklą per purkštukus, vadinamus filjeriais. Šiam procesui naudojamos 1,6–2 mm skersmens platinos lydinio filjerai, kuriose yra keli šimtai purkštukų. Plonos stiklo pluoštelės

formuojamos tekant stiklo lydiniui per purkštukus. Purkštuke esančio stiklo temperatūra ir lydinių tekėjimo greitis turi įtakos pluoštelių skersmeniui. Gamybos metu stiklinės pluoštelės padengiamos dangomis (klijais), kurios apsaugo atskiras pluošto gijas nuo mechaninių pažeidimų ir pagerina sukibimą su polimerine derva [5].

Stiklo pluoštai yra gaminami trimis tipais: E, S, AR. E tipo pluoštas yra susijęs su didele elektrine varža ir plačiai naudojamas plastikų armavimo pramonėje. Šis pluošto tipas yra pigiausias. S tipo pluoštas turi didesnę tempimo stiprumą ir tamprumo modulį nei E tipo pluoštas, o jo pavadinimas siejamas su naudojimu statybose. Abiejų tipų pluoštai yra jautrūs šarmų poveikiui, todėl kartais naudojamas AR tipo pluoštas, kurio pavadinimas susijęs su atsparumu šarmams [6].

E tipo stiklo pluoštas yra plačiau naudojamas pluošto tipas, sudarantis beveik 95% visos stiklo pluošto gamybos. E tipo pluoštas pasižymi dideliu stiprumo ir svorio santykiu, geru matmenų stabilumu, atsparumu šalčiui, karščiui, korozijai ir drėgmei bei geromis elektros izoliacijos savybėmis. Susmulkintų pluoštų kilimėlis (CSM) yra lakštas, kuriame yra atsitiktinai išsklaidytas kapotas stiklo pluoštas ir sukljuotas tarpusavyje [6].

**1 lentelė.** Pluoštų fizikinės ir mechaninės savybės [1]

Pluošto tipas	Tankis	Tempiamasis stipris	Tamprumo modulis	Didžiausias tempimo deformacijos	Šiluminio plėtimosi koeficientas	Puasono koeficientas
	$kg/m^3$	$MPa$	$GPa$	%	$10^{-6}/^{\circ}C$	
E – stiklas	2500	3450	72,4	2,4	5,0	0,22
S – stiklas	2500	4580	85,5	3,3	2,9	0,22
AR – stiklas	2270	1800–3500	70–76	2,0–3,0	–	–
Anglis (įprastas)	1700	3700	250	1,2	Nuo –0,6 iki –0,2	0,20
Anglis (didelio tamprumo modulio)	1950	2500–4000	350–800	0,5	Nuo –1,2 iki –0,1	0,20
Anglis (didelio stiprio)	1750	4800	240	1,1	Nuo –0,6 iki –0,2	0,20
Aramidas (Kevlar 29)	1440	2760	62	4,4	–2,0 išilginis 59 spindulys	0,35
Aramidas (Kevlar 49)	1440	3620	124	2,2	–2,0 išilginis 59 spindulys	0,35
Aramidas (Kevlar 149)	1440	3450	175	1,4	–2,0 išilginis 59 spindulys	0,35
Aramidas (Technora H)	1390	3000	70	4,4	–6,0 išilginis 59 spindulys	0,35

Pluošto tips	Tankis	Tempiamasis stipris	Tamprumo modulis	Didžiausias tempimo deformacijos	Šiluminio plėtimosi koeficientas	Puasono koeficientas
	$kg/m^3$	$MPa$	$GPa$	%	$10^{-6}/^{\circ}C$	
Aramidas (SVM)	1430	3800–4200	130	3,5	–	–
Bazaltas (Albarrie)	2800	4840	89	3,1	8,0	–

Dėl tam tikrų stiklo pluošto savybių trūkumų statybos pramonėje naudojamos kitos pluoštų rūšys, pvz., anglies, aramido arba bazalto. Pluoštų fizikinės ir mechaninės savybės pateiktos 1 lentelėje.

### 1.1.3. Matrica– polimerinė derva

Kompozitams naudojamos matricos yra polimerinės medžiagos, kurios dažnai vadinamos plastikais. Matrica kompozite atlieka tiek konstrukcinį, tiek apsauginį vaidmenį: išlaiko pluoštą vietoje ir sujungtą; perduoda įtempimus pluoštui; užtikrina barjerą nuo neigiamos aplinkos, tokios kaip cheminės medžiagos ir drėgmė; apsaugo gijų paviršių nuo mechaninio poveikio. Matrica turi mažai įtakos esant apkrovoms, tačiau daro ganą didelę įtaką kompozitui veikiant gniuždymo apkrovoms ir sulaiko pluoštą nuo klupimo ir neleidžia jam išlinkti, taip pat padeda pluoštams atlaikyti skersines jėgas. Matrica kompozite paprastai užima nuo 30 iki 60% tūrio [6,29].

Matricą sudaro nepluoštinė medžiagos dalis, kuri jungia pluoštus ir taip pat žinoma kaip polimerinė derva arba rišiklis. Plačiausiai naudojami polimerai yra poliesteris, vinilesteris ir epoksidinė derva, o polimero tipas priklauso nuo turimų gamybos būdų ir reikiamų mechaninių savybių. Vinilesteris turi didesnę standumą nei epoksidas ar poliesteris, nepaisant pluošto formos, bet jis yra brangesnis. Todėl poliesterio derva arba vinilesterio ir poliesterio mišinys dažniausiai naudojami GFRP kompozitinių profilių gamyboje. Tačiau tais atvejais, kai gali kilti problemų dėl patvarumo ir patikimumo, tinkamiausias pasirinkimas yra vinilesterio ir poliesterio mišinys [6].

Pagal technologines savybes kompozitams gaminti naudojamos matricos yra skiriamos į dvi pagrindines grupes: termoreaktyviosios ir termoplastinės dervos [7, 8, 9].

Termoreaktyviosios dervos yra polimerai, turintys tinklinę struktūrą. Tinklinės struktūros polimerai gaunami iš linijinių polimerų juos veikiant didelės energijos spinduliais ar šildant specialiais priedais. Šios dervos beveik nesideformuoja, kaitinamos nesilydo ir išlaiko formą bei būseną. Jos netinka pakartotiniam perdirbimui ir kaitinamos negrįžta į klampų būvį, o esant aukštai temperatūrai termiškai suyra [10].

Termoplastinės dervos turi linijinę arba šakotą struktūrą. Šios rūšies polimerai minkštėja didėjant temperatūrai ir kietėja vėl atvėsus. Jeigu nepasikeičia cheminė sudėtis ir molekulinė struktūra, šie polimerai gali daug kartų iš kietos ir labai elastingos būsenos pasidaryti klampiai takūs ir atvirkščiai. Dėl nestipraus polimero grandžių tarp molekulinio ryšio gaminių yra elastingi [10].

#### **1.1.4. Stiklo pluoštu sustiprinto plastiko modeliavimas**

Šiandien projektuojami ir gaminami produktai yra ribojami daugybės veiksnių, tokių kaip ekonominiai, aplinkosauginiai, našumo, kokybės ir vartotojų kultūros. Todėl pramonė daro vis didesnę spaudimą inžinieriams ir medžiagų tiekėjams kurti naujas ir tobulesnes medžiagas. Šios naujos medžiagos keičia įprastas, tačiau turi atitikti bent jau tokį patį reikalingą našumo lygį, bet su mažesne specifine mase ir mažesnėmis sąnaudomis. Dėl šios priežasties kompozitinių medžiagų kategorija yra labai plėtojama. Stiklo pluoštu sustiprinti termoplastikai naudojami gaminti įvairius komponentus. Tačiau kartu su privalumais, sustiprinti termoplastikai taip pat atneša sunkumų projektavime, gamyboje ir medžiagos charakteristikose darbo elgesio prognozavimui. Šie sunkumai apima sąsajos jungimą mikrolygmenyje, naujus ir sudėtingus gedimo kriterijus ir kt. Todėl sustiprintos termoplastinės medžiagos yra daugelio akademinių ir pramoninių tyrimų komandų dėmesio centre [21].

Kuriant medžiagos modelį, galintį apibūdinti kompozitinės medžiagos mikromechaninį elgesį, sudarytą iš matricos ir sustiprinto stiklo pluošto įdėklų. Kompozitinės medžiagos modelį sukūrė specializuota programa „Digimat“, naudodama savo „Mean–Field“ ir „Finite Element“ modulius. Gauti rezultatai parodė, kad sukurtas mikromechaninis modelis yra gerai suderintas su eksperimentiniais duomenimis, leidžiantis naudoti šį modelį atliekant virtualų struktūros elgsenos modeliavimą ir prognozuojant jos mechaninę elgseną [21].

#### **1.2. Alternatyvi medžiaga**

Naujas sintetinių ir natūralių pluoštų hibridinis kompozitas, kuris yra lengvas, stiprus ir turi gerą atsparumą vandeniui. Aprašyto tyrimo metu buvo naudojamas stiklo ir sisalio pluoštas. Sisalio pluoštas buvo apdorojamas natrio–oksidanido tirpalu, kad pagerintų jo mechanines savybes. Epoksidinis junginys buvo naudojamas kaip matrica, o pluoštų orientacija buvo keičiama kas antrą sluoksnį. Tyrimas parodė, kad apdoroto sisalio pluošto kompozitas sugeria mažiau vandens ir turi geresnius tempimo rodiklius nei neapdorotas sisalio pluošto kompozitas. Šis tyrimas gali paskatinti tolesnę tokio tipo medžiagų tyrinėjimą ir plėtrą, nes sintetinių ir natūralių pluoštų hibridinis kompozitas gali būti naudojamas kaip lengvas, stiprus ir vandeniui atsparus medžiagų pasirinkimas [23,26].

#### **1.3. Stiklo pluošto susistiprinto plastiko pliusai ir perdirbimas.**

Stiklo pluoštu sustiprintas plastikas (GFRP) inžinieriniuose projektuose suteikia kelis privalumus palyginti su metalinėmis alternatyvomis. GFRP yra ilgaamžis, aplinkai draugiškas ir ekonomišką medžiagos variantas, turintis didelį tempimo stiprumą, ne laidumą elektros srovei, cheminį atsparumą ir korozijos atsparumą. GFRP atlaiko ekstremalias aplinkas ir yra atsparus chlorido jonams, demonstruodamas savo ilgaamžiškumą. GFRP gali būti alternatyva, tokiems kaip aliuminis ir plienas, susiduriančiais su įprastiniais korozijos iššūkiais. Stiklas turi amorfinę struktūrą, todėl jo savybės yra identiškos tiek per pluoštą, tiek skersai per jį. GFRP yra atsparus nuolatiniam deformavimui, priešinasi staigiems ir intensyviems taškinio krūvio poveikiams, ir sugrįžta į savo pradinę formą patyręs staigų smūgį. GFRP atsparumas ir ilgaamžiškumas sumažina remonto ar pakeitimo išlaidas, nes jis lengvai gali būti pjautas ir formuojamas naudojant įprastines rankines technikas. GFRP atsparus drėgmei ir reikalauja minimalaus remonto darbų. Dauguma GFRP atliekų, kaip ir kitų pramonės atliekų, yra palaidojamos po žeme, dėl ko sukelia žalą žmogaus sveikatai ir aplinkai. GFRP sudarytas iš dviejų ar daugiau pagrindinių komponentų, kurie turi labai skirtingas chemines arba

fizikinės savybės. Nepaisant didelės rinkos vertės ir nuolatinės plėtros, GFRP kompozitų paklausa yra didelė. Tai lėmė padidėjusią GFRP atliekų perdirbimą. Įvairūs metodai yra naudojami GFRP atliekoms perdirbti. Literatūros apžvalga parodė, kad galima panaudoti GFRP atliekas cementui ir betonui gaminti, ir pateikti įvairius panaudojimo galimybių aspektus. Tačiau labai ribotas darbas buvo atliktas, siekiant išnaudoti GFRP atliekas gaminant polimerinius hibridinius kompozitus [14,20].

Dar vienas perdirbimo būdas, kuris taikomas stiklo pluoštu armuotiems termoplastiniams kompozitams, yra pagamintas iš jonomerų ir žemo tankio polietileno (LDPE) mišinio su 40% masės dalimi stiklo pluošto. Šiuos kompozitus tirpinant, polimeras ir stiklo pluoštai buvo atskirti filtruojant, siekiant atgauti stiklo pluoštą ir polimero matricą. Atgauti pluoštai buvo panaudoti gaminant kompozitus, juos įtraukiant į tą pačią polimero matricą. Kokybės požiūriu šie pluoštai buvo lygūs naujiems pluoštams [37].

## **1.4. Stiklo pluoštu sustiprinto plastiko apdirbimas**

### **1.4.1. Pjovimas**

Apdirbant stiklo pluošto kompozitą yra didelė problema dėl jo didelio kietumo, inertiškumo ir atsparumo ugniai. Stiklo pluoštu sustiprinti plastikai (GFRP) yra ypač abrazyvūs; todėl būtina tinkamai pasirinkti pjovimo įrankius ir pjovimo parametrus, kurie nulemia apdirbimo procesus. GFRP kompozito apdirbimo mechanizmai gerokai skiriasi nuo metalų. Apdirbant GFRP, dėl stiprios pluošto medžiagos greitai nusidėvi įrankiai ir dėl to gaunama prasta paviršiaus apdaila. Įrankio nusidėvėjimo mažinimas yra svarbus aspektas GFRP kompozito apdirbimui. Apdirbtą kompozitą sunku valdyti, įskaitant paviršiaus šiurkštumą, liekamuosius įtempius ir vidinius pažeidimus dėl įvairių pluošto ir matricos mechaninių savybių. Pabrėžiama, kad GFRP kompozitai, turintys stiklo pluoštus, yra labai abrazyvūs, todėl tinkamo pjovimo įrankio ir pjovimo parametro pasirinkimas yra labai svarbus. Be to, nustatyta, kad aliuminio bazės keramikiniai pjovimo įrankiai yra efektyvūs ir geba gauti gerą paviršiaus šiurkštumą didesniu pjovimo greičiu [17,18,28].

Apžvelgtame literatūros analizės tyrime buvo naudojamas stiklo pluoštu audinys ir epoksidinės dervos su kietikliu derinys, iš kurio buvo pagaminti bandiniai naudojant lazerio ir mechaninių pjovimo būdus. Mechaninių ir lazerinių pjovimo būdų pagaminti bandiniai buvo testuojami remiantis atitinkamais ASTM standartais, siekiant nustatyti tempimo, lenkimo ir kietumo savybes. Skenuojančiosios elektroninės mikroskopijos (SEM) analizuojamos siekiant įvertinti paviršiaus vientisumą ir lūžimo charakteristikas. Galiausiai, palyginus gautus rezultatus, buvo nustatyta, kuris pjovimo būdas suteikia geriausias mechanines savybes. Mechaninio pjovimo būdu gauti mėginiai parodė geriausias tempimo ir lenkimo savybes, o lazerio pjovimo būdu gauti mėginiai parodė panašias kietumo savybes, tačiau blogesnes tempimo ir lenkimo savybes. SEM parodė, kad lazerio pjovimo būdu gauti mėginiai turi pažeistą paviršiaus vientisumą, kuris yra laikomas tempimo ir lenkimo savybių praradimo priežastimi, nors lūžimo charakteristikos išlieka panašios [11,13].

Iš literatūros galima pastebėti, kad polikristalinis deimantas (PCD), kubinis boro nitridas (CBN) ir polikristalinis kubinis boro nitridas (PCBN) yra plačiausiai naudojami GFRP medžiagoms apdirbti. Nes PCD ir PCBN įrankiai užtikrina lygiavertį našumą apdirbant kietas medžiagas, nors keraminiai pjovimo įrankiai yra pigesni nei PCD ir PCBN įrankiai [16].



## 1.4.2. Gręžimas

Literatūros šaltiniuose nagrinėjami trys skirtingi gręžimo būdai: konvencinis gręžimas, vibracijos pagalba atliekamas gręžimas ir ultragarso pagalba atliekamas gręžimas. Aprašytas tyrimas parodė, kad konvencinio gręžimo procese didžiausią įtaką išsisluoksniavimui turi įrankio medžiaga ir gręžimo greitis. Pastebėta, kad didžiausiame gręžimo greityje ir kietesnėje įrankio medžiagoje buvo mažiausias išsisluoksniavimo lygis. Vibracijos pagalba atliekamas gręžimas ir ultragarso pagalba atliekamas gręžimas turi mažesnę jėgą ir dėl to turi mažesnę išsisluoksniavimo lygį, lyginant su konvenciniu gręžimu. Todėl abu šie būdai yra tinkamesni GFRP gręžimui. Šis tyrimas taip pat nagrinėjo išsisluoksniavimo mechanizmus ir parametrinę GFRP kompozitų gręžimo studiją. Rekomenduojamas mažas padavimo greitis ir didelis sukimo greitis, siekiant sumažinti gręžimo sukeltą išsisluoksniavimą ir padidinti įrankio tarnavimo laiką [12,20,40].

Tačiau didžiausias susirūpinimas kyla dėl laminato pažeidimų, kurie gali atsirasti gręžimo metu. Todėl yra apžvelgiamas eksperimentinių bandymų kompleksas su plonais laminatais, kuriuose keičiamas skylučių stūmiklio atstumas. Be to, buvo atliekamos gręžimo skylutės siekiant palyginti gręžimo ir stūmimo procesų kokybę ir stiprumą. Norint įvertinti proceso parametrų įtaką skylučių kokybei ir mechaninėms charakteristikoms buvo atlikti tempimo bandymai su centrine skylute ir guolio bandymais. Remiantis gautais rezultatais, pažeidimas, kurį sukelia stūmimo procesas, ypač mažinant stūmiklio atstumą, yra ribotas ir palyginamas su tuo, kurį sukelia gręžimo procesas [25].

## 1.5. Atlikti tyrimai

### 1.5.1. Fizinės ir mechaninės savybės.

Mechaninių savybių, tokių kaip tempimo, smūgio ir lenkimo tyrimai parodė, kad šie kompozitai turi mažą vandens įsiskverbimo lygį ir didelį lenkiamąjį stiprį, todėl jie yra tinkami naudoti statyboms. Taip pat buvo atlikti fizikiniai tyrimai, tokie kaip vandens įsiskverbimo tyrimas ir FTIR analizė. Tyrimas buvo atliktas naudojant rankinį formavimo metodą su stiklo pluoštu, surinktu iš stiklo fabriko. Kompozitai buvo pagaminti su skirtingais stiklo pluošto kiekiais, nuo 30 iki 50 masės %, siekiant nustatyti išsamias jų charakteristikas. Fizinės ir cheminės charakteristikos, tokios kaip masės tankis, specifinis svoris, pH ir laidumas, buvo nustatytos, taip pat buvo atliktas X-ray fluorescencijos (XRF) tyrimas. Rezultatai parodė, kad stiklo pluošte yra daugiau silicio. Šio tyrimo rezultatai yra svarbūs, nes jie rodo, kad stiklo pluošto sustiprinti plastikiniai atliekų kompozitai gali būti naudojami statybos tikslams. Šie kompozitai yra ekologiški ir turi gerą mechaninį atsparumą, todėl jie yra patikimi ir tinkami naudoti įvairiose statybos srityse [22,34].

Atliktas tyrimas padėjo nustatyti, kaip mikrodalelių masės procentas gali paveikti stiklo pluoštu ir SiC–B4C mikrodalelėmis sustiprinto epoksidinio kompozito mechanines savybes. Eksperimento metu buvo stebimas šis procesinis parametras, siekiant padidinti kompozito stiprumą ir standumą. Rezultatai parodė, kad B4C mikrodalelių kiekis turi didelę įtaką kompozito stiprumui, tačiau tik iki tam tikro kiekio – viršijus 8% stiprumas pradeda mažėti. Be to, stebėta, kad B4C ir SiC mikrodalelių derinys leidžia pasiekti dar didesnę stiprumo padidėjimą [38].

### 1.5.2. Neardomas defektų nustatymas

Terahercų spektroskopijos sistema, skirta paslėptiems daugiasluoksnių išsisluoksniavimų aptikimui stiklo pluoštu armuoto plastiko kompozituose. Nagrinėjami neardančiosios vertinimo (NDE)

metodai, pvz., rentgeno spinduliai, skysto penetranto, magnetinių dalelių ir ultragarso bangos, kiekvienam iš jų yra trūkumų. Terahercų inspekciniai metodai neseniai buvo plėtojami, kad būtų galima išspręsti šias problemas. Terahercų bangos biologiniam audiniui nesukelia žalos, suteikia aukštą erdvinę skiriamąją gebą ir nereikalauja skysčio junginio. Straipsnyje aprašoma naudota THz–TDS atvaizdavimo sistema ir pateikiami eksperimentiniai rezultatai su paslėptų daugiasluoksnių išsisluoksniavimo vertinimu. Darbo išvados rodo, kad terahercų spektroskopijos sistema sėkmingai aptiko ir atvaizdavo paslėptus išsisluoksniavimus stiklo pluoštu armuotame plastiko kompozite, rodydama, kad ši sistema gali būti plačiai naudojama vertinant kompozitų struktūrų patikimumą kaip neardančiosios vertinimo metodą [15].

### 1.5.3. Ugnies atsparumas

Autoriai nustatė, kad degantis epoksidas išskiria daug dūmų ir dujų, kurių degimo metu kyla pavojus gyvybėms ir turtui. Todėl jie analizavo, kaip galima sumažinti šios medžiagos degimo riziką, įtraukiant ugniai atsparius junginius į polimerų matricą ir suteikiant apsauginius, ugniai atsparius sluoksnius kompozitui. Be to, autorius Shazzuan Shahari ir kiti autoriai analizavo geopolimerio. Kurių tikslas yra gerinti ugnies atsparumą epoksidinėms medžiagoms, ir pateikė ateities tyrimų potencialą, susijusį su geopolimerio galimybe būti vienu iš ugniai atsparių junginių, skirtų pagerinti stiklo skaidulomis sustiprinto epoksidinio kompozito ugnies atsparumą [21,27].

### 1.5.4. Smūgio bandymas

Nagrinėjamas stiklo pluoštu sustiprinto plastiko kompozitas, kuris yra gautas naudojant drėgną padėjimo procesą. Tyrime buvo siekiama nustatyti, kaip keičiasi stiklo pluoštu sustiprinto plastiko savybės. Be to, stiklo pluoštas buvo kombinuojamas su įvairiomis medžiagomis, siekiant sukurti hibridinį natūralų kompozitą. Rezultatai parodė, kad įvairių cheminių bandymų metu stiklo pluoštu sustiprinto plastiko svoris kito skirtingai priklausomai nuo naudotų chemikalų. Pavyzdžiui, naudojant 1% azoto rūgšties, svoris sumažėjo 0,51%, naudojant 1% geležies chlorido rūgšties – 0,507%, o naudojant 5% aliuminio hidroksido – 0,369%. Pažymėta, kad stiklo pluoštu sustiprinto plastiko korozijos atsparumas yra didžiausias 5% natrio hidroksido tirpale ir mažiausias 20% sieros rūgščiai. Taip pat iš Izo smūgio bandymo rezultatų matyti, kad vienakryptėje išdėstymo struktūroje smūgio stiprumas buvo maksimalus, o ortogonaliam išdėstyme – minimalus [24].

### 1.5.5. Pyrolizė

Nustatant piroklizės charakteristikas stiklo pluoštu armuotiems plastikams (GFRP) esant izoterminėms sąlygoms nuo 500 iki 1000 °C temperatūros naudojant termosvorinį reaktorių (TBR) ir metalinio tinklo reaktorių (WMR), buvo nustatyti GFRP kinetikos parametrai, naudojant aktyvacijos energiją 28,17 kJ/mol, dažnio veiksnį  $2,12 \text{ s}^{-1}$  ir reakcijos tvarką 0,48–0,8. Charakteristinės GFRP reikšmės buvo nustatytos naudojant BET, SEM ir FTIR technikas. Eksperimentiniai rezultatai parodė, kad didėjant temperatūrai ir reakcijos laikui, polimerų skilimas palankus temperatūrai nuo 600 iki 1000 °C su būsenos laiku nuo 2 iki 10 s. Šio tyrimo išvados gali būti naudingos tolesniems tyrimams, siekiant didinti efektyvumą ir mažinti aplinkos taršą perdurbant plastikos atliekas [32].

Autoriai nustatė GFRP pirolizės profilį, aktyvacijos energiją ir dujų išsiskyrimo greitį naudodami termogravimetrinę analizę ir pirolizės įrenginį, kurie buvo naudojami neizoterminėmis sąlygomis šildant nuo 500 iki 900 °C su kaitinimo greičiais nuo 5 iki 20 °C/min. GFRP pagrindiniai sudedamieji dujų komponentai yra anglies monoksidas ir vandenilio dujos, gaunamos iš polimero ir eterio skilimo.

GFRP anglies charakteristikos buvo nustatytos naudojant BET, SEM ir FTIR technikas. Straipsnis taip pat aptaria GFRP perdirbimo metodus ir problemą susijusią su stiklo pluošto komponentų susilyginimu ir užsikimšimu reaktoriuje, dėl ko dauguma GFRP medžiagų yra nukreipiamos į sąvartynus. Tyrimo rezultatai gali būti naudingi suprantant GFRP pirolizės ir dujų susidarymo procesus [33].

#### **1.5.6. Jūros ir vandens poveikis**

Tyrėjai išnagrinėjo kelis veiksnius, turinčius įtakos mechaninėms kompozitų savybėms. Siekdami nustatyti saugumo faktorius, kuriuos galima naudoti jūrų statybos struktūrų projektavimo skaičiavimuose. Tyrimai parodė, kad stiklo ir epoksidinės dervos kompozitinės medžiagos yra saugiausios naudoti jūrų statyboje, nes mechaninių savybių degradacija stabilizuojasi, pasiekus drėgmės pasotrinimo lygį. Tačiau reikia atlikti daugiau UV ir vandens ciklinių tyrimų, siekiant nustatyti pažeidimų įtaką gniuždymo stiprumui. Tik vinilesterio dervos GFRP gali turėti problemas dėl biodegradacijos, o jūros vandens aplinka neturi įtakos GFRP nuovargio savybėms [35].

Labai aktualu ir ekologija, todėl buvo analizuojamas stiklo pluoštu sustiprintų plastikinių atliekų mechaninės savybės po drėgmės poveikio. Tyrimo metu buvo nustatyta, kad difuzijos ir patinimo koeficientai skiriasi trijose pagrindinėse kompozito ašyse. Pirmieji koeficientai yra didžiausi stiklo pluošto ašies kryptimi, o antrieji – ties stiklo pluoštu ašies kryptimi, bet už sluoksnių plokštumos. Pastebėta, kad mėginiams skirtingo dydžio masės padidėjimo ir tūrio deformacijos kinetika skiriasi, o tai leido įvertinti porų tūrį, užpildytu vandeniu. Buvo pastebėta, kad iš plonų stiklo pluošto bandinių išpjauti mėginiai turi didelę duomenų sklaidą. Kraštinių bandinių tankis yra mažesnis ir jie rodo mažesnes elastingumo ir stiprumo savybes. Mėginiai, sudrėkinti iki prisotrinimo lygio, rodo mažesnę lankstumo modulį ir stiprumą, kai kurie parametrai sumažėjo nuo 8% iki 16,5% atitinkamai. Nėra pastebėtas drėgmės poveikis, kuris veikia kompozito tempimo modulį ir stiprumą. Šie rezultatai yra svarbūs, nes jie rodo, kad stiklo pluoštu sustiprintu plastikų atliekų kompozitai gali būti naudojami įvairiuose statybiniuose projektuose, tačiau jų ilgaamžiškumas gali būti paveiktas drėgmės [36].

#### **1.5.7. Sprogdinimo bandymas**

Šiame tyrime, pavadinimu „Experimental and numerical investigation on dynamic behaviors of glass fiber reinforced polymer plates under explosion loadings“, buvo atlikti lauko sprogdimo testai, siekiant ištirti stiklo pluoštu sustiprintų polimerinių plokščių pažeidimą sprogdimo metu. Bendruoju bruožu, tyrime buvo gaminami ir testuojami šeši mėginiai. Taip pat nagrinėjami sprogdimo masės ir atstumo poveikiai stiklo pluoštu sustiprintoms polimerinėms plokštėms. Eksperimentiniai rezultatai parodė, kad artimojo sprogdimo atveju stiklo pluoštu sustiprintų polimerinių plokščių pažeidimas dažniausiai buvo susijęs su krateriu viršutinėje pusėje, tempimo plyšiu nugaros pusėje ir nedideliu atplaišymu. Kraterio pažeidimas buvo stebimas ant plokščių viršutinės pusės, o apačios paviršius generavo atplaišymo pažeidimą. Kontaktinio sprogdimo metu plokštėje susidarydavo skylė. Be to, nagrinėjami sprogdimo masės poveikio stiklo pluoštu sustiprintų polimerinių plokščių pažeidimo mechanizmo aspektai. Šio tyrimo tikslas yra suteikti naudingų rekomendacijų sprogdimui atsparių apsauginių konstrukcijų projektavimui, įskaitant optimalius stiklo pluoštų sluoksnių sustiprinimo naudojimo būdus ir struktūrinių elementų geometrijos aspektus. Šie rezultatai gali būti naudingi kuriant efektyvias ir saugas konstrukcijas, atsparias sprogdimui [39].

## 2. Bandinių gamyba

Bandomosios plokštės, skirtos medžiagų tyrimams, gali būti gamintos trimis būdais:

1. pluoštai impregnuojami skysta derva ir dedami į formas bandinių gamybai, kuriose derva kietėja veikiant temperatūrai ir slėgiui, vadovaujantis dervos gamintojo nurodymais;
2. iš anksto įmirkytieji audiniai (prepreg) dedami į formas, kuriose kietėja veikiant slėgiui ir temperatūrai;
3. audiniai impregnuojami skysta derva ir dedami į formas, kuriose kietėja kambario arba aukštesnėje temperatūroje be slėgio poveikio, vadovaujantis dervos gamintojo nurodymais;

Iš šių trijų būdų, bandymams pasirenkamas trečiasis, nes yra pigiausias ir nereikalauja daug papildomos sudėtingos įrangos ir žinių, tai leidžia šį metodą naudoti tiems, kurie neturėjo ankstesnės patirties su kompozitinėmis medžiagomis. Bandinių gamybai naudojamos dvi plokštės su lygiais paviršiais, kurios yra bent 400x400 mm dydžio. Rekomenduojama naudoti stiklo plokštes, nes pašvietus iš apačios yra lengviau aptinkami susidarę oro burbulai.

Audinių klojimas prasideda nuo to, kad formos padengiama skiriamuoju sluoksniu. Toliau apatinė formos dalis padengiama plonu dervos sluoksniu. Klojamas vienas audinio sluoksnius, kuris yra voleliu prispaudžiamas prie formos, kad anksčiau ant formos užtepta derva persigertų per audinį. Tik kai audinys yra permirkęs derva, vėl užtepamas toks pat kiekis dervos ir dedamas dar vienas audinio sluoksnius. Kiti sluoksniai klojami atitinkamai, kiekvieną iš jų gerai prispaudžiant ir pašalinant susidarančius oro burbulus. Išklodus visus audinio sluoksnius, ant paskutiniojo sluoksniu supilama likusi derva ir tolygiai paskirstoma paviršiuje. Kai visi sluoksniai persigeria, voleliu ir mentele perteklinė derva paskirstoma po visą plokštės paviršių, užtikrinant, kad visi visų audinio sluoksnių kraštai įsigertų.

Svarbi formavimo dalis yra antrosios formos dalies uždėjimas ant išdėliotų audinių. Formos kampuose yra tarpikliai, kurie užtikrina tolygų formuojamos plokštės storį. Formos turi būti kuo greičiau uždėdamos, vos uždengus paskutinį audinio sluoksnį ir atlikus kitas procedūras. Tada jos turi būti spaudžiamos, kol atsiremia į tarpiklius. Svarbu neviršyti 5 mm/min spaudimo greičio, kad audinio sluoksniai nesiliestų ir nekiltų problemų su pluoštų orientacija, plokštės dydžiu ar oro burbulais.

Bandiniai formose kietėja 48 valandas aukštesnėje ar kambario temperatūroje. Tačiau jei forma yra kaitinama, prieš išimanti ruošinį jis turi būti bent 1 valandą atvėsintas kambario temperatūroje. Formą reikia kaitinti ar ne, priklausomai nuo dervos, naudojamo audinio savybių ir formavimo technologijos. Po išėmimo iš formos, ruošinys laikomas standartinės atmosferos sąlygomis 21 dieną ant lygaus paviršiaus arba iškaitinamas pagal dervos gamintojo nurodymus.

Buvo svarstomi trys bandinių pjovimo būdai: lazerinis pjovimas, pjovimas abrazyvine vandens srove ir mechaninis pjovimas. Atsižvelgiant į atliktą literatūros analizę buvo pasirinktas mechaninis pjovimas.

Mechaninis pjovimas yra pasirinktas bandinių gamybai, nes bandinių kraštai nebus pažeisti skysčiais, o terminis poveikis bus minimalus. Mechaninis pjovimas atliekamas specialiomis priemonėmis ir

staklėmis, leidžiančiomis išgauti reikiamą formą, o tolimesnį apdirbimą atlieka šlifavimo popierius. Tačiau šio metodo trūkumai yra didelė pjaunamosios medžiagos išėiga, greitas įrankio dilimas ir ilgas darbo procesas. Toliau atliekamas šlifavimas, kad būtų pašalinta sukietėjusi derva, o audinio pluoštai liktų nepažeisti.

### 3. Eksperimentinė dalis

Tyrimas buvo atliekamas naudojant tris skirtingus bandinių tipus, visi pagaminti iš tos pačios poliesterinės dervos (SYNOLITE™ 8388–P–1), tačiau keičiant stiklo pluošto sluoksnių tipus. Šie bandiniai apėmė stiklo pluošto sluoksnius su svoriais 300 g/m<sup>2</sup>, 450 g/m<sup>2</sup> ir 600 g/m<sup>2</sup> (E6CRMC300, E6CRMC450 ir E6CRMC600). Tyrimui atlikti buvo sukurti penki bandinių rinkiniai, kiekviename rinkinyje buvo visi trys bandinių tipai. Pirmasis bandinių rinkinys buvo dedamas į šaldymo kamerą ir laikomas pagal normatyvinio dokumento LST 1428.17 reikalavimus. Šie bandiniai buvo veikiami natrio sulfato tirpalo 5% ir 100 šalčio ciklų (1 pav.). Antrasis bandinių rinkinys buvo dedamas į šaldymo kamerą ir laikomas pagal normatyvinio dokumento LST 1428.17 reikalavimus. Bandiniai buvo natrio sulfato tirpalo 5% ir 200 šalčio ciklų (1 pav.). Trečiasis bandinių rinkinys buvo veikiamas kaitinimo krosnies, kuri pasiekė 100 laipsnių Celsijaus temperatūrą, ir šie bandiniai buvo laikomi šioje temperatūroje 48 valandas (2 pav.). Ketvirtasis bandinių rinkinys buvo dedamas į specializuotą šaldymo kamerą, kur temperatūra buvo sumažinta iki –20 laipsnių Celsijaus, ir jie buvo šaldomi 48 valandas (3 pav.). Penktasis bandinių rinkinys yra kontrolinis. Šie eksperimentai buvo atliekami siekiant įvertinti bandinių elgesį skirtingomis temperatūromis, taip pat įvertinti stiklo pluošto sluoksnio svorio poveikį bandinių savybėms (tempimui, lenkimui ir atsparumui smūgiams). Tyrimas buvo atliktas siekiant gauti išvalgų apie tai, kaip bandiniai pasirodytų įvairiomis sąlygomis, siekiant suprasti jų elgesį praktinėse inžinerinėse situacijose [42].



1 pav. Ciklinio šaldymo kamera



2 pav.. Kaitinimo krosnis



3 pav. Šaldymo kamera

### 3.1. Lenkimo bandymas

Atliekant lenkimo bandymą stiklo pluoštu sustiprintam plastikui, reikia laikytis ASTM D790 standarto metodų [43]. Pagrindiniai žingsniai:

1. Paruošti bandiniai turi būti stačiakampio skerspjūvio, pagaminti liejant arba išpjauti iš formos.

2. Bandinio plotis turėtų būti ne didesnis nei ketvirtadalis ilgio.
3. Bandinys turi būti padedamas ant dviejų atramų ir apkraunamas per vidurį naudojant apkrovas.
4. Bandymo metu fiksuojamas apkrovos ir išlinkio duomenys. Bandymas tęsiamas iki bandinio lūžio arba pasiekiamas maksimalus išlinkis (5% deformacija), priklausomai nuo bandinio savybių.
5. Svarbu laikytis tikslių matavimų, tinkamos apkrovos greičio ir teisingai fiksuoti duomenis.

Šių bandymų schemas ir principai yra panašūs į bandymus, kurie yra naudojami nustatant tarp sluoksnių šlyties atsparumą. Lenkimo bandymais galima nustatyti bandinio stiprumą lenkiant ( $\sigma_b$ ), lenkimo įtempius ( $\sigma_f$ ) ir tamprumo modulį ( $E_b$ ).

Bandinys yra dedamas į lenkimo bandymo aparatą ir yra apkraunamas tolygiai didinant apkrovą 5 mm/min greičiu. Bandinio deformacija yra fiksuojama kaip laiko funkcija. Lenkimo stiprumas apskaičiuojamas pagal (1) formulę:

$$\sigma_b = \frac{3 \times P \times l}{3 \times b \times h^2} \quad (1)$$

Čia: P – apkrova negrįžtamos deformacijos metu (N), b – bandinio plotis (mm), h – bandinio aukštis (mm), l – atstumas tarp atramų (mm).

Lenkimo įtempiai apskaičiuojami pagal (2) formulę:

$$\sigma_b = \frac{3 \times F \times L}{3 \times b \times h^2} \quad (2)$$

Čia: F – jėga (N), L – bandinio ilgis (mm), b – bandinio plotis (mm), h – bandinio aukštis (mm).

Tamprumo modulis  $E_b$  apskaičiuojamas pagal (3) formulę:

$$E_b = \frac{P \times l}{10 \times b \times h^3 \times (f_2 - f_1)} \quad (3)$$

Čia:  $f_1$  – įlinkis, esant 0,1 PR (mm),  $f_2$  – įlinkis, esant 0,5 PR (mm).

Pradiniai duomenys ir rezultatai pateikti 2 ir 3 lentelėje.

**2 lentelė.** Lenkimo bandymo pradiniai duomenys.

Bandinys	Ilgis, mm	Plotis, mm				Aukštis, mm			
		Pradžia	Vidurys	Pabaiga	Vidurkis:	Pradžia	Vidurys	Pabaiga	Vidurkis:
M.S 30.10	400,00	20,10	20,10	20,00	20,07	19,90	20,40	20,40	20,23
M.S 30.11	400,00	20,00	19,90	19,90	19,93	19,90	20,30	20,00	20,07
M.S 30.12	400,00	19,90	20,00	19,90	19,93	19,70	20,50	20,30	20,17
M.S 30.13	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,70	20,40	20,10	20,07
M.S 30.14	400,00	19,90	20,10	20,00	20,00	19,40	19,60	19,20	19,40
M.S 30.15	400,00	19,90	20,00	20,00	19,97	20,30	20,50	19,40	20,07
M.S 30.16	400,00	19,90	19,90	19,80	19,87	19,40	20,50	20,20	20,03
M.S 30.17	400,00	20,00	20,10	20,10	20,07	20,30	20,80	19,60	20,23



Bandinys	Ilgis, mm	Plotis, mm				Aukštis, mm			
		Pradžia	Vidurys	Pabaiga	Vidurkis:	Pradžia	Vidurys	Pabaiga	Vidurkis:
M.S 30.18	400,00	19,80	20,00	19,90	19,90	19,50	20,60	20,40	20,17
M.S 30.19	400,00	20,00	19,90	19,90	19,93	19,50	20,10	20,00	19,87
M.S 30.20	400,00	19,80	20,10	20,00	19,97	20,90	21,30	19,80	20,67
M.S 30.21	400,00	20,00	19,90	19,90	19,93	19,80	21,20	20,70	20,57
M.S 30.22	400,00	20,00	19,90	19,90	19,93	18,70	19,50	18,20	18,80
M.S 30.23	400,00	20,00	19,90	20,10	20,00	21,20	21,50	19,90	20,87
M.S 30.24	400,00	20,00	20,10	20,00	20,03	17,90	19,00	17,90	18,27
M.S 30.25	400,00	19,90	19,90	20,00	19,93	20,30	20,30	19,40	20,00
M.S 30.26	400,00	19,80	19,90	19,90	19,87	20,30	20,50	19,40	20,07
M.S 30.27	400,00	20,00	19,80	19,80	19,87	19,40	20,20	20,30	19,97
M.S 45.10	400,00	19,90	19,80	19,90	19,87	16,50	18,70	19,80	18,33
M.S 45.11	400,00	19,90	19,90	19,90	19,90	16,30	18,60	19,60	18,17
M.S 45.12	400,00	19,80	19,80	19,90	19,83	16,20	16,80	19,50	17,50
M.S 45.13	400,00	19,80	19,80	19,90	19,83	16,70	18,90	20,00	18,53
M.S 45.14	400,00	19,90	19,80	19,90	19,87	14,60	17,10	17,60	16,43
M.S 45.15	400,00	19,80	19,80	20,00	19,87	16,10	19,00	19,20	18,10
M.S 45.16	400,00	19,80	19,80	19,80	19,80	16,30	19,20	19,40	18,30
M.S 45.17	400,00	19,80	19,80	19,80	19,80	15,30	17,90	18,20	17,13
M.S 45.18	400,00	19,80	19,80	19,80	19,80	16,10	18,60	18,80	17,83
M.S 45.19	400,00	19,90	19,90	19,90	19,90	16,40	18,90	20,00	18,43
M.S 45.20	400,00	19,80	19,90	20,00	19,90	16,60	18,90	19,90	18,47
M.S 45.21	400,00	19,70	19,80	19,90	19,80	16,70	19,10	19,60	18,47
M.S 45.22	400,00	19,60	19,20	19,60	19,47	16,40	19,20	19,50	18,37
M.S 45.23	400,00	19,80	19,80	19,90	19,83	16,40	18,80	19,60	18,27
M.S 45.24	400,00	19,80	19,80	20,10	19,90	16,50	19,00	19,50	18,33
M.S 45.25	400,00	20,00	19,90	19,80	19,90	16,80	19,00	19,40	18,40
M.S 45.26	400,00	19,90	19,90	19,90	19,90	16,30	18,90	19,40	18,20
M.S 45.27	400,00	20,00	19,90	20,00	19,97	16,10	18,40	19,40	17,97
M.S 60.10	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	17,50	16,80	16,80	17,03
M.S 60.11	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	17,50	17,40	16,50	17,13
M.S 60.12	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	17,70	17,00	16,70	17,13
M.S 60.13	400,00	19,90	19,80	20,00	19,90	17,10	17,30	15,80	16,73
M.S 60.14	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	17,50	16,90	16,60	17,00
M.S 60.15	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	15,90	16,00	15,00	15,63
M.S 60.16	400,00	20,10	20,00	20,20	20,10	17,40	17,60	16,40	17,13
M.S 60.17	400,00	19,90	19,90	20,20	20,00	17,20	16,80	16,60	16,87
M.S 60.18	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	17,50	16,80	16,70	17,00
M.S 60.19	400,00	20,00	19,90	20,10	20,00	17,70	16,80	16,60	17,03

Bandinys	Ilgis, mm	Plotis, mm				Aukštis, mm			
		Pradžia	Vidurys	Pabaiga	Vidurkis:	Pradžia	Vidurys	Pabaiga	Vidurkis:
M.S 60.20	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	17,60	16,80	16,70	17,03
M.S 60.21	400,00	20,00	19,90	20,00	19,97	17,70	17,50	16,40	17,20
M.S 60.22	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	15,30	15,40	14,30	15,00
M.S 60.23	400,00	20,00	19,90	19,90	19,93	17,60	16,80	16,60	17,00
M.S 60.24	400,00	19,90	19,90	19,90	19,90	17,00	16,80	17,60	17,13
M.S 60.25	400,00	19,90	19,90	19,90	19,90	16,60	16,80	15,60	16,33
M.S 60.26	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	17,50	17,20	16,60	17,10
M.S 60.27	400,00	20,00	20,00	20,00	20,00	17,60	17,00	16,50	17,03

**3 lentelė.** Lenkimo bandymo duomenys ir rezultatai.

Bandinys	Svoris, g	Bandymas	Poveikis	Rezultatai, kN	Bandymo programa
M.S 30.10	214,50	Lenkimas	F200	6,88	Programa 205
M.S 30.11	211,80	Lenkimas	F200	7,28	Programa 206
M.S 30.12	213,90	Lenkimas	F200	7,80	Programa 207
M.S 30.13	213,60	Lenkimas	F200	6,98	Programa 208
M.S 30.14	207,10	Lenkimas	F100	6,86	Programa 168
M.S 30.15	212,90	Lenkimas	F100	7,75	Programa 169
M.S 30.16	211,00	Lenkimas	F100	7,76	Programa 170
M.S 30.17	215,20	Lenkimas	F100	8,08	Programa 171
M.S 30.18	212,90	Lenkimas	Šalčio kamera	7,86	Programa 217
M.S 30.19	210,40	Lenkimas	Šalčio kamera	7,29	Programa 218
M.S 30.20	218,60	Lenkimas	Šalčio kamera	8,16	Programa 219
M.S 30.21	217,10	Lenkimas	Kaitinimo kamera	8,75	Programa 196
M.S 30.22	202,90	Lenkimas	Kaitinimo kamera	7,15	Programa 197
M.S 30.23	220,80	Lenkimas	Kaitinimo kamera	7,49	Programa 198
M.S 30.24	196,50	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	8,00	Programa 182
M.S 30.25	212,00	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	7,77	Programa 183
M.S 30.26	212,10	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	7,76	Programa 184
M.S 30.27	211,20	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	7,75	Programa 185
M.S 45.10	195,00	Lenkimas	F200	6,03	Programa 209
M.S 45.11	194,50	Lenkimas	F200	6,55	Programa 210
M.S 45.12	192,70	Lenkimas	F200	5,83	Programa 211
M.S 45.13	195,30	Lenkimas	F200	6,45	Programa 212
M.S 45.14	179,10	Lenkimas	F100	6,84	Programa 172
M.S 45.15	191,80	Lenkimas	F100	5,65	Programa 173
M.S 45.16	194,10	Lenkimas	F100	6,95	Programa 174
M.S 45.17	185,60	Lenkimas	F100	6,28	Programa 175
M.S 45.18	191,40	Lenkimas	Šalčio kamera	6,27	Programa 220

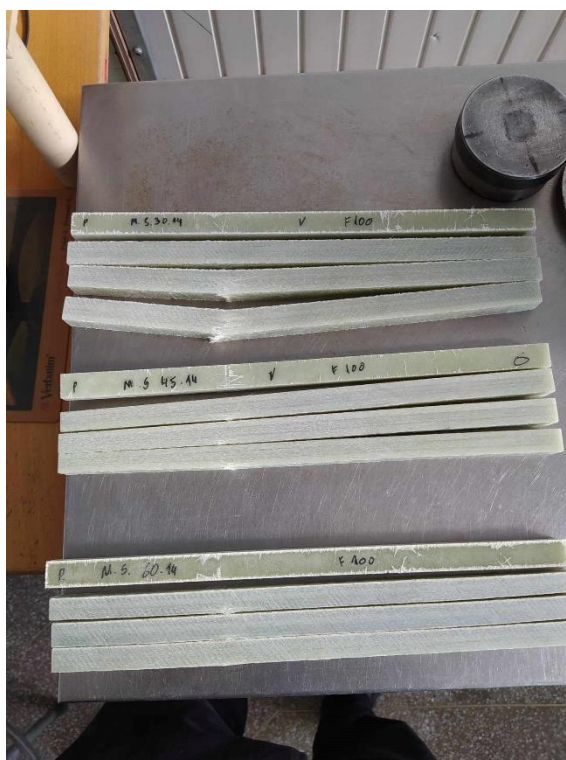
<b>Bandinys</b>	<b>Svoris, g</b>	<b>Bandymas</b>	<b>Poveikis</b>	<b>Rezultatai, kN</b>	<b>Bandymo programa</b>
M.S 45.19	194,80	Lenkimas	Šalčio kamera	6,25	Programa 221
M.S 45.20	194,30	Lenkimas	Šalčio kamera	6,75	Programa 222
M.S 45.21	194,20	Lenkimas	Kaitinimo kamera	7,24	Programa 199
M.S 45.22	189,00	Lenkimas	Kaitinimo kamera	7,08	Programa 200
M.S 45.23	194,60	Lenkimas	Kaitinimo kamera	7,33	Programa 201
M.S 45.24	194,80	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	7,16	Programa 186
M.S 45.25	193,80	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	6,75	Programa 187
M.S 45.26	193,50	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	6,45	Programa 188
M.S 45.27	193,70	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	6,80	Programa 189
M.S 60.10	192,60	Lenkimas	F200	7,33	Programa 213
M.S 60.11	196,00	Lenkimas	F200	7,89	Programa 214
M.S 60.12	195,00	Lenkimas	F200	7,59	Programa 215
M.S 60.13	192,50	Lenkimas	F200	7,51	Programa 216
M.S 60.14	193,20	Lenkimas	F100	7,15	Programa 176
M.S 60.15	184,00	Lenkimas	F100	8,28	Programa 177
M.S 60.16	195,00	Lenkimas	F100	7,73	Programa 178
M.S 60.17	191,60	Lenkimas	F100	7,68	Programa 179
M.S 60.18	193,40	Lenkimas	Šalčio kamera	7,76	Programa 223
M.S 60.19	193,20	Lenkimas	Šalčio kamera	7,43	Programa 224
M.S 60.20	194,10	Lenkimas	Šalčio kamera	7,79	Programa 225
M.S 60.21	194,70	Lenkimas	Kaitinimo kamera	8,53	Programa 202
M.S 60.22	178,70	Lenkimas	Kaitinimo kamera	7,52	Programa 203
M.S 60.23	193,10	Lenkimas	Kaitinimo kamera	8,07	Programa 204
M.S 60.24	193,80	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	8,10	Programa 190
M.S 60.25	189,20	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	7,97	Programa 191
M.S 60.26	195,90	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	8,49	Programa 192
M.S 60.27	194,80	Lenkimas	Kontrolinis bandinys	8,22	Programa 193



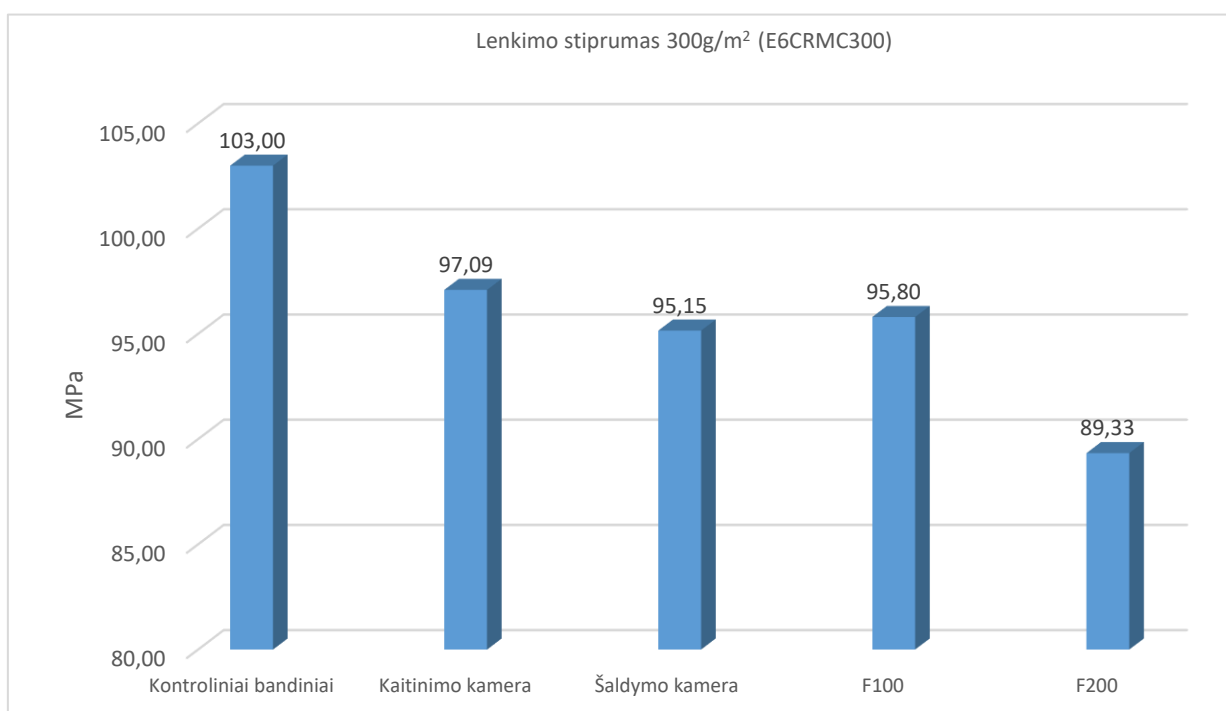
**4 pav. Lenkimo bandymas**



**5 pav. Bandiniai po lenkimo bandymo**



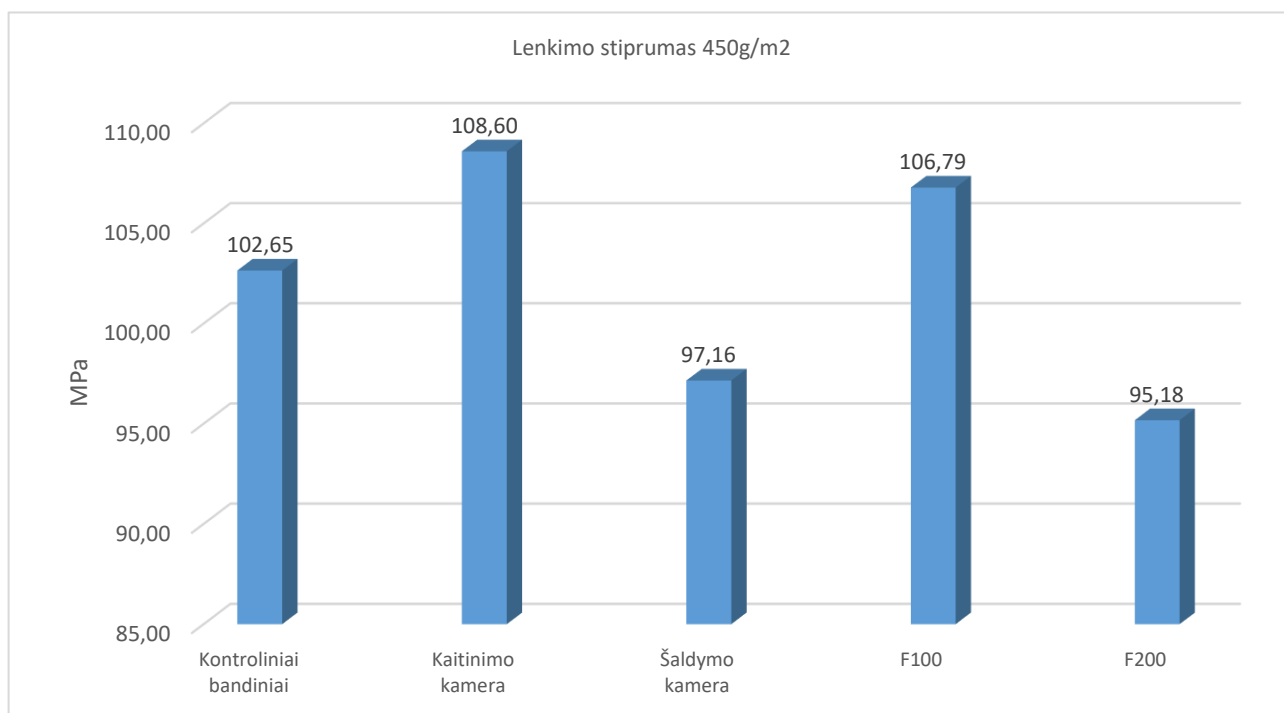
**6 pav.** F100 bandiniai po lenkimo bandymo



**7 pav.** Lenkiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto plastiko (300g/m<sup>2</sup>)

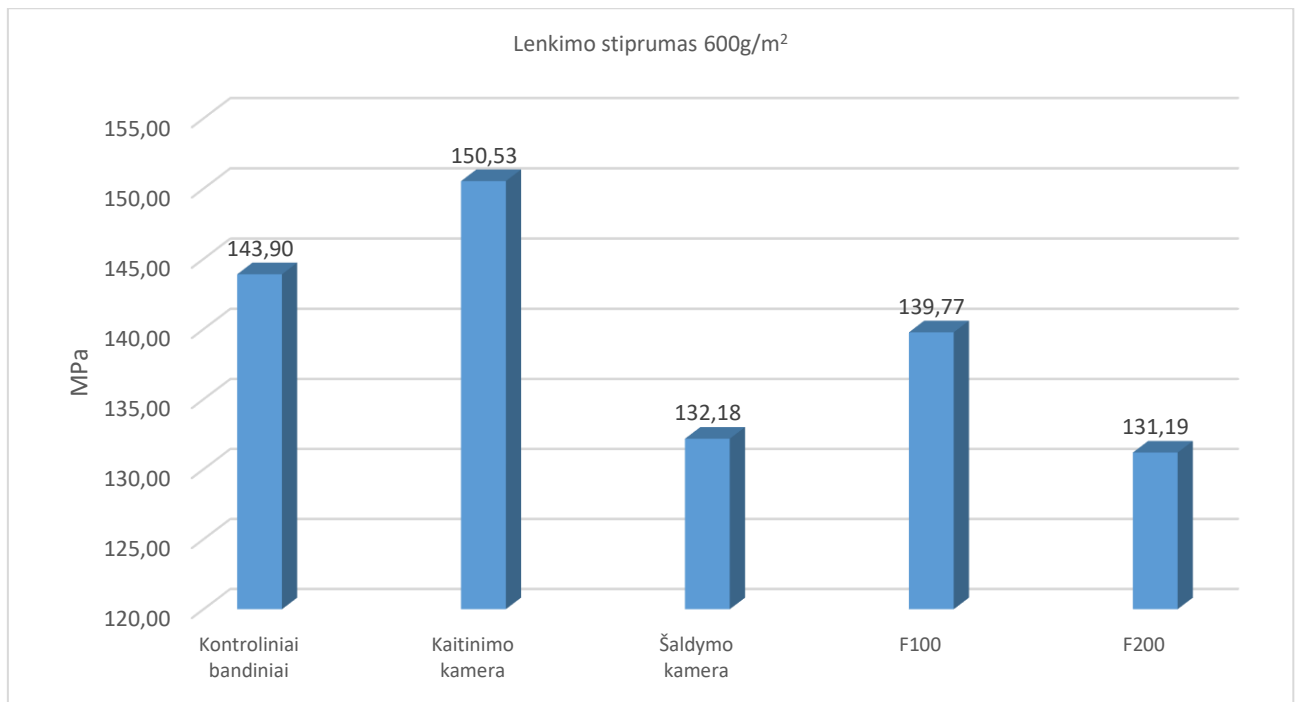
Iš pateiktų diagramos duomenų (7 pav.) matyti, kad išbandžius bandinius su stiklo pluoštu kurio sluoksnio svoris yra 300 g/m<sup>2</sup>, Kontroliniai bandiniai parodė geriausius rezultatus ir pasiekė 103 MPa rezultatą. Krosnyje buvę bandiniai parodė apie 5,73% mažesnę lenkiamąjį stiprumą lyginant su kontroliniais bandiniais, tuo tarpu šaldymo kameros bandiniai turėjo maždaug 7,61% mažesnę lenkiamąjį stiprumą nei kontroliniai bandiniai. Kita vertus, F100 bandiniai, kuriems buvo atlikti šimtas šaldymo ir atšildymo ciklų 5% natrio chlorido tirpale, parodė 6,98% silpnesnius rezultatus, tuo tarpu F200 mėginiai parodė 13,24% silpnesnius rezultatus. Šie rezultatai suteikia įžvalgų, kaip

skirtingos sąlygos veikia bandinius, priklausančius stiklo pluoštui kurio sluoksnio svoris 300 g/m<sup>2</sup> grupei, lenkiamąjį stiprumą.



**8 pav.** Lenkiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto plastiko (450g/m<sup>2</sup>)

Iš pateiktų duomenų (8 pav.) matyti, kad išbandžius bandinius su stiklo pluoštu kurio sluoksnio svoris yra 450 g/m<sup>2</sup>. Kontroliniai bandiniai pasiekė 102,65 MPa rezultatą. Krosnyje buvę bandiniai parodė apie 5,79% didesnę lenkiamąjį stiprumą lyginant su kontroliniais bandiniais, tuo tarpu šaldymo kameros bandiniai turėjo maždaug 5,35% mažesnę lenkiamąjį stiprumą nei kontroliniai bandiniai. Šiuo atveju F100 bandiniai, kuriems buvo atlikti šimtas šaldymo ir atšildymo ciklų 5% natrio chlorido tirpale, parodė 4,04% didesnius rezultatus, tuo tarpu F200 mėginiai parodė 7,28% silpnesnius rezultatus. Šie rezultatai suteikia įžvalgų, kaip skirtingos sąlygos veikia bandinius, priklausančius stiklo pluoštui kurio sluoksnio svoris 450 g/m<sup>2</sup> grupei, lenkiamąjį stiprumą.



**9 pav.** Lenkiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto ( $600\text{g/m}^2$ )

Iš pateiktų duomenų (9 pav.) matyti, kad išbandžius bandinius su stiklo pluoštu kurio sluoksnio svoris yra  $600\text{ g/m}^2$ . Kontroliniai bandiniai pasiekė  $143,90\text{ MPa}$  rezultatą. Krosnyje buvę bandiniai parodė apie  $4,61\%$  didesnę lenkiamąją stiprumą lyginant su kontroliniais bandiniais, tuo tarpu šaldymo kameros bandiniai turėjo maždaug  $8,15\%$  mažesnę lenkiamąją stiprumą nei kontroliniai bandiniai. Šį kartą F100 bandiniai, kuriems buvo atlikti šimtas šaldymo–atšildymo ciklų  $5\%$  natrio chlorido tirpale, parodė  $2,87\%$  silpnesnius rezultatus, tuo tarpu F200 mėginiai parodė  $8,83\%$  silpnesnius rezultatus. Šie rezultatai suteikia įžvalgų, kaip skirtingos sąlygos veikia bandinius, priklausančius stiklo pluoštui kurio sluoksnio svoris  $600\text{ g/m}^2$  grupei, lenkiamąją stiprumą.

### 3.2. Tempimo bandymas

Atliekant tempimo bandymą stiklo pluoštu sustiprintam plastikui, reikia laikytis ISO 527-1:2012 standarto reikalavimais [44]. Pagrindiniai žingsniai:

1. Parenkami tinkami bandiniai pagal formą bei matmenis nurodytus standarte.
2. Naudojama tempimo bandymo mašina, kuri atitinka ISO 7500-1 ir ISO 9513 standartus, ir kitus reikiamus matavimo įrenginius.
3. Atlikti tempimo bandymai pagal standarto nustatyta traukos greitį ir užfiksuoti duomenis apie jėgą.
4. Duomenų analizė skaičiuojama pagal standarto nurodymus tempimo stiprį ir kitus parametrus.
5. Svarbu laikytis tikslių bandymo sąlygų ir užtikrinti, kad bandymas būtų atliktas pagal nustatytus standarto reikalavimus.

Šių bandymų metu gali būti nustatomi tokie kompozitinės medžiagos parametrai kaip tempimo stiprumo riba ( $\sigma$ ), santykinis pailgėjimas iki suirimo ( $a$ ), tamprumo modulis (ET).

Visi bandiniai bandomi tempiant juos išilgine pluoštui kryptimi. Bandymas atliekamas standartinės atmosferos sąlygomis, jei kitaip nenurodoma bandymo ataskaitoje.

Galima naudoti pažangesnes bandymo mašinas, kad būtų galima gauti įtempimo kreivę, pagal kurią galima apskaičiuoti tamprumo modulį ir Puasono koeficientą. Šis metodas yra nurodomas ir standartuose.

Šios formules yra naudojamos siekiant apipavidalinti arba išreikšti gautus bandymų duomenis skaitiniais dydžiais.

Stiprumo riba:

$$\sigma_T = \frac{P}{b \times h} \quad (4)$$

Čia: P – apkrova bandinio suirimo momentu (N); b – bandinio plotis (mm); h – bandinio storis (mm); l – atstumas tarp atramų (mm).

Pluošto stiprumo riba:

$$\sigma_f = \frac{P \times \rho_f}{n \times b \times M_f} \quad (5)$$

Čia: n – sluoksnių skaičius; M<sub>f</sub> – audinio sluoksnio masė plotui (g/m<sup>2</sup>); ρ<sub>f</sub> – audinio tankis (kg/m<sup>3</sup>).

Tamprumo modulio nustatymas:

$$\sigma_T = \frac{0,4P}{b \times h \times (\varepsilon_B - \varepsilon_A)} \quad (6)$$

Čia: ε<sub>B</sub> – medžiagos tamprumas lygiagrečiai pluoštui atitinkantis PR/2; ε<sub>A</sub> – medžiagos tamprumas lygiagrečiai pluoštui atitinkantis PR/10.

Santykinio pailgėjimo iki suirimo skaičiavimas:

$$a = \frac{100 \times A_g}{L_0} \quad (7)$$

Čia: A<sub>g</sub> – atstumo tarp gnybtų pailgėjimas iki bandinio suirimo (mm); L<sub>0</sub> – pradinis bandinio ilgis tarp gnybtų (mm).

Pradiniai duomenys ir rezultatai pateikti 4 ir 5 lentelėje.

**4 lentelė.** Tempimo bandymo pradiniai duomenys.

Bandinys	Ilgis, mm	Plotis, mm				Aukštis, mm			
		Pradžia	Vidury	Pabaiga	Vidurkis:	Pradžia	Vidury	Pabaiga	Vidurkis:
M.S 30.28	400,00	24,80	24,90	25,00	24,90	16,20	16,00	15,00	15,73
M.S 30.29	400,00	24,90	24,80	24,90	24,87	16,90	17,10	15,60	16,53
M.S 30.30	400,00	25,00	24,90	25,00	24,97	17,00	17,60	15,80	16,80
M.S 30.31	400,00	25,00	25,10	25,00	25,03	16,60	17,70	17,50	17,27



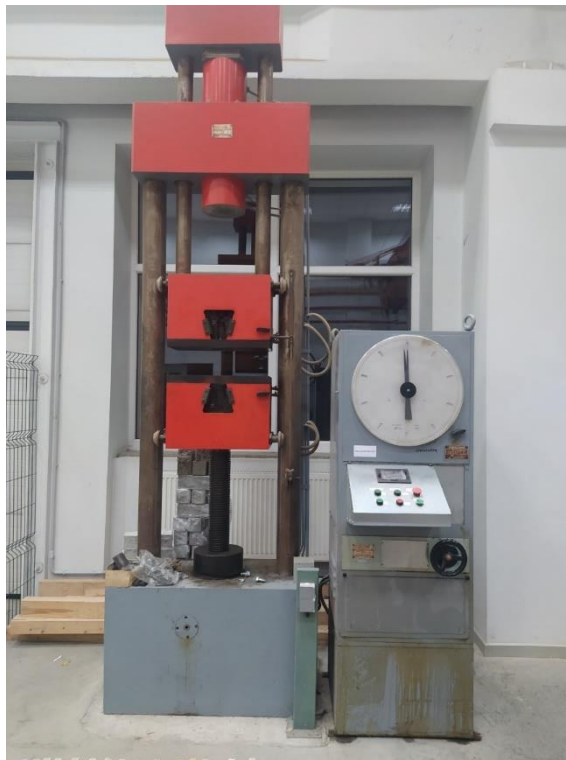
Bandinys	Ilgis, mm	Plotis, mm				Aukštis, mm			
		Pradžia	Vidurys	Pabaiga	Vidurkis:	Pradžia	Vidurys	Pabaiga	Vidurkis:
M.S 30.32	400,00	24,90	24,90	24,80	24,87	15,70	17,10	16,90	16,57
M.S 30.33	400,00	24,80	24,90	24,70	24,80	17,10	17,00	15,60	16,57
M.S 30.34	400,00	24,90	24,90	24,70	24,83	17,50	17,90	16,60	17,33
M.S 30.35	400,00	24,80	24,90	24,90	24,87	17,30	17,00	15,50	16,60
M.S 30.36	400,00	24,90	24,80	24,80	24,83	17,50	17,30	16,00	16,93
M.S 30.37	400,00	24,80	24,90	24,80	24,83	16,80	17,00	15,70	16,50
M.S 30.38	400,00	24,90	25,00	25,00	24,97	17,00	17,50	15,70	16,73
M.S 30.39	400,00	25,00	25,00	24,90	24,97	17,00	17,80	15,90	16,90
M.S 30.40	400,00	25,10	25,00	24,80	24,97	17,50	17,60	16,30	17,13
M.S 30.41	400,00	24,80	24,60	24,80	24,73	17,00	17,90	15,90	16,93
M.S 30.42	400,00	24,60	24,70	24,70	24,67	17,20	17,70	15,80	16,90
M.S 30.43	400,00	25,00	24,80	24,90	24,90	17,00	17,60	15,80	16,80
M.S 30.44	400,00	24,70	24,80	24,90	24,80	16,60	16,60	15,40	16,20
M.S 30.45	400,00	24,90	24,80	24,90	24,87	17,20	17,60	15,90	16,90
M.S 45.28	400,00	24,90	25,00	25,00	24,97	18,00	20,10	19,20	19,10
M.S 45.29	400,00	25,00	25,00	24,90	24,97	17,90	19,90	19,50	19,10
M.S 45.30	400,00	24,90	25,00	25,00	24,97	18,00	19,90	18,90	18,93
M.S 45.31	400,00	25,00	25,00	25,00	25,00	18,30	18,80	17,50	18,20
M.S 45.32	400,00	25,00	24,90	25,00	24,97	18,60	20,10	20,00	19,57
M.S 45.33	400,00	25,10	25,00	25,10	25,07	18,00	20,10	19,70	19,27
M.S 45.34	400,00	25,20	25,00	25,10	25,10	18,00	19,20	18,30	18,50
M.S 45.35	400,00	25,00	24,90	25,10	25,00	18,40	19,00	18,20	18,53
M.S 45.36	400,00	25,00	25,00	25,10	25,03	18,50	20,20	19,60	19,43
M.S 45.37	400,00	24,90	25,00	25,00	24,97	18,40	19,90	19,30	19,20
M.S 45.38	400,00	25,00	24,90	25,00	24,97	18,10	19,90	18,90	18,97
M.S 45.39	400,00	25,00	25,00	25,00	25,00	17,80	18,20	17,30	17,77
M.S 45.40	400,00	24,90	25,00	24,90	24,93	17,10	17,80	16,90	17,27
M.S 45.41	400,00	25,10	25,00	25,10	25,07	18,20	19,80	19,30	19,10
M.S 45.42	400,00	25,00	25,00	25,00	25,00	19,50	19,80	18,30	19,20
M.S 45.43	400,00	25,00	24,90	24,90	24,93	19,20	19,60	17,90	18,90
M.S 45.44	400,00	24,90	24,80	24,90	24,87	17,70	19,30	19,00	18,67
M.S 45.45	400,00	25,00	24,90	25,00	24,97	18,10	19,20	18,90	18,73
M.S 60.28	400,00	25,00	25,00	24,90	24,97	11,10	12,20	12,70	12,00
M.S 60.29	400,00	25,10	24,90	24,90	24,97	11,50	13,10	13,60	12,73
M.S 60.30	400,00	25,00	25,00	25,00	25,00	11,60	13,20	13,40	12,73
M.S 60.31	400,00	25,00	24,80	24,80	24,87	13,30	12,70	10,80	12,27
M.S 60.32	400,00	24,90	24,90	24,90	24,90	11,40	12,30	13,00	12,23

Bandinys	Ilgis, mm	Plotis, mm				Aukštis, mm			
		Pradžia	Vidury	Pabaiga	Vidurkis:	Pradžia	Vidury	Pabaiga	Vidurkis:
M.S 60.33	400,00	25,00	25,00	25,00	25,00	12,20	12,60	10,70	11,83
M.S 60.34	400,00	25,00	24,90	24,90	24,93	10,90	12,60	13,20	12,23
M.S 60.35	400,00	24,90	25,00	24,80	24,90	12,80	12,50	10,20	11,83
M.S 60.36	400,00	24,80	25,00	24,80	24,87	11,50	12,60	13,30	12,47
M.S 60.37	400,00	25,00	25,00	25,00	25,00	13,50	13,50	11,50	12,83
M.S 60.38	400,00	24,60	24,90	24,80	24,77	10,20	12,10	11,30	11,20
M.S 60.39	400,00	24,70	24,90	24,90	24,83	11,00	12,50	12,00	11,83
M.S 60.40	400,00	25,00	24,90	24,90	24,93	11,60	12,50	13,40	12,50
M.S 60.41	400,00	25,00	24,80	24,80	24,87	11,50	13,10	13,60	12,73
M.S 60.42	400,00	24,90	24,90	24,80	24,87	11,70	12,80	13,50	12,67
M.S 60.43	400,00	25,00	25,00	25,00	25,00	11,40	12,80	13,40	12,53
M.S 60.44	400,00	25,10	25,00	24,90	25,00	11,40	12,80	13,20	12,47
M.S 60.45	400,00	25,00	25,00	25,00	25,00	11,40	12,60	13,20	12,40

**5 lentelė.** Tempimo bandymo duomenys ir rezultatai.

Bandinys	Svoris, g	Bandymas	Poveikis	Rezultatai, kN
M.S 30.28	209,90	Tempimas	F200	30,50
M.S 30.29	218,70	Tempimas	F200	31,00
M.S 30.30	221,80	Tempimas	F200	30,00
M.S 30.31	23,00	Tempimas	F200	31,50
M.S 30.32	220,50	Tempimas	F100	32,50
M.S 30.33	216,50	Tempimas	F100	33,00
M.S 30.34	229,20	Tempimas	F100	32,50
M.S 30.35	218,40	Tempimas	F100	33,00
M.S 30.36	221,70	Tempimas	Šalčio kamera	31,00
M.S 30.37	219,00	Tempimas	Šalčio kamera	32,50
M.S 30.38	222,80	Tempimas	Šalčio kamera	31,00
M.S 30.39	226,20	Tempimas	Kaitinimo kamera	30,00
M.S 30.40	228,20	Tempimas	Kaitinimo kamera	28,50
M.S 30.41	222,20	Tempimas	Kaitinimo kamera	29,50
M.S 30.42	221,60	Tempimas	Kontrolinis bandinys	29,00
M.S 30.43	223,00	Tempimas	Kontrolinis bandinys	27,50
M.S 30.44	213,20	Tempimas	Kontrolinis bandinys	32,00
M.S 30.45	222,60	Tempimas	Kontrolinis bandinys	31,15
M.S 45.28	256,60	Tempimas	F200	34,60
M.S 45.29	258,70	Tempimas	F200	32,70
M.S 45.30	255,70	Tempimas	F200	38,60

<b>Bandinys</b>	<b>Svoris, g</b>	<b>Bandymas</b>	<b>Poveikis</b>	<b>Rezultatai, kN</b>
M.S 45.31	244,40	Tempimas	F200	37,70
M.S 45.32	261,80	Tempimas	F100	37,00
M.S 45.33	263,60	Tempimas	F100	37,00
M.S 45.34	249,70	Tempimas	F100	35,50
M.S 45.35	247,80	Tempimas	F100	37,30
M.S 45.36	262,90	Tempimas	Šalčio kamera	38,50
M.S 45.37	257,70	Tempimas	Šalčio kamera	37,60
M.S 45.38	254,80	Tempimas	Šalčio kamera	35,30
M.S 45.39	240,50	Tempimas	Kaitinimo kamera	33,60
M.S 45.40	235,70	Tempimas	Kaitinimo kamera	38,30
M.S 45.41	258,30	Tempimas	Kaitinimo kamera	39,10
M.S 45.42	258,30	Tempimas	Kontrolinis bandinys	29,80
M.S 45.43	255,80	Tempimas	Kontrolinis bandinys	32,40
M.S 45.44	253,00	Tempimas	Kontrolinis bandinys	39,90
M.S 45.45	251,10	Tempimas	Kontrolinis bandinys	38,30
M.S 60.28	170,70	Tempimas	F200	38,60
M.S 60.29	177,30	Tempimas	F200	39,90
M.S 60.30	177,80	Tempimas	F200	40,70
M.S 60.31	172,00	Tempimas	F200	37,10
M.S 60.32	171,70	Tempimas	F100	39,60
M.S 60.33	169,10	Tempimas	F100	41,90
M.S 60.34	171,10	Tempimas	F100	37,80
M.S 60.35	167,40	Tempimas	F100	36,50
M.S 60.36	172,00	Tempimas	Šalčio kamera	37,10
M.S 60.37	178,60	Tempimas	Šalčio kamera	38,10
M.S 60.38	159,70	Tempimas	Šalčio kamera	38,60
M.S 60.39	165,50	Tempimas	Kaitinimo kamera	37,40
M.S 60.40	174,90	Tempimas	Kaitinimo kamera	40,10
M.S 60.41	176,60	Tempimas	Kaitinimo kamera	39,20
M.S 60.42	176,40	Tempimas	Kontrolinis bandinys	40,30
M.S 60.43	176,40	Tempimas	Kontrolinis bandinys	41,20
M.S 60.44	173,90	Tempimas	Kontrolinis bandinys	40,20
M.S 60.45	173,90	Tempimas	Kontrolinis bandinys	32,90



**10 pav.** Tempimo bandymo prietaisas



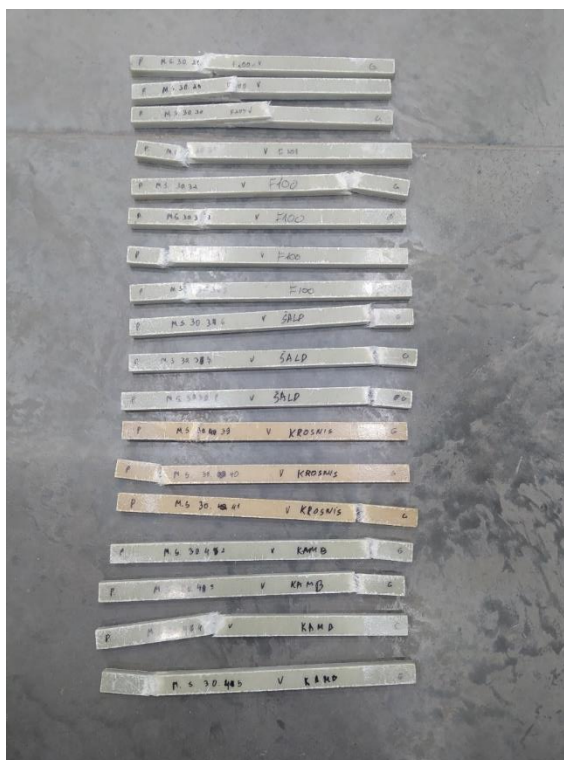
**11 pav.** Bandinys po tempimo(nr.1)



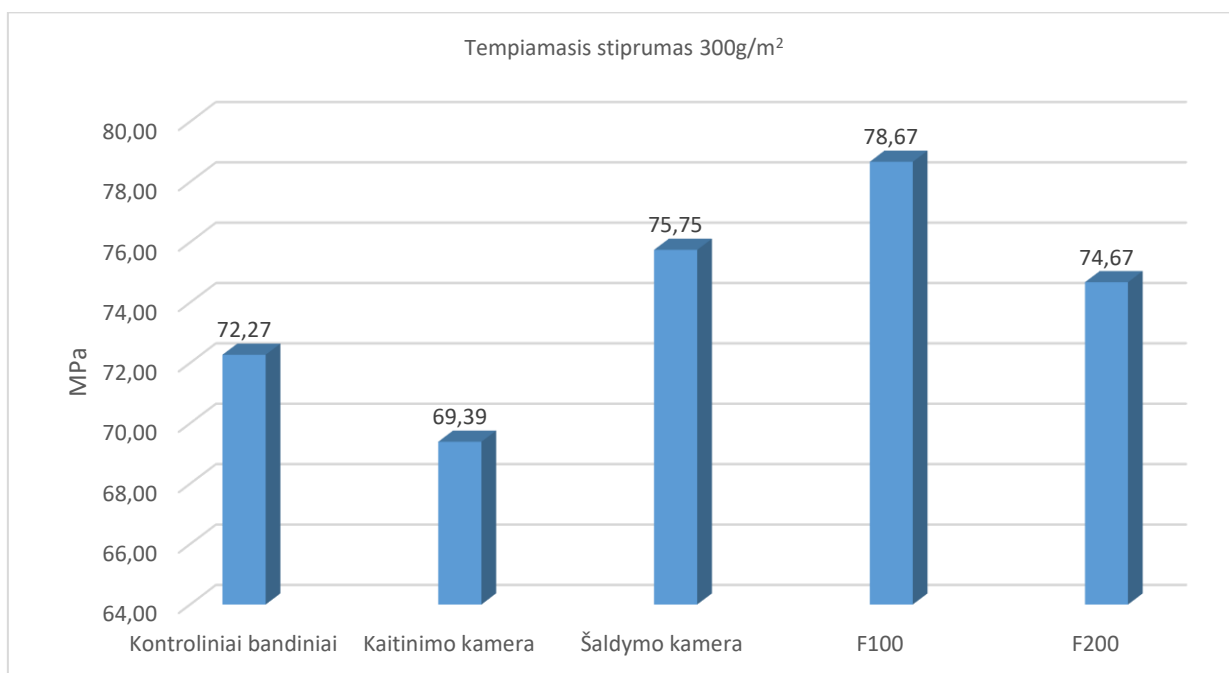
**12 pav.** Bandinys po tempimo (nr.2)



**13 pav.** Visi bandiniai po tempimo bandymo



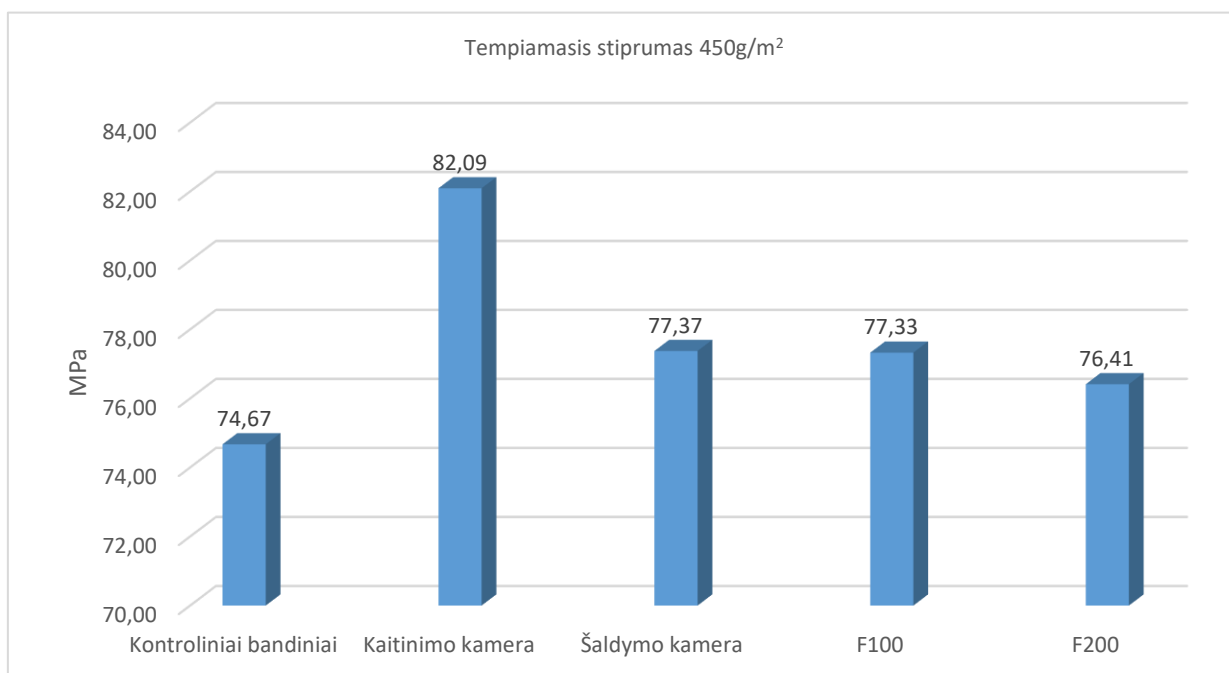
14 pav. 300g/m<sup>2</sup> grupės bandiniai po tempimo bandymo



15 pav. Tempiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto (300g/m<sup>2</sup>)

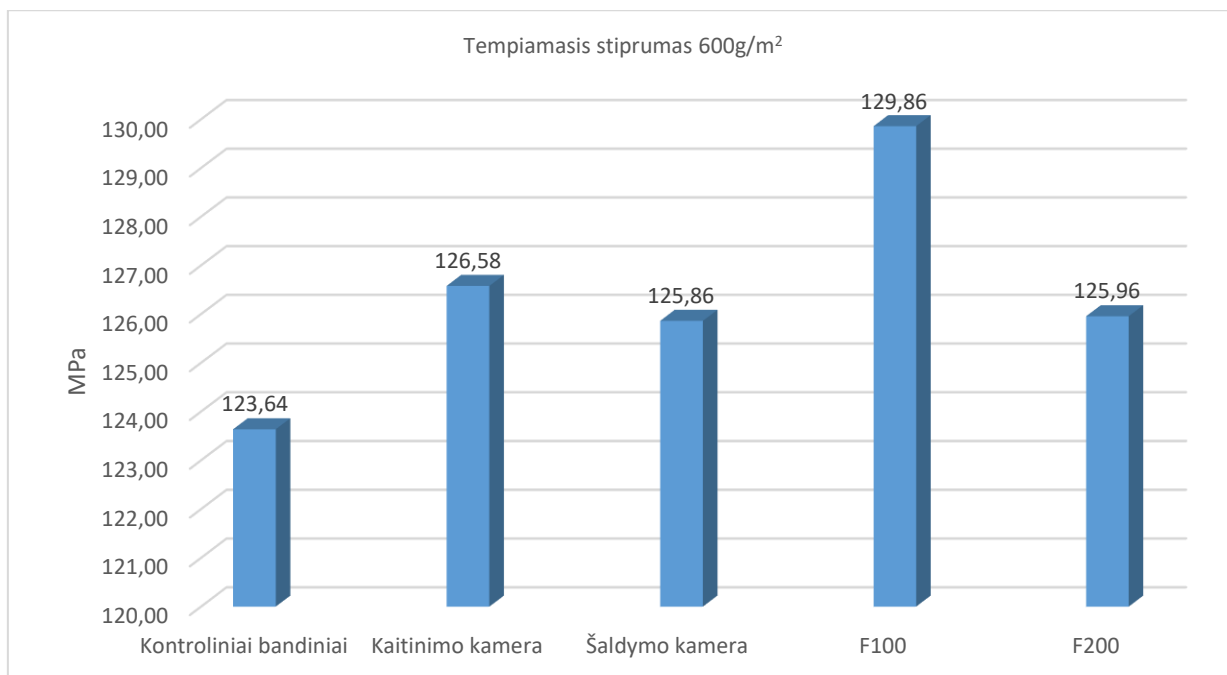
Iš pateiktų duomenų (15 pav.) matyti, kad išbandžius bandinius su stiklo pluoštu, kurio sluoksnio svoris yra 300 g/m<sup>2</sup>. Kontroliniai bandiniai pasiekė 72,27 MPa rezultatą, o kaitinimo kameroje jų tempiamasis stiprumas sumažėjo 3,99%, siekdamas 69,39 MPa. Šaldymo kameroje bandiniai rodė gerokai didesnę tempiamąją stiprumą 75,75 MPa, kas sudaro 4,81% didesnę rezultatą lyginant su kontroliniais bandiniais. F100 grupės bandiniai, kuriems buvo atlikti šimtas šaldymo ir atšildymo ciklų 5% natrio chlorido tirpale, parodė 8,85% didesnę tempiamąją stiprumą, siekiantį 78,67 MPa. F200 bandiniai, kurie taip pat patyrė šį procesą, parodė 3,33% didesnę rezultatą, siekiantį 74,67 MPa.

Šie rezultatai suteikia įžvalgų, kaip skirtingos sąlygos veikia bandinius, priklausančius stiklo pluoštui, kurio sluoksnio svoris 300 g/m<sup>2</sup> grupei, tempiamąjį stiprumą.



**16 pav.** Tempiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto (450g/m<sup>2</sup>)

Iš pateiktų duomenų (16 pav.) matyti, kad išbandžius bandinius su stiklo pluoštu, kurio sluoksnio svoris yra 450 g/m<sup>2</sup>, gauti rezultatai. Kontroliniai bandiniai pasiekė 74,67 MPa rezultata, o kaitinimo kameroje jų tempiamasis stiprumas padidėjo 9,94%, siekdamas 82,09 MPa. Šaldymo kameroje bandiniai parodė 3,62% didesnę tempiamąjį stiprumą, siekiantį 77,37 MPa, lyginant su kontroliniais bandiniais. F100 grupės bandiniai, kuriems buvo atlikti šimtas šaldymo ir atšildymo ciklų 5% natrio chlorido tirpale, parodė 3,56% didesnę tempiamąjį stiprumą, siekiantį 77,33 MPa. F200 bandiniai, kurie taip pat patyrė šį procesą, parodė 2,33% didesnę rezultata, siekiantį 76,41 MPa. Šie rezultatai suteikia įžvalgų apie tai, kaip skirtingos sąlygos veikia bandinius, priklausančius stiklo pluoštui, kurio sluoksnio svoris yra 450 g/m<sup>2</sup>, tempiamąjį stiprumą.



**17 pav.** Tempiamasis stipris stiklo pluošto sustiprinto ( $600\text{g/m}^2$ )

Iš pateiktų duomenų (17 pav.) matyti, kad išbandžius bandinius su stiklo pluoštu, kurio sluoksnio svoris yra  $600\text{ g/m}^2$ , gauti rezultatai. Kontroliniai bandiniai pasiekė 123,64 MPa rezultata, o kaitinimo kameroje jų tempiamasis stiprumas padidėjo 2,38%, siekdamas 126,58 MPa. Šaldymo kameroje bandiniai parodė 1,80% didesnę tempiamąją stiprumą, siekiantį 125,86 MPa, lyginant su kontroliniais bandiniais. F100 grupės bandiniai, kuriems buvo atlikti šimtas šaldymo ir atšildymo ciklų 5% natrio chlorido tirpale, parodė 5,03% didesnę tempiamąją stiprumą, siekiantį 129,86 MPa. F200 bandiniai, kurie taip pat patyrė šį procesą, parodė 1,88% didesnę rezultata, siekiantį 125,96 MPa. Šie rezultatai suteikia įžvalgų apie tai, kaip skirtingos sąlygos veikia bandinius, priklausančius stiklo pluoštui, kurio sluoksnio svoris yra  $600\text{ g/m}^2$ , tempiamąją stiprumą.

### 3.3. Deginimo bandymas

Atliekant deginimo bandymą stiklo pluoštu sustiprintam plastikui, reikia laikytis metodo A pagal ISO 1172:2023 standarto reikalavimus [45].

Bandinių ruošimas:

1. Paruošiami keramikiniai indeliai arba silicio valtėlė kuri pasveriami iki 0,1 mg tikslumo.
2. Įkaitinami indeliai arba valtėlė mufelyje iki temperatūros ( $600^\circ\text{C}$ ) ir laikoma 10 minučių, laukiama kol atvės ir patikrinama ar svoris nepasikeitė.
3. Bandinius reikia iš džiovinti ventiliuojamoje džiovykloje  $105^\circ\text{C}$  temperatūroje iki pastovaus svorio.
4. Atvėsinti bandiniai iki kambario temperatūros vėl pasveriami.

Deginimas (Kalcinacija):

1. Patalpinami bandiniai kartu su indeliu arba valtele į mufelį, įkaitintą iki  $600^\circ\text{C}$  temperatūros, ir kaitinami iki pastovaus svorio.



- Po kalcinacijos atvėsinti bandiniai iki kambario temperatūros vėl pasveriami.
- Apskaičiuojami stiklo kiekį bandinyje procentais, remiantis pradinio ir galutinio svorio skirtumu.
- Formulė stiklo kiekio skaičiavimui yra:

$$M_{\text{Stiklo}} = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (8)$$

Čia:  $m_1$  – pradinė sauso keramikinio indelio masė (g);  $m_2$  – pradinė sauso keramikinio indelio ir likučio po deginimo masė (g)

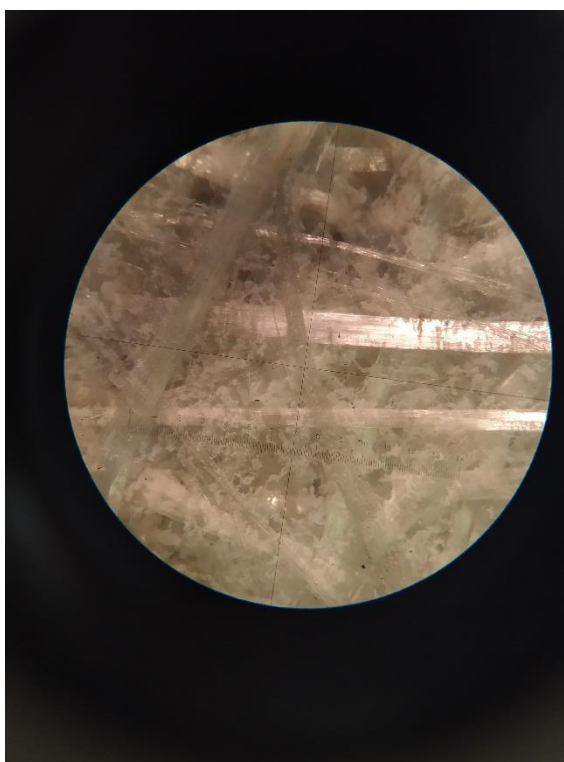
- Jei bandinys turi lakiosios medžiagos, džiovavimo etapas gali būti praleistas.
- Jei atskirų matavimų rezultatai skiriasi daugiau nei 5% santykinė verte, atlikite papildomą bandymą su trečiuoju bandiniu.
- Šis bandymas skirtas nustatyti stiklo kiekį medžiagose.



**18 pav.** Bandiniai prieš ir po bandymo išdeginti



**19 pav.** Po nepavykusio deginimo bandymo likęs stiklo pluoštas



**20 pav.** Vaizdas per mikroskopą į bandinį po nepavykusio deginimo bandymo

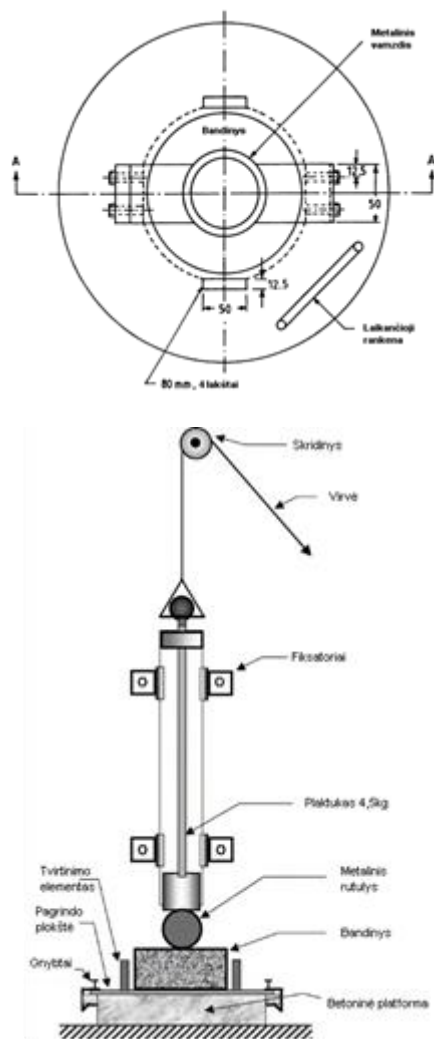
Atlikus bandymą, vadovaujantis ISO 1172:2023 standartu, pastebėta, kad nuo pat pradžios pasireiškė dūmų išsiskyrimas ir nemalonūs kvapai. Nepaisant to, kad buvo laikomasi visų nustatytų standartų ir procedūrų, tyrimo pabaigoje pastebėtas stiprus dūmų ir kvapo padaugėjimas. Ši problema tapo nerimą keliančia dėl galimos rizikos tiek turtui, tiek žmogaus gyvybei. Kadangi prioritetas teikiamas saugumui, buvo priimtas sprendimas nutraukti bandymą. Rizikos vertinimas atskleidė, kad dūmai ir kvapas tampa nevaldomi, o tai gali sukelti grėsmę ne tik bandymui, bet ir žmonių saugumui bei

aplinkai. Taip pat svarbu pabrėžti, kad problema su dūmais ir kvapu pasireiškė nuo pat bandymo pradžios, bet jų intensyvumas dramatiškai padidėjo bandymo metu.

### 3.4. Smūgio bandymas

Stiklo pluoštu sustiprinto plastiko atsparumas smūginiams buvo nustatytas pagal ACI komiteto 544 rekomendacijas. Rutulio arba krentančio svorio smūginiu metodu nustatomas stiklo pluoštu sustiprinto plastiko atsparumas smūginiams. Šio bandymo metodika yra tokia: 4,5kg metalinis plaktukas paleidžiamas kristi iš 45 centimetrų nustatyto aukščio ant 12,5mm skersmens užgrūdinto metalinio rutulio, kuris būna uždėtas centre ant 50x50mm bandinio bei, kuris plaktuko koncentruotą energiją perduoda į bandinį. Šiuo metodu nustatomos dvi savybės: pirma, smūgių skaičius iki pirmojo plyšio bandinyje, antra smūgių skaičius iki visiško bandinio suirimo. Paprastai šis metodas taikomas plaušu armuotiems bandiniams. Smūgių skaičius iki pirmojo bandinio įtrūkimo pažymi stiklo pluoštu sustiprinto plastiko esančio plaušo sugebėjimą priešintis rutuliu perduodamai smūginei energijai, tuo tarpu smūgių skaičius iki visiško suirimo nurodo matricos – plaušo sukibimą. Rutulio arba krentančio svorio smūginio metodo schema bei prietaisas pavaizduoti (21-23 pav.). [41]

21 pav. Rutulio smūginio metodo schema [41]



22 pav. Rutulio smūginio metodo principinė schema [41]



**23 pav.** Rutulio smūginio metodo prietaisas [41]



**24 pav.** Bandiniai po 10 smūgių.

Atlikus po 10 smūgių kiekvienam bandiniui, pastebėta, kad nebuvo jokių išorinių pokyčių, išskyrus minimalų viršutinio dervos sluoksnio pažeidimą. Taip pat svarbu pažymėti, kad bandymas buvo nutrauktas dėl to, kad neatsirado reikšmingo bandinių pažeidimo. Norint geriau iširti smūgio atsparumą stiklo pluoštui sustiprintam plastikui, būtų rekomenduojama padidinti smūgio jėgą. Tai leistų įgyti geresnį supratimą apie medžiagos charakteristika esant didesniam smūgiui ir galbūt nustatyti aukštesnes smūgio atsparumo ribas. Tolesni tyrimai galėtų suteikti išsamesnę informaciją apie stiklo pluoštu sustiprinto plastiko savybes ir naudojimo galimybes įvairiose sąlygose.

## Išvados

1. Atlikus literatūros apžvalgą apie stiklo pluoštą sustiprintą plastiką buvo pastebėta, kad kompozitai sudaryti iš stiklo pluošto ir polimerinės matricos ir įvairių priedų, yra modernios medžiagos, siūlančios išskirtines savybes ir universalų pritaikymą. Šių kompozitų privalumai yra lengvumas, didelis stiprumas ir mažesnės gamybos sąnaudos, palyginti su tradicinėmis medžiagomis. Jie plačiai naudojami įvairiose pramonės šakose pvz., automobilių, jūrų, kosmoso ir karinėje pramonėje. Be to, stiklo pluoštu sustiprinti plastikai (GFRP) yra ekonomiškai, atsparūs korozijai, cheminiams poveikiams ir elektros srovei, taip pat lengvai formuojami. Dėl šių savybių GFRP yra vertinga alternatyva tradicinėms medžiagoms ir atveria naujas galimybes inžineriniuose projektuose.
2. Analizuojant duomenis apie skirtingo tankio stiklo pluošto kompozitų lenkiamąjį stiprumą po įvairių aplinkos poveikių, galima daryti išvadą, kad aplinkos temperatūros poveikiai dažniausiai neigiamai veikia medžiagų lenkiamąjį stiprumą. 300 g/m<sup>2</sup> bandiniai: visi poveikiai sumažino lenkiamąjį stiprumą – kaitinimas 5,73%, šaldymas 7,61%, F100 6,98%, F200 13,24%. 450 g/m<sup>2</sup> bandiniai: kaitinimas padidino stiprumą 5,79%, šaldymas sumažino 5,35%, F100 padidino 4,04%, o F200 sumažino 7,28% lenkiamąjį stiprumą. 600 g/m<sup>2</sup> bandiniai: kaitinimas padidino stiprumą 4,61%, šaldymas sumažino 8,15%, F100 sumažino 2,87%, o F200 dar labiau sumažino 8,83% lenkiamąjį stiprumą. Kaitinimo poveikis dažniausiai padidino lenkiamąjį stiprumą, išskyrus lengviausią 300 g/m<sup>2</sup> grupę, kur jis sumažėjo. Šaldymas ir F200 modifikacija visose grupėse mažino lenkiamąjį stiprumą, o F100 modifikacija padidino tik 450 g/m<sup>2</sup> grupės lenkiamąjį stiprumą.
3. Atlikus tyrimus su skirtingo tankio stiklo pluošto kompozitais, galima pastebėti, kad aplinkos temperatūros poveikiai dažniausiai teigiamai veikia bandinių tempiamąjį stiprumą. 300 g/m<sup>2</sup> bandiniai: kaitinimas sumažino stiprumą 3,99%, šaldymas padidino 4,81%, F100 8,85% ir F200 3,33% bandiniai parodė didesnę stiprumą. 450 g/m<sup>2</sup> bandiniai: kaitinimas 9,94% ir šaldymas 3,62% padidino stiprumą, F100 3,56% ir F200 2,33% bandiniai taip pat parodė didesnę stiprumą. 600 g/m<sup>2</sup> bandiniai: kaitinimas 2,38% ir šaldymas 1,80% padidino stiprumą, o F100 5,03% ir F200 1,88% bandiniai parodė dar didesnę stiprumo padidėjimą. Šie rezultatai rodo, kad įvairūs temperatūriniai poveikiai gali turėti įtakos kompozitų tempiamajam stiprumui, ir tai turėtų būti įvertinta kuriant bei taikant šias medžiagas praktiškai.
4. Atliekant panašų deginimo bandymą, reikėtų atidžiau įvertinti naudotas sistemas, įrenginius ir medžiagas. Šiame tyrime galimai kai kurios medžiagos ar procesai buvo netinkamai parinkti ar taikomi, todėl sukėlė problemų su dūmais ir kvapu. Iškilusios problemos galėtų būti naudingos, siekiant tobulinti bandymus arba projektus ir užtikrinti, kad panašios problemos nekiltų ateityje.
5. Galima teigti, kad stiklo pluoštu sustiprintas plastikas pasižymi geru atsparumu smūgiams ir gali būti perspektyvi medžiaga statybos ir inžinerijos srityse. Tačiau, norint tiksliau įvertinti šios medžiagos charakteristikas, rekomenduojama padidinti smūgio jėgą ir pakartoti bandymą ir gauti išsamesnę informaciją.
6. Bandiniai, kurie buvo veikiami kaitinimo kameros, parodė aiškius spalvos pokyčius, pakeisdami savo spalvą iš NCS S 5005-G80Y į NCS S 5010-Y10R. Tai rodo, kad aukšta temperatūra gali turėti įtakos šių kompozitinių medžiagų estetinėms savybėms. Kituose bandymuose, įskaitant šaldymą ir ciklinį šaldymą natrio chlorido tirpale, nepastebėta akivaizdžių bandinių spalvos pokyčių, kas rodo, kad šios sąlygos neturėjo tokios pat reikšmingos įtakos medžiagos spalvai, kaip kaitinimas.

## Literatūros sąrašas

1. Task Group 9.3 FRP. (2007). FRP reinforcement in RC structures: Technical report. Stuttgart: Sprint–Digital–Druck. ISBN 978–2–88394–080–2.
2. Gangarao, H. V. S., Narendra, T., & Vijay, P. V. (2007). Reinforced Concrete Design With FRP Composites. Boca Raton, FL: CRC Press. ISBN 978–0–8247–5829–5.
3. Tullo, A. H. (2000). Plastics additives' steady evolution. *Chemical & Engineering News*, 78(49), 21–31. doi: 10.1021/cen–v078n049.p021
4. Asi, O. (2008). Mechanical Properties of Glass–Fiber Reinforced Epoxy Composites Filled with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Particles. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28(23), 2861–2867. doi: 10.1177/0731684408093975
5. Gardiner, G. (2009, April). The making of glass fiber. *Composites Technology*. [žiūrėta 2022–03–19]. Prieiga per: <http://www.compositesworld.com/articles/the-making-of-glass-fiber>
6. Mallick, P. K. (2007). Fiber–reinforced composites: Materials, manufacturing, and design. Boca Raton, FL: CRC Press. ISBN 978–0–8493–4205–9.
7. Menna, T. J. (2022). Characterization and Failure Analysis of Plastics. ASM International. doi:10.31399/asm.hb.v11B.9781627083959
8. Seifi, M., Bourell, D. L., Frazier, W., & Kuhn, H. (Eds.). (2023). Additive Manufacturing Design and Applications. ASM International. doi:10.31399/asm.hb.v24A.9781627084390
9. U.S. Department of Defense. (2002). The Composite Materials Handbook: Polymer Matrix Composites Materials Properties. Lancaster, USA. ISBN: 978–1–59124–489–9.
10. Kizinievič, O., & Žurauskienė, R. (2012). Inovatyvius polimerinės statybinės medžiagos ir dirbiniai: Mokomoji knyga. Vilnius: Technika. ISBN 978–609–457–165–7.
11. Rahman, M. M., & Rahman, M. M. (2023). Effect of laser cutting on mechanical performance of woven glass fiber reinforced plastic composites. *Materials Today: Proceedings*, 80(Part 2), 911–917. doi: 10.1016/j.matpr.2022.11.327
12. Kavad, B. V., Pandey, A. B., Tadavi, M. V., & Jakharia, H. C. (2014). A Review Paper on Effects of Drilling on Glass Fiber Reinforced Plastic. *Procedia Technology*, 14, 457–464. doi: 10.1016/j.protec.2014.08.058
13. Yang, H., Li, F., Hu, N., & Fu, S. Y. (2022). Frictional characteristics of graphene oxide–modified continuous glass fiber reinforced epoxy composite. *Composites Science and Technology*, 223, 109446. doi: 10.1016/j.compscitech.2022.109446
14. Stanciu, M. D., Drăghicescu, H. T., & Roșca, I. C. (2021). Mechanical Properties of GFRPs Exposed to Tensile, Compression and Tensile–Tensile Cyclic Tests. *Polymers*, 13(6), 898. doi: 10.3390/polym13060898
15. Ryu, C.–H., Park, S.–H., Kim, D.–H., Jhang, K.–Y., & Kim, H.–S. (2016). Nondestructive evaluation of hidden multi–delamination in a glass–fiber–reinforced plastic composite using terahertz spectroscopy. *Composite Structures*, 156, 338–347. doi: 10.1016/j.compstruct.2015.09.055
16. Zhang, L. C. (2009). Cutting composites: A discussion on mechanics modelling. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(9), 4548–4552. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2008.10.023
17. Parida, A. K., Routara, B. C., & Bhuyan, R. K. (2015). Surface roughness model and parametric optimization in machining of GFRP composite: Taguchi and Response surface methodology

- approach. *Materials Today: Proceedings*, 2(Issues 4–5), 3065–3074. doi: 10.1016/j.matpr.2015.07.247
18. Palanikumar, K., & Davim, J. P. (2009). Assessment of some factors influencing tool wear on the machining of glass fibre–reinforced plastics by coated cemented carbide tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(1), 511–519. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2008.02.020
  19. Rajesh, D., Anand, P., Balaji, V., Prakash, D. S., Kumar, R. R., & Karthick, M. (2022). Mechanical characterization of glass fiber and glass fiber reinforced with aluminium particulated polymer composite. *Materials Today: Proceedings*, 54(Part 3), 878–881. doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.202
  20. Geier, N., Patra, K., Anand, R. S., Ashworth, S., Balázs, B. Z., Lukács, T., Magyar, G., Tamás–Bényei, P., Xu, J., & Davim, J. P. (2023). A critical review on mechanical micro–drilling of glass and carbon fibre reinforced polymer (GFRP and CFRP) composites. *Composites Part B: Engineering*, 254, 110589. doi: 10.1016/j.compositesb.2023.110589
  21. Micota, D., Isaincu, A., & Marsavina, L. (2021). Micromechanical modeling of glass fiber reinforced plastic material. *Materials Today: Proceedings*, 45(Part 5), 4330–4336. doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.919
  22. Swentek, I., & Wood, J. T. (2014). Measuring polymer composite interfacial strength. *Composites Part B: Engineering*, 58, 235–241. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.10.069
  23. Karthick, P., Andrews, A. A. E., Chowdary, A. V. K., Babu, D. N., Yadav, B. V. G., & Sudhakaran, T. (2021). Synthesize and characterizations of glass–reinforced plastic/selective sisal fiber with sodium–oxidanide treated hybrid composite. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 94–97. doi: 10.1016/j.matpr.2020.04.130
  24. Yadav, M., Kumar, D., Butola, R., & Singari, R. M. (2020). Effect of the impact strength of glass fibre reinforced plastic composite using wet layup process. *Materials Today: Proceedings*, 25(Part 4), 919–924. doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.077
  25. Lambiase, F., & Durante, M. (2017). Mechanical behavior of punched holes produced on thin glass fiber reinforced plastic laminates. *Composite Structures*, 173, 25–34. doi: 10.1016/j.compstruct.2017.04.003
  26. Karthick, P., Andrews, A. A. E., Thomas, A., Mathew, V., Babu, B., & Mohamed Thowfik, J. S. (2020). Synthesize and characterizations of glass–reinforced plastic/2–hydroxybutanedioic acid treated sisal fiber wet hybrid composite. *Materials Today: Proceedings*, 33(Part 7), 2826–2829. doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.704
  27. Correia, J. R., Bai, Y., & Keller, T. (2015). A review of the fire behaviour of pultruded GFRP structural profiles for civil engineering applications. *Composite Structures*, 127, 267–287. doi: 10.1016/j.compstruct.2015.03.006
  28. Khan, M. A., & Kumar, A. S. (2011). Machinability of glass fibre reinforced plastic (GFRP) composite using alumina–based ceramic cutting tools. *Journal of Manufacturing Processes*, 13(1), 67–73. doi: 10.1016/j.jmapro.2010.10.002
  29. Karataş, M. A., & Gökkaya, H. (2018). A review on machinability of carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and glass fiber reinforced polymer (GFRP) composite materials. *Defence Technology*, 14(4), 318–326. doi: 10.1016/j.dt.2018.02.001
  30. Zhang, S., Caprani, C. C., & Heidarpour, A. (2018). Strain rate studies of pultruded glass fibre reinforced polymer material properties: A literature review. *Construction and Building Materials*, 171, 984–1004. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.113

31. Edwards, K. L. (1998). An overview of the technology of fibre-reinforced plastics for design purposes. *Materials & Design*, 19(Issues 1–2), 1–10. doi: 10.1016/S0261–3069(98)00007–7
32. Yun, Y. M., Seo, M. W., Ra, H. W., Koo, G. H., Oh, J. S., Yoon, S. J., Kim, Y. K., Lee, J. G., & Kim, J. H. (2015). Pyrolysis characteristics of glass fiber-reinforced plastic (GFRP) under isothermal conditions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 114, 40–46. doi: 10.1016/j.jaap.2015.04.013
33. Yun, Y. M., Seo, M. W., Koo, G. H., Ra, H. W., Yoon, S. J., Kim, Y. K., Lee, J. G., & Kim, J. H. (2014). Pyrolysis characteristics of GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) under non-isothermal conditions. *Fuel*, 137, 321–327. doi: 10.1016/j.fuel.2014.08.001
34. Gupta, M., Yadav, S., Kasar, A. A., & Khan, M. U. (2022). An overview of engineering properties and durability of glass fibre reinforced mixed plastic waste composite. *Materials Today: Proceedings*, 60(Part 1), 760–764. doi: 10.1016/j.matpr.2022.02.513
35. Garcia-Espinel, J. D., Castro-Fresno, D., Gayo, P. P., & Ballester-Muñoz, F. (2015). Effects of sea water environment on glass fiber reinforced plastic materials used for marine civil engineering constructions. *Materials & Design (1980–2015)*, 66(Part A), 46–50. doi: 10.1016/j.matdes.2014.10.032
36. Aniskevich, K., Aniskevich, A., Arnautov, A., & Jansons, J. (2012). Mechanical properties of pultruded glass fiber-reinforced plastic after moistening. *Composite Structures*, 94(Issue 9), 2914–2919. doi: 10.1016/j.compstruct.2012.04.030
37. Papaspyrides, C. D., Poulakis, J. G., & Arvanitopoulos, C. D. (1995). Recycling of glass fiber reinforced thermo-plastic composites. I. Ionomer and low density polyethylene based composites. *Resources, Conservation and Recycling*, 14(2), 91–101. doi: 10.1016/S0921–3449(95)80003–4
38. Rathore, G., & Seetharam, R. (2023). Investigation of mechanical properties of glass fibre/SiC–B4C reinforced hybrid polymer composite. *Materials Today: Proceedings*, 87(Part 1), 345–350. doi: 10.1016/j.matpr.2023.06.231
39. Zhao, H., Fang, H., & Zhao, X. (2023). Experimental and numerical investigation on dynamic behaviors of glass fiber reinforced polymer plates under explosion loadings. *International Journal of Impact Engineering*, 171, 104362. doi: 10.1016/j.ijimpeng.2022.104362
40. Thakur, R. K., & Singh, K. K. (2023). Evaluation of drilling characteristics to explore the effect of graphene nanoplatelets on glass fiber reinforced polymer composite. *Measurement*, 219, 113233. doi: 10.1016/j.measurement.2023.113233
41. Grinys, A. (2009). *Betono su gumos priedu technologinių savybių, stiprumo ir deformatyvumo dėsningumai: daktaro disertacija : technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T)*. Kaunas.
42. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2008). *Dėl reglamentuojamų statybos produktų sąrašo*. Įsakymas Nr. D1-332.
43. ASTM International. (2015). *D790 – 15: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials*. ASTM International.
44. International Organization for Standardization. (2012). *ISO 527-1:2012, Plastics — Determination of tensile properties — Part 1: General principles*. [Standard].
45. International Organization for Standardization. (2023). *ISO 1172:2023, Textile-glass-reinforced plastics – Prepregs, moulding compounds and laminates – Determination of the textile-glass and mineral-filler content using calcination methods*. 3rd Edition.



# 1 Matrica (SYNOLITE™ 8388-P-1)

PRODUCT DATA SHEET

DATE OF ISSUE: DECEMBER 2015 VERSION: 011057/13.0

## SYNOLITE™ 8388-P-1

### CHEMICAL/PHYSICAL NATURE

Synolite™ 8388-P-1 is a low viscous, pre-accelerated, promoted, thixotropic, medium reactive DCPD polyester resin. An LSE system has been incorporated. Synolite™ 8388-P-1 does not contain monomeric amines.

### MAJOR APPLICATIONS

Synolite™ 8388-P-1 has been especially developed for hand lay-up and spray-up applications to produce high performance constructional laminates.

### PRINCIPAL PROPERTIES

Synolite™ 8388-P-1 combines good mechanical properties with optimal process ability. This resin shows very good fiber wetting and impregnation properties. Thick laminates can be made in one go due to the low exothermic heat development, good through cure and relatively low shrinkage. An optimized LSE system has been developed to get excellent Low Styrene Emission. A color change system is present for the benefit of spray-up applications. Synolite™ 8388-P-1 can be used with powder and emulsion bound mats.

### APPROVALS

Synolite™ 8388-P-1 is found to comply with "Det Norske Veritas' (DNV) Tentative Rules for Classification and Classification of Boats 1997, Grade 2; Det Norske Veritas' Rules for Classification of High Speed and Light Craft, Grade 2. Certificate No.: K-1720

### PRODUCT SPECIFICATIONS UPON DELIVERY

Property	Range	Unit	TM
Appearance	Hazy	-	2265
Acid value, as such	16.5-23.5	mg KOH/g	2401
Viscosity, Physica, 2 s-1, 23°C	900 - 1200	mPa.s	2313
Viscosity, Physica, 20 s-1, 23°C	320 - 390	mPa.s	2313
Viscosity, Physica, 250 s-1, 23°C	200 - 230	mPa.s	2313
Solid content, IR	61 - 63	%	2033
Gel time from 25 to 35°C	22 - 26	minutes	2625
Cure time from 25°C to peak	40 - 50	minutes	2625
Peak temperature	95 - 125	°C	2625

### REMARKS & CURING CONDITIONS

Viscosity measurement: TM 2313: spindle Z2, 23°C.  
Curing conditions at 25°C, TM 2625:  
2.0 g Butanox M-50 in 100 g resin.

### PROPERTIES OF THE LIQUID RESIN (TYPICAL VALUES)

Property	Value	Unit	TM
Color on sight	blue	-	-
Density, 23°C	appr. 1100	kg/m³	2160
Flash point	appr. 33	°C	2800
Shelf life, no init., dark, 25°C	6	months	-

### PROPERTIES OF CAST UNFILLED RESIN (TYPICAL VALUES)

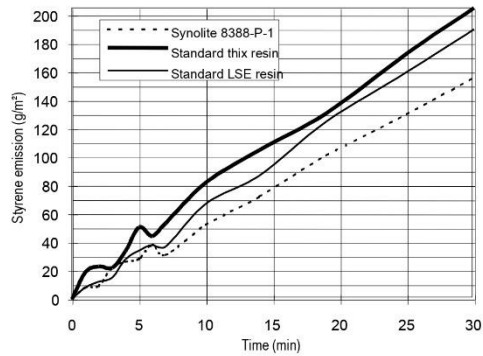
Property	Value	Unit	TM
Tensile strength	70	MPa	ISO 527-2
Tensile E-modulus	3.7	GPa	ISO 527-2
Elongation at break	2.2	%	ISO 527-2
Flexural strength	125	MPa	ISO 178
Heat Deflection Temp. (HDT)	85	°C	ISO 75-Ae
Impact res. - unnotched sp.	18	kJ/m²	ISO 179
Barcol hardness GYZJ 934-1	42	-	DIN EN 59
Density, 23°C	1170	kg/m³	DIN 53479
Volume shrinkage	6	%	-

### CURING CONDITIONS

Cured with 1% Butanox M-50. Post cured 24 hrs. at RT followed by 24 hrs. at 70°C.



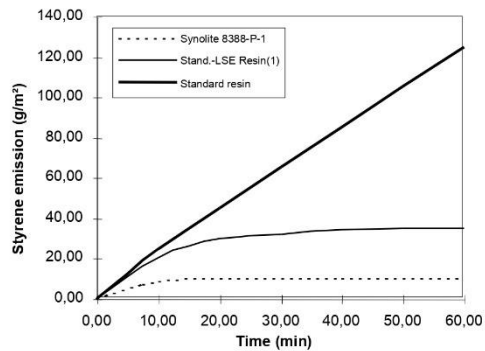
### GRAPH SHOWING DYNAMIC STYRENE EMISSION



### DYNAMIC STYRENE EMISSION TEST

This test is based on a preliminary test method developed to measure dynamic styrene emission. Emission is measured by an airflow of 0.4 m/s at 20°C while the surface of the resin is continuously disturbed. The description of this test method is available on request.

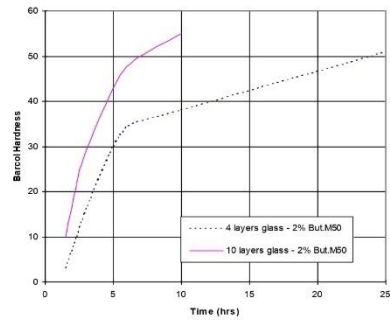
### GRAPH SHOWING REDUCED STATIC STYRENE EMISSION



### REMARKS

Measured in a stove at 23°C with certain ventilation, resins not initiated. The LSE system in Synolite™ 8388-P-1 is responsible for good low styrene emission properties. (1) = Synolite™ 0528-P-1

### GRAPH SHOWING BARCOL HARDNESS DEVELOPMENT



### THROUGH CURE

Due to the special accelerator system, the final through cure of the resin in thick and thin laminates is good. In both cases the Barcol hardness after 24 hours reaches the leaflets value. Of course, the cure speed is related to the added amount of peroxide and the laminate thickness; this also defines the trimming time within broad ranges.

Glass mat CSM 450 g/m<sup>2</sup>.

### REMARKS ON CURING AGENTS

Butanox M-50 is an AKZO Nobel product, methyl ethyl ketone peroxide (MEKP).

### PROCESSING

Synolite™ 8388-P-1 contains barrier forming agents to reduce emission of styrene. These agents may reduce the bonding strength of over laminates. Good strength can be obtained with over laminating of the base laminate after delayed lay-up if the surface is not too resin rich. In other cases the surface might need sanding.

### GUIDELINES BEFORE USE

The resin should be conditioned at 15°C minimum before use to obtain a sufficient cure when MEKP is used as a curing system. Stir the resin mechanically before use. Do not use air bubbles to stir the resin.



### STORAGE GUIDELINES

The resin should be stored indoors in the original, unopened and undamaged packaging, in a dry place at temperatures between 5°C and 30°C and the properties might change during storage. Shelf life is reduced at higher temperatures and the properties of the resin might change during storage. The shelf life of styrene containing unsaturated polyesters will be significantly reduced when exposed to light. Store in dark and in 100%light tight containers only.

### MATERIAL SAFETY

A Material Safety Data Sheet of this product is available on request.

### TEST METHODS

Test methods (TM) referred to in the table(s) are available on request.

Aliancys is a leading global company active in the sales of Quality Resins for composite applications. Together with its customers, Aliancys is pushing the limits of both composite part manufacturing and performance. Taking an integral approach to new product development, Aliancys is using its full expertise in resin chemistry, material science, and component manufacturing for shaping new applications in composites. So let's talk and increase our mutual business success, both today and tomorrow. More information on [www.aliancys.com](http://www.aliancys.com)

PRODUCT INQUIRY? PLEASE CLICK HERE

The user is held to check the quality, safety and other properties of the product referred to herein. The information and recommendations in this document are to the best of our knowledge and reliable. However, no rights whatsoever can be derived from this document or the information contained therein by any party, other than those expressly accepted by a selling entity of the Aliancys group of companies ("Aliancys selling entity") in a binding sale and purchase agreement for product referred to herein. For the avoidance of doubt the Aliancys group of companies makes no warranty of any kind, express or implied, including those of merchantability and fitness for purpose. Unless explicitly agreed to otherwise in writing by the Aliancys selling entity, all offers, quotations, sales and deliveries of Aliancys products are subject to the general conditions of sale of such Aliancys selling entity. Atlac®, Beyone™, Daron®, Neomould®, Neoxil®, Palatal®, Palapreg®, Synollite™, Aliancys™, the Aliancys™ logo, and the LET'S TALK/ logo are registered trademarks of Aliancys AG. For more information: [www.aliancys.com](http://www.aliancys.com)

**aliancys**  
QUALITY RESINS

## 2 Stiklo pluoštas (E6CRMC)



# E6-CR

# E20

**Emulsion Chopped Strand Mats**  
**For Hand Lay-up**

E6CR E20 Emulsion Chopped Strand Mat is made of randomly distributed chopped E6CR glass strands held together by an emulsion binder. E6CR E20 is suitable to reinforce unsaturated polyester, vinyl ester, epoxy and phenolic resins. E6CR E20 is designed mainly for use in the hand lay-up process and also suitable for use in filament winding and continuous laminating processes. Its end-use applications include boats, bath equipment, automotive parts, chemical corrosion resistant pipes, tanks, cooling towers and building components.



### Product Features

- ⊙ Good conformability
- ⊙ Good wet-through and fast wet-out in resins, rapid air lease, reducing rolling out time and increasing productivity
- ⊙ Low resin consumption
- ⊙ High mechanical strength of parts
- ⊙ Superior acid corrosion resistance

### Packaging

Each Emulsion Chopped Strand Mat is wound onto a paper tube which has an inside diameter of 90mm. The roll outside diameter is approximately 265mm. Each roll is wrapped up in plastic film and then packed in a cardboard box. The rolls are stacked horizontally or vertically onto pallets. All pallets are stretch wrapped and strapped to maintain stability during transport.

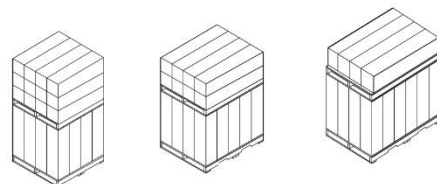
### Product Specifications

Property	Area Weight (%)	Moisture Content (%)	Size Content (%)	Breakage Strength (N)
Methods	ISO 3374	ISO 3344	ISO1887	ISO 3342
E6CRMC225	±7.5	≤0.20	4.4(±31%)	≥80
E6CRMC300	±7.5	≤0.20	4.0(±31%)	≥100
E6CRMC375	±7.5	≤0.20	3.8(±31%)	≥120
E6CRMC450	±7.5	≤0.20	3.7(±31%)	≥140
E6CRMC600	±7.5	≤0.20	3.5(±31%)	≥160
E6CRMC900	±7.5	≤0.20	3.3(±31%)	≥200

Size	1040		1270		1524	
	Length, m	Weight, kg	Length, m	Weight, kg	Length, m	Weight, kg
E6CRMC225	119.7	28	119.7	34	119.7	41
E6CRMC300	96.2	30	96.2	37	98.2	44
E6CRMC375	76.9	30	76.9	37	76.9	44
E6CRMC450	79.1	37	79.1	45	79.1	54
E6CRMC600	59.3	37	59.3	45	59.3	54
E6CRMC900	39.5	37	39.5	45	39.5	54

### Storage

Unless otherwise specified, powder chopped strand mats should be stored in a cool, dry, water-proof area. It is recommended that the room temperature and humidity be always maintained at 15°C to 35°C and 35% to 65% respectively.



## JUSHI GROUP CO., LTD.

Add: Tongxiang Economic Development Zone, Zhejiang 314500, PRC International Sales: +86-573-88181026 Fax: +86-573-88181058  
 Domestic Sales: +86-573-88181016 Fax: +86-573-88136222 Customer Service: +86-573-88181017 Fax: +86-573-88181388  
 Http://www.jushi.com E-mail: info@jushi.com

版权所有: ©巨石集团有限公司 ©巨石集团有限公司注册商标

### 3 Lenkimo diagramos pagal jėgą ir deformacija

