



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**Vygantas Masevičius**

**DENGTŲ TEKSTILĖS MEDŽIAGŲ MECHANINIŲ SAVYBIŲ  
TYRIMAS IR VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas

**Vadovas**

Prof. dr. Virginija Daukantienė

**KAUNAS, 2017**

**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**

**DENGTŲ TEKSTILĖS MEDŽIAGŲ MECHANINIŲ SAVYBIŲ  
TYRIMAS IR VERTINIMAS**

Baigiamasis magistro projektas  
Aprangos mados inžinerija (kodas 621J40004)

**Vadovas**

(parašas) Prof. dr. Virginija Daukantiene  
(data)

**Recenzentas**

(parašas) Doc. dr. Jurgita Domskienė  
(data)

**Projektą atliko**

(parašas) Vygantas Masevičius  
(data)

**KAUNAS, 2017**



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**

Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas

(Fakultetas)

(Studento vardas, pavardė)

Aprangos mados inžinerija (621J40004)

(Studijų programos pavadinimas, kodas)

„Dengtų tekstilės medžiagų mechaninių savybių tyrimas ir vertinimas“

**AKADEMINIO SAŽININGUMO DEKLARACIJA**

20 \_\_\_\_ m. \_\_\_\_\_ d.  
Kaunas

Patvirtinu, kad mano, **Vyganto Masevičiaus**, baigiamasis projektas tema „Dengtų tekstilės medžiagų mechaninių savybių tyrimas ir vertinimas“ yra parašytas visiškai savarankiškai ir visi pateikti duomenys ar tyrimų rezultatai yra teisingi ir gauti sąžiningai. Šiame darbe nei viena dalis nėra plagijuota nuo jokių spausdintinių ar internetinių šaltinių, visos kitų šaltinių tiesioginės ir netiesioginės citatos nurodytos literatūros nuorodose. Įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs.

Aš suprantu, kad išaiškėjus nesąžiningumo faktui, man bus taikomos nuobaudos, remiantis Kauno technologijos universitete galiojančia tvarka.

\_\_\_\_\_  
(vardą ir pavardę įrašyti ranka)

\_\_\_\_\_  
(parašas)

Masevičius, Vygantas. Dengtų tekstilės medžiagų mechaninių savybių tyrimas ir vertinimas. Magistro baigiamasis projektas / vadovas Prof. dr. Virginija Daukantiene; Kauno technologijos universitetas, Mechanikos inžinerijos ir dizaino fakultetas fakultetas.

Mokslo kryptis ir sritis: Technologijos mokslai, Aprangos mados inžinerija

Reikšminiai žodžiai: *dengta tekstilės medžiaga, vienaasis tempimas, puansoninis duobimas, plėšimas.*

Kaunas, 2017. 35 p.

## **SANTRAUKA**

Baigiamajame magistro projekte ištirtos dengtų tekstilės medžiagų ir polimerinės plėvelės mechaninės savybės, siekiant nustatyti, ar jos tinkamos komerciniam naudojimui ir ar tenkina standartinius mechaninius stiprumo reikalavimus.

Literatūros apžvalgoje išanalizuotas dengtų tekstilės medžiagų ir plėvelių asortimentas, jų taikymo sritys, kitų tyrėjų atlikti moksliniai tyrimai, kuriuose analizuojamos dengtų tekstilės medžiagų ir polimerinių plėvelių mechaninės savybės bei įvairių veiksnių joms daroma įtaka.

Darbo metodikoje aprašytos medžiagų struktūros charakteristikos, vienaasio tempimo charakteristikų nustatymo metodika, stiprumo plėšiant vertinimo ir puansoninio duobimo metodikos. Jų pagrindu buvo imituotos šių medžiagų eksploatacijos sąlygos.

Tyrimo rezultatų ir jų aptarimo dalyje pateikta dengtų tekstilės medžiagų (N1, N2, N3) ir polimerinės plėvelės (N4) mechaninių savybių analizė. Atlikta lyginamoji vienaasio tempimo charakteristikų analizė, išanalizuoti stiprumo plėšiant tyrimo rezultatai bei įvertinta bandinio defektų įtaka medžiagų vienaasio tempimo ir duobimo charakteristikoms. Nustatyta, kad defektas turi įtakos medžiagos tempimo stiprumui ir deformacijai.

Projekto rezultatai apibendrinti išvadomis bei praktinėmis rekomendacijomis.

Masevičius, Vygantas. Investigation and Evaluation of the Mechanical Properties of Coated Textile Fabrics: Master thesis in Polymer and textile technology qualification project / supervisor Prof. dr. Virginija Daukantienė. Faculty of Mechanical Engineering and Design, Kaunas University of Technology.

Research area and field: Technological Sciences, Polymers and Textiles Technology

Key words: *coated textile material, uniaxial tension, punch deformation, tearing.*

Kaunas, 2017. 35 p.

## **SUMMARY**

In the final master's project, mechanical properties of the coated textile materials and polymeric film are investigated in order to determine whether they are suitable for commercial use and meet standard requirements of strength.

References concerning the assortment of coated textile materials and polymeric film as well as their application areas, and the research works analysing the mechanical behaviour of coated materials and polymeric films together with the factors influencing them were reviewed.

Work methodology describes material structure characteristics, uniaxial tensile, tear strength and punch deformation testing methods. Real exploitation conditions of the investigated materials were simulated applying them.

Chapter of the research results and their discussion presents the analysis of the coated textile materials' (N1, N2, N3) and polymer film's (N4) mechanical properties, comparative analysis of the characteristics of uniaxial tensile as well as the results of tear strength test. Influence of the material properties and specimen defects on the uniaxial tension characteristics and punch deformation results was determined. It was shown that the defects influence strength and elongation of the investigated materials.

Project results are summarized in the conclusions and practical recommendations.



**KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS**  
**MECHANIKOS INŽINERIJOS IR DIZAINO FAKULTETAS**  
Studijų programa Aprangos mados inžinerija

## **BAIGIAMOJO PROJEKTO UŽDUOTIS**

Studentui: Vygantui Masevičiui

1. Magistro baigiamojo Projekto tema: Dengtų tekstilės medžiagų mechaninių savybių tyrimas ir vertinimas.
2. Darbo tikslas: ištirti ir įvertinti dengtų tekstilės medžiagų ir polimerinės plėvelės mechanines savybes.
3. Pagrindiniai reikalavimai ir sąlygos: darbas originalus ir atliktas pagal tiriamiesiems taikomiesiems darbams keliamus reikalavimus.
4. Pradiniai Projekto duomenys: Prieš atliekant išsamius eksperimentinius tyrimus projekto tema būtina išanalizuoti apie trisdešimt mokslinių staipsnių (neįskaičiuojant kitų informacijos šaltinių). Tyrimo objektais parinkti 3 dengtas tekstilės medžiagas, jų charakteriskas nustatyti pagal standartines metodikas, įvertinti ir palyginti medžiagų mechanines savybes: stiprumą tempiant, plėšiant ir duobiant puansonu: ištirti defektų įtaką tirtų medžiagų mechaninėms savybėms. Tyrimo rezultatus išanalizuoti ir palyginti su kitų mokslininkų darbais bei apibendrinti aiškiai suformuluotomis išvadomis ir praktinėmis rekomendacijomis.
5. Projekto aprašomosios dalies struktūra: literatūros apžvalga, tyrimo objektai ir metodikos, tyrimo rezultatai ir jų aptarimas, išvados ir rekomendacijos.
6. Grafinės Projekto dalies sudėtis: –
7. Projekto konsultantai: –

Magistrantas: ..... Vygantas Masevičius.....  
(vardas, pavardė, parašas, data)

Projekto vadovas..... Virginija Daukantienė.....  
(vardas, pavardė, parašas, data)

Krypties studijų programos vadovas.....  
(vardas, pavardė, parašas, data)

## TURINYS

Įvadas .....	8
1. LITERATŪROS APŽVALGA .....	9
1.1. Dengtų tekstilės medžiagų ir polimerinių plėvelių asortimentas bei panaudojimo sritys .....	9
1.2. Dengtomis tekstilės medžiagoms ir polimerinėms plėvelėms keliami kokybės reikalavimai ...	10
1.3. Įvairių veiksnių įtaka dengtų tekstilės medžiagų ir polimerinių plėvelių savybėms.....	11
1.4. Apibendrinimas, darbo tikslas ir uždaviniai .....	14
2. TYRIMO OBJEKTAI IR METODIKOS.....	15
2.1. Tyrimo objektų parinkimas ir charakteristikų nustatymas.....	15
2.2. Medžiagų mechaninių savybių vertinimas.....	15
2.2.1. Vienaašio tempimo charakteristikų nustatymo metodika .....	15
2.2.2. Stiprumo plėšiant vertinimo metodika .....	17
2.2.3. Puansoninio duobimo metodika.....	17
3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS .....	20
3.1. Lyginamoji vienaašio tempimo charakteristikų analizė.....	20
3.2. Stiprumo plėšiant tyrimo rezultatai ir jų aptarimas.....	27
3.3. Medžiagų savybių ir bandinio defektų įtaka duobimo rezultatams .....	28
IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS .....	32
LITERATŪROS SĄRAŠAS .....	33
PRIEDAI.....	36

## **Įvadas**

Dengtos tekstilės medžiagos ir polimerinės plėvelės yra plačiai naudojamos įvairiose techninėse srityse.

Darbe tiriamos dengtos tekstilės medžiagos gali būti naudojamos krovinių, lengvųjų automobilių priekabų ir baseinų uždangalų ar trumpalaikių statinių ir kitų techninės paskirties pramonės produktų gamybai. Gaminiami keliami didelio mechaninio patikimumo reikalavimai, sąlygoti jų eksploatavimo sąlygų. Gaminų medžiagos gali būti deformuojamos viena ar keliomis kryptimis. Dėl medžiagos kontakto su metalinėmis priekabos ar statinio konstrukcijomis gali atsirasti maži defektai, dėl kurių iš esmės gali pakisti mechaninės savybės. Atsiradus defektams, orientuotiems tam tikra kryptimi, vietoj tempimo deformacijų gali būti inicijuojamas plėšimas, kurio metu medžiagos suardomos dar greičiau.

Darbe nuodugniai ištirta dengtų tekstilės medžiagų ir polimerinės plėvelės bandinių be defektų ir skirtingo skersmens apskritus defektus turinčių bandinių mechaninė elgsena vienašio tempimo, plėšimo ir puansoninio duobimo procese. Analizuojama dengtų tekstilės medžiagų mechaninė elgsena leidžia palyginti medžiagas tarpusavyje ir išskirti pranašumus ir trūkumus bei palyginti su vientisa polimerine plėvele.



# 1. LITERATŪROS APŽVALGA

## 1.1. Dengtų tekstilės medžiagų ir polimerinių plėvelių asortimentas bei panaudojimo sritys

Naujai kuriamos techninės tekstilės medžiagos ir produktai, gerinančios žmogaus gyvenimo kokybę, peržengia tradicines tekstilės supratimo ir panaudojimo galimybes. Šiuolaikinė tekstilė naudojama aviacijoje ir kosmose, medicinoje, žemės ūkyje, tiesiant kelius, statybų, transporto bei karo pramonėje. Dengtos tekstilės medžiagos gali būti naudojamos transporto priekabų ir puspriekabių uždengimui, o pavyzdžiui, polimerinė plėvelė gali būti panaudota baseinų apdengimui. Be paminėtų panaudojimo sričių, dengtos tekstilės medžiagos gali būti, naudojamos spaudai, užuolaidų gamybai, langų gamybai, garsiakalbiams, apdailai ir kt.

Polivinilchloridinė (PVC) poliesterio siūlais armuota medžiaga, iš abiejų pusių padengta skirtingų storių ir rūšių danga, pvz., akrilo laku, skirta tentinių statinių ir jų priedų, tekstilės architektūros, automobilių tentų, uždangų, įdėklų, pertvarų, pripučiamų batutų gamybai. Galimi PVC tentinių medžiagų paviršiniai tankiai yra: 570 g/m<sup>2</sup>, 630 g/m<sup>2</sup>, 640 g/m<sup>2</sup>, 650 g/m<sup>2</sup>, 670 g/m<sup>2</sup> ir 900 g/m<sup>2</sup> [1]. PVC tentai pasižymi geromis savybėmis. Jie yra nelaidūs vandeniui, atsparūs pelėsiui, stiprūs, patvarūs, atsparūs UV spinduliams, atitinka tarptautinius priešgaisrinius standartus, nepalaiko degimo, atsparūs cheminėms medžiagoms, bei temperatūrų svyravimams ir nekeičia fizinių savybių, aplinkos temperatūrai kintant nuo -30 °C iki +70 °C, stiprūs tempiant, nes yra elastingi, atstumia riebalus ir purvą, atitinka visus kokybės ES reikalavimus [2]. Dalis dengtų tekstilės medžiagų asortimento nurodyta (žr. 1.1 lentelėje).

1.1 lentelė. Dengtų tekstilės medžiagų asortimento pavyzdžiai [3]

Artikulas	Paskirtis	Paviršinis tankis, g/m <sup>2</sup>	Pagrindinė žaliava
<i>Probanner 2450</i>	Tentas spaudai, lauko darbams	440/450	PVC
<i>Probanner 2510</i>	Didesnio paviršinio tankio tentas spaudai, lauko darbams	500/510	PVC
<i>Probanner 2510L</i>	Tentas spaudai, ypač tinkantis lauko darbams žiemos sąlygoms	510	PVC laminatas
<i>Promesh 1270</i>	Tentas su skylutėmis spaudai, lauko darbams (apie 37% laidumas orui)	270	PVC
<i>SpeakerMesh 6210</i>	Tinklinis tentas su didesnėmis skylutėmis spaudai, naudojamas garsiakalbiams, ekranams ir reklamai (67% laidumas orui)	210	PVC
<i>Airtex Magic</i>	Tentas spaudai, dengtas tekstilės paviršiumi (matinis/blizgus)	330	PVC
<i>Universal Tentex FR + WS</i>	Tankus tekstilės tentas spaudai, naudojamas šviesdėžėms, palapinėms, ekranams, skėčiams	200	-

Akrilinė medžiaga – specialiai impregnuota medžiaga, pagaminta iš akrilinių siūlų, skirta prabangių pavėsinių, pertvarų, užuovėjų, terasų ir lauko kavinių skėčių, tekstilės architektūros tentų gamybai [1]. Iš specializuotos, kitos rūšies, impregnuotos, neskestančios vandenyje akrilinės medžiagos gaminami vandens transportui plaukiojimo ir transportavimo tentai [1].

Sertifikuotos akrilinės medžiagos su austiniu pagrindu gali būti panaudotos įvairiose srityse, nes jos nelaidžios vandeniui, atsparios UV spinduliams bei temperatūrų svyravimams ir nekeičia fizinių savybių, esant nuo -30 °C iki +70 °C temperatūroms, riebalus ir purvą atstumianti, atitinka visus ES reikalavimus [2].

### 1.2. Dengtoms tekstilės medžiagoms ir polimerinėms plėvelėms keliami kokybės reikalavimai

Siekiant užtikrinti saugumą krovinio gabenimo metu, transporto tentams ir jų medžiagoms keliami reikalavimai (1.2 ir 1.3 lentelės), reglamentuojami standartais [2, 4], kurie nurodo įvairių charakteristikų mažiausius reikalavimus, slankiesiems automobilių uždangalams ir automobiliniams tentams. Pagal pateiktus lentelėje reikalavimus galima teigti, kad slankiesiems automobilių uždangalams keliami griežtesni mechaninių savybių reikalavimai nei automobiliniams tentams.

**1.2 lentelė.** Slankiesiems automobilių uždangalams keliami reikalavimai [4]

Charakteristika	Reikalavimai	Bandymas pagal standartą
Stiprumo tempiant charakteristikos		
Esant 23 °C ± 5 °C aplinkos temperatūra	≥4000 N/ 5 cm	EN ISO 1421
Esant -23 °C temperatūrai	≥2700 N /5 cm	
Medžiagos stiprumas plėšiant skersine ir išilgine kryptimis:		
Esant 23 °C ± 5 °C temperatūrai	≥300 N	EN 1875-3
Esant -23 °C temperatūrai	≥130 N	
Sukibimo stiprumas	≥100 N/ 5 cm	EN ISO 2411
Matmenų stabilumas	≤1 %	27 h/ 70 °C
Patvarumas cikliškai lankstant	Nėra įtrūkimų po 100000 lenkimo ciklų	EN ISO 7854/B
Atsparumas ugniai	Degimo greitis ≤100 mm/min	EN ISO 3795
Paviršinis tankis	850 g/m <sup>2</sup>	EN ISO 2286-2

Dengtų tekstilės medžiagų defektai tentų paviršiuje gali atsirasti laikui bėgant eksploatacijos metu, arba juos sukelia išorinės momentinės jėgos. Dauguma defektų atsiranda veikiant įvairioms jėgoms iš išorės ar, dėl medžiagos trinties priekabų kampuose ir slankiojančiose vietose. Eksploatuojamas medžiagas taip pat veikia temperatūrų svyravimai, įvairios cheminės medžiagos, pilamos ant kelio paviršiaus, norint nutirpdyti susidariusį ledo, sniego sluoksnį, taip pat cheminės medžiagos patenka iš automobilių, važiuojančių keliu, tai gali būti tepalai, įvairūs skysčiai ir kt.

### 1.3 lentelė. Automobilių tentams keliami reikalavimai [2]

Charakteristika	Reikalavimai	Bandymas pagal standartą
Stiprumo tempiant charakteristikos		
Esant 23 °C ± 5 °C aplinkos temperatūrai	≥2850 N/ 5 cm	EN ISO 1421
Esant -23 °C temperatūrai	≥2200 N /5 cm	
Medžiagos stiprumas plėšiant skersine ir išilgine kryptimis:		
Esant 23 °C ± 5 °C temperatūrai	≥185 N	EN 1875-3
Esant -23 °C temperatūrai	≥120 N	
Sukibimo stiprumas	≥100 N/ 5 cm	EN ISO 2411
Matmenų stabilumas	≤1 %	27 h/ 70 °C
Patvarumas cikliškai lankstant	Nėra įtrūkimų po 100000 lenkimo ciklų	EN ISO 7854/B
Atsparumas ugniai	Degimo greitis ≤ 100 mm/min	EN ISO 3795
Paviršinis tankis	650 g/m <sup>2</sup>	EN ISO 2286-2

### 1.3. Įvairių veiksnių įtaka dengtų tekstilės medžiagų ir polimerinių plėvelių savybėms

Dengtos tekstilės medžiagos yra labiausiai paplitusios logistikos srityje ir naudojamos krovininių automobilių priekaboms ir puspriekabėms uždengti. Medžiagų stiprumui didžiausią įtaką daro eksploatacijos trukmė, smulkių defektų susidarymas įvairiose uždangalo vietose. Tentai dažnai yra naudojami atvirame ore, todėl jų medžiagas veikia daugybė eksploatacinių veiksnių: trintis į metalines konstrukcijas, drėgmė, šiluma, šaltis, ultravioletiniai spinduliai (UV). Darbe tiriamos 3 dengtos tekstilės medžiagos, kurios gali būti naudojamos transporto apdangalams, ir kitiems gaminiams ir polimerinė plevelė, skirta įvairių objektų uždengimui. Prieš atliekant medžiagų savybių tyrimus ir analizę, analizuojami pasaulio mokslininkų atlikti tyrimai.

Polimeriniai kompozitai plačiai naudojami įvairiose srityse, šių kompozitų gamyba yra nesudėtinga. Hibridiniai armuoti kompozitiniai pluoštai pagerina mechanines, termines savybes. Hibridiniai kompozitai naudojami daugelyje sričių ir gali pakeisti medieną ir kitas tradicines medžiagas. T.P. Sathishkumar su bendraautorais ištyrė [5] hibridinio kompozito mechaninę elgseną tempimo ir lenkimo metu. Nustatyta, jog lenkimo metu hibridinis kompozitas atlaiko didesnes apkrovas ir yra ilgaamžiškesnis už paprastą kompozitą.

Sekančiuose straipsniuose nagrinėjama duobimo įtaka polietileno plėvelės stiprumui, su defektais ir be defektų stiprumui.

V. Daukantienė ir M. Gutauskas nustatė [6], kad polietileno plėvelių su apskritos formos defektais stiprumas puansoninio duobimo metu yra mažesnis už analogiškų plėvelių be defektų stiprumą. Taip pat nustatyta, kad mažinant trinties koeficientą tarp polietileno plėvelės ir puansono, polietileno plėvelės stiprumas taip pat sumažėja. Šios savybės yra analizuojamos ir E. Strazdienės ir M. Gutausko [7] darbuose. Nustatyta, kad mažinant trinties koeficientą tarp bandomos medžiagos ir puansono, tirtos medžiagos stiprumas taip pat sumažėjo. Šį teiginį patvirtino E. Strazdienė su bendraautorais [8]. Įrodyta, kad polietileninių plėvelių stiprumas sumažėja, mažinant trinties koeficientą tarp puansono ir bandinio. Tai patvirtinama ir V. Daukantienės su M. Gutausku [9] atliktuose puansoninio duobimo tyrimuose.

D. Juodsnukytė su bendraautorais įvertino [10] kario aprangai skirtų medvilninių ir poliesterinių medžiagų mechaninį patvarumą, taikant puansoninį ir plokščią dviašį deformavimą. Vertinant drėgmės įtaką medžiagų stiprumui ir tūsumui nustatyta, kad sausų medžiagų stiprumas yra didesnis už šlapių. Medžiagų su nelaidžia vandeniui apdaila mechaninės savybės išlieka beveik nepakitusios, nes dėl apdailos vanduo neįsiskverbia į medžiagos struktūrą.

M. Pawłowa ir H. Szafrńska moksliniame straipsnyje [11] analizavo priežiūros procesų poveikį aprangos laminuotų medžiagų ilgaamžiškumui. Nustatyta, kad priežiūros procesai nesukelia didelių ilgaamžiškumo pokyčių.

Dengtų ir laminuotų tekstilės medžiagų elgsena dviašio, vienašio tempimo ir gniuždymo poveikyje buvo ištirta O. B. Ozipek su bendraautorais darbe [12]. Nustatyta, kad vienašio tempimo metu poliamidinis audinys, padengtas poliuretanu, yra stipriausias ir tūšiausias skersine kryptimi. Dviašio deformavimo metu buvo stipriausia silikonine danga padengta medžiaga, naudojama oro pagalvių gamybai. Didžiausia deformacija nustatyta laminuoto poliuretano kompozito atveju. Dauguma oro pagalvių medžiagų yra padengtos silikonu arba poliuretanu. Nustatyta, kad poliamidinės medžiagos yra labai stiprios tempiant dviem kryptimis. Įrodyta, kad taikytas pneumatinio duobimo metodas gerai simuliuoja oro pagalvių eksploatavimo sąlygas.

Zhang Yingying su bendraautoriais [13] ištyrė krypties įtaką dengtų tekstilės kompozitų stiprumui ir nustatė, kad šios medžiagos ilgine ir skersine kryptimis yra stipriausios, o iškirstų  $15^\circ$  ir  $45^\circ$  laipsnių kampu nuo ilginės krypties medžiagos bandinių, stiprumas yra mažesnis.

Shengnan Wang su bendraautoriais ištyrė [14] lankščių dengtų tekstilės medžiagų stiprumą plėšiant. Tyrimo rezultatai parodė, kad dengtų medžiagų stiprumas plėšimo bandymo metu svyruoja nuo 2000 N iki 3500 N.

Medžiagų santykinį pailgėjimą tiriant su Zwick Z005 tempimo mašina pagal ISO 13934-1 standartą, nustatyta, jog ilginant bandinio darbo zoną nuo 15 cm iki 65 cm, ištįsa taip pat didėja [15].

B. Baghaei su bendraautoriais [16] ištyrė pakavimo maišų plėvelių eksploatacines savybes, taikydami ciklinį varginimą, t.y. imituojant kuo realesnes eksploatacijos sąlygas. Varginimo tyrimas atliktas pagal standartą DIN EN ISO 2062 su Zwick tempimo mašina. Nustatyta, kad medžiagos nuovargis atsiranda po 1000 ciklų, o padidinus ciklų kiekį iki 2000, esminių pokyčių, lyginant su 1000 varginimo ciklų atveju, nenustatyta.

Tyrėjai analizavo laminuotų stiklo pluošto kompozitų mechanines savybes. Nustatyta, kad laminuotų 8 sluoksnių stiklo pluošto kompozitų medžiagų šlyties jėga skersine ir ilgine kryptimis yra didesnė už 10 sluoksnių laminato [17].

A. Andres Leal su bendraautoriais [18] ištyrė M5 HT, M5 AS, Armos, Kevlar KM2, Kevlar 49, PBO medžiagų su defektais savybes gniuždant ir nustatė, kad jų stipris priklauso nuo defekto sudėtingumo.

Zhang Yingying, Xu Junhao ir Zhang Qilin [19] išanalizavo dengtų medžiagų mechanines savybes ir nustatė, kad vienašio tempimo iki trūkimo metu yra stipriausia dengta stiklo pluošto medžiaga. Jos stiprumas metmenų ir ataudų kryptimis yra 169 kN/m.

A. Cherouat ir H. Borouchaki moksliniame darbe [20] taikyti geometriniai ir mechaniniai metodai, skirti formuoti įvairius daiktus iš polimerinių kompozitų. Tyrimo rezultatai parodė, kad tinkamiausias kompozito formavimas yra skersine kryptimi.

Xudong Yang su bendraautoriais [21] ištyrė polivinilchloridinę medžiagą po 1000 valandų varginimo ir nustatė, kad medžiagos paviršius skilinėja. Po 2000 valandų įtrūkimai pagilėja. Šiuo tyrimu buvo įrodyta, kad medžiaga, paveikta mechaniškai, eksploatacijos procese susilpnėja.

D. Juodsnukytė ir kiti [22] tyrimuose analizavo aukštos kokybės medžiagas, naudojamas lauko drabužių gamybai. Tirtas statinės ir dinaminės apkrovos poveikis, siekiant nustatyti, ar jos tinkamos eksploatacijai lauko sąlygomis. Nustatyta, jog medvilninė medžiaga su poliesteriu yra stipriausia labiausiai tinkama eksploatacijai.

J. Tomaszewska su bendraautoriais [23] išyrė kompozitų mechanines savybes. Kompozitai pagaminti iš dviejų perdirbtų polimerų: polivinilchlorido (PVC) ir didelio tankio polietileno (PE). Keratino pluoštas buvo naudojamas kaip užpildas. Nustatyta, kad PVC ir PE mišinys tinka kompozitų su keratinio užpildo plaušeliais gamybai.

#### **1.4. Apibendrinimas, darbo tikslas ir uždaviniai**

Apibendrinus literatūros analizės rezultatus, galima teigti, kad dengtų tekstilės medžiagų ir polimerinių plėvelių panaudojimas yra labai platus: nuo transporto puspriekabių iki statinių apdengimui naudojamų tentų. Didžiausią gamybos apimtį sudaro tentinės medžiagos, skirtos įvairiausių statinių uždengimui, taip pat ir transporto tentai. Pasaulyje yra daugybė logistikos įmonių, naudojančių tentines medžiagas krovinių apdengimui ir sukvežinių priekabų apdengimui.

Vertinant šios grupės medžiagų savybes kitų autorių darbuose yra tiriamos tamprumo, stiprumo, gniuždymo, tūsumo ir kitos mechaninės savybės.

Šio darbo tikslas – ištirti ir įvertinti dengtų tekstilės medžiagų ir polimerinės plėvelės mechanines savybes.

Tikslui pasiekti keliami tokie uždaviniai:

1. įvertinti medžiagų elgseną vienašio tempimo metu;
2. palyginti medžiagų stiprumą plėšiant;
3. įvertinti medžiagų savybių ir bandinio defekto įtaką vienašio tempimo ir puansoninio duobimo charakteristikoms.

## 2. TYRIMO OBJEKTAI IR METODIKOS

### 2.1. Tyrimo objektų parinkimas ir charakteristikų nustatymas

Tyrimams buvo pasirinktos 3 komercinės paskirties dengtos tekstilės medžiagos ir polimerinė plėvelė. Tirtų medžiagų struktūros charakteristikos pateiktos 2.1 lentelėje. Tiriamos medžiagos prieš bandymus buvo išlaikomos 24 valandas kondicinėmis sąlygomis, esant santykiniam drėgnumui  $\varphi = 50 \pm 5 \%$  ir temperatūrai  $T = 23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  pagal standartą LST EN ISO 2231 Guma arba plastiku padengtos medžiagos. Standartinis kondicionavimo bandymo klimatas [24]. Medžiagų storis nustatytas naudojant gamintojo „SCHMIDT Control Instruments“ stormatį J-40-L, esant  $0,785 \text{ cm}^2$  bandinio darbo zonai ir  $49,1 \text{ kPa}$  slėgiui [25].

**2.1 lentelė.** Tirtų medžiagų struktūros charakteristikos

Medžiagos pavadinimas	Artikulas	Medžiagos kodas	Storis, mm	Pagrindinė žaliava %	Paviršinis tankis, $\text{g/m}^2$
Dengta tekstilės medžiaga	Complan 641	N1	$0,21 \pm 0,007$	Polivinilchloridas	$667,8 \pm 7,4$
Dengta tekstilės medžiaga	Frontlit 770	N2	$0,094 \pm 0,007$	Polivinilchloridas	$443,8 \pm 3,4$
Dengta tekstilės medžiaga	B 7119	N3	$0,250 \pm 0,009$	Polivinilchloridas	$628,8 \pm 5,7$
Polimerinė plėvelė	350 mk	N4	$0,042 \pm 0,018$	Polietilenas	$295,8 \pm 11,9$

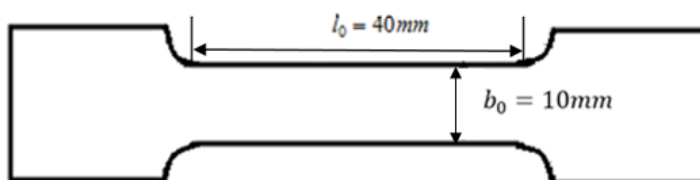
**Pastaba:** Santykinė paklaida kito nuo 0,01 % iki 11,9 %.

### 2.2. Medžiagų mechaninių savybių vertinimas

#### 2.2.1. Vienašio tempimo charakteristikų nustatymo metodika

Vienašio tempimo tyrimui iškiršta po 5 bandinius medžiagos ilgine ir skersine kryptimis. Realizuojamas tempimo eksperimentas iki trūkimo pagal standartą LST EN 12641-1 [2]. Reglamentuojama, kad tentinių medžiagų stiprumas tempiant turi būti ne mažesnis kaip  $2850 \text{ N} / 5\text{cm}$  (ilgine ir skersine kryptimi). Pritaikius standartą [4], eksperimento metu bandiniai trūko ties spraustuvais, todėl jo buvo atsisakyta. Medžiagų stiprumo bandymui buvo panaudoti dvigubo kastuvėlio formos bandiniai, iškiršti, medžiagos ilgine ir skersine kryptimis. Tokios formos bandiniai dažniausiai naudojami odos ir plėvelių vienašio tempimo charakteristikoms nustatyti. Bandinio darbo zona buvo  $40 \text{ mm}$  ilgio ( $l_o$ ) ir  $10 \text{ mm}$  pločio ( $b_o$ ). Iškiršto bandinio schema

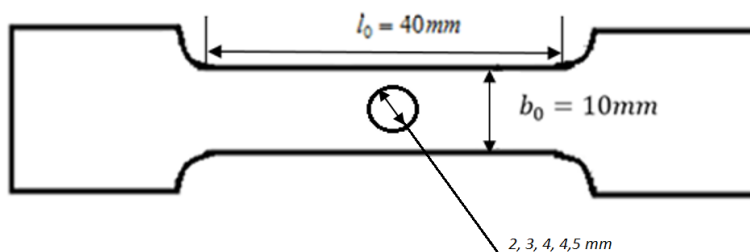
parodyta 2.1 paveiksle. Išmatuojama trūkimo jėga ir ištįsa bei apskaičiuojamas trūkimo įtempis. Bandymai atlikti naudojantis kompiuterizuota CRE tipo tempimo mašina „Tinius Olsen H10KT“. Apatinio spraustuvo judėjimo greitis – 100 mm/min. Bandinys įstatomas vertikaliai į spraustuvus ir prisukamas taip, kad neišslystų iš užveržimo zonos.



**2.1 pav.** Dvigubo „kastuvėlio“ formos bandinio schema

Bandinio trūkimo įtempis apskaičiuotas pagal formulę:  $\delta_{tr} = \frac{F_{tr}}{l_0 \cdot h}$ , čia  $\delta_{tr}$  – trūkimo įtempis (N/m<sup>2</sup> arba Pa),  $F_{tr}$  – trūkimo jėga (N),  $h$  – bandinių storis (m).

Kadangi eksploatacijos metu tiriamų medžiagų uždangalai ar kiti gaminiai gali būti pažeidžiami, jiems kontaktuojant su išoriniais paviršiais, ypač su aštriais metalinių konstrukcijų ar kitų medžiagų pakuočių briaunomis ir kitos formos elementais, darbe buvo ištirta dirbtinai suformuotų apskritos formos defektų įtaka vienašio duobimo charakteristikoms. Bandinių centre buvo iškertamos  $r_{d1} = 1 \text{ mm}$ ,  $r_{d2} = 1,5 \text{ mm}$ ,  $r_{d3} = 2 \text{ mm}$ ,  $r_{d4} = 2,25 \text{ mm}$  spindulio (arba  $d1 = 2 \text{ mm}$ ,  $d2 = 3 \text{ mm}$ ,  $d3 = 4 \text{ mm}$ ,  $d4 = 4,5 \text{ mm}$  skersmens) skylutės. Bandinio schema pavaizduota 2.2 paveiksle. Analizuojama defektų dydžio įtaka tempimo charakteristikoms bei lyginama su analogiškų parametrų vertėmis, nustatytomis, bandiniams be defektų, kurie vadinami kontroliniais bandiniais.

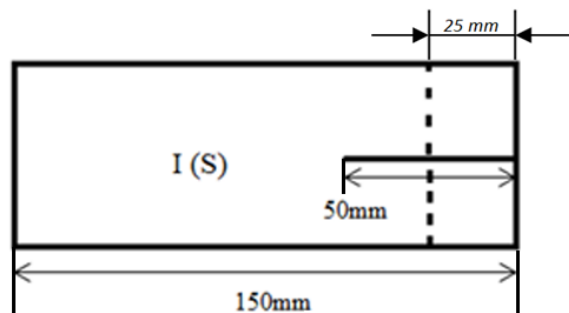


**2.2 pav.** Dvigubo „kastuvėlio“ formos bandinio schema su skirtingo skersmens defektais



### 2.2.2. Stiprumo plėšiant vertinimo metodika

Plėšimo bandyme naudoti medžiagų ilginės ir skersinės krypties bandiniai. Kiekvienoje grupėje buvo po 5 bandinius. Tarp tempimo mašinos spraustuvų nustatomas 50 mm atstumas. Šiame darbe stiprumas plėšiant nustatytas naudojant stačiakampes N1, N2 ir N3 medžiagų juosteles, kurios įkirptos išilgine ir skersine kryptimis, atitinkamai ilginės krypties ir skersinės krypties bandiniuose (žr. 2.3 pav.).

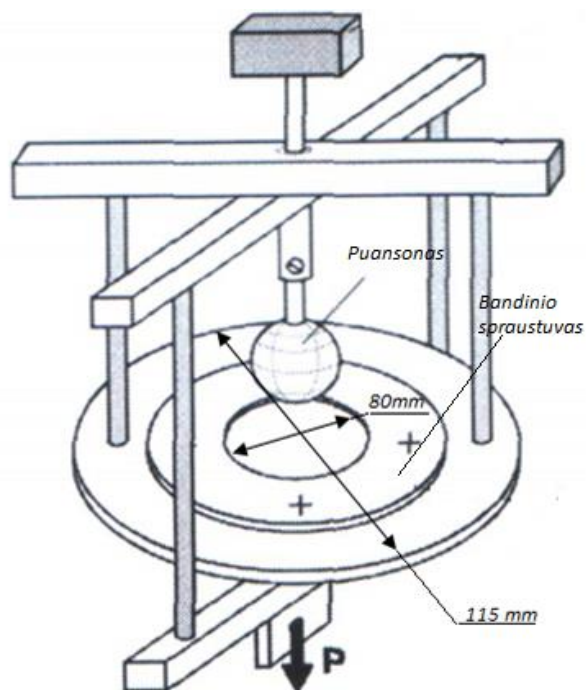


2.3 pav. Plėšimo bandyme naudotų bandinių schema

Bandinio liežuvėliai įtvirtinti į viršutinį ir apatinį spraustuvus. Bandymai atlikti, naudojant kompiuterizuotą CRE tipo tempimo mašiną „Tinius Olsen H10KT“. Apatinio spraustuvo judėjimo greitis – 100 mm/min. Medžiagų stiprumas plėšiant vertintas pagal plėšimo jėgą  $F_p(N)$ .

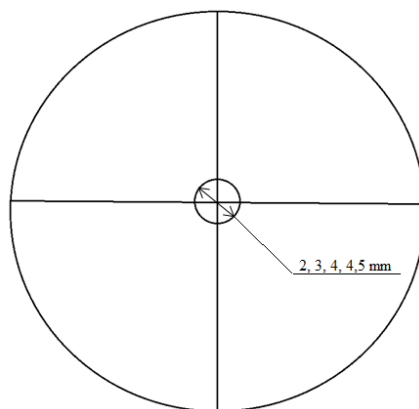
### 2.2.3. Puansoninio duobimo metodika

Iš tirtų medžiagų iškirsti apskritimo formos, 115 mm skersmens bandiniai. Kiekvienoje grupėje buvo po 5 bandinius. Medžiagų duobimo bandymas atliktas deformuojant bandinį statmenai jo plokštumai grūdinto, poliruoto plieninio rutuliuko formos puansonu, kurio skersmuo – 19 mm (2.4 pav.), iki bandinio suardymo, naudojant CRE „Tinius Olsen H10KT“ tempimo mašiną. Bandinys standžiai įtvirtinamas spraustuve, kurio darbinė zona – 80 mm skersmens (2.4 pav.). Apatinio spraustuvo judėjimo greitis – 100 mm/min. Buvo analizuojama tipinė duobimo kreivė, duobimo jėga (N) ir deformacija (mm).



**2.4 pav.** Puansoninio duobimo schema

Kadangi eksploatacijos metu tiriamos medžiagos, iš kurių gali būti pagaminti įvairūs uždangalai ar kiti gaminiai, gali būti pažeidžiamos, joms kontaktuojant su išoriniais paviršiais, ypač – su aštriomis metalinių konstrukcijų ar kitų transportuojamų produktų pakuočių briaunomis ir kitos formos elementais, darbe buvo iširta dirbtinai suformuotų apskritos formos defektų įtaka duobimo charakteristikoms. Bandinių centre buvo iškertamos  $r_{d1} = 1\text{ mm}$ ,  $r_{d2} = 1,5\text{ mm}$ ,  $r_{d3} = 2\text{ mm}$ ,  $r_{d4} = 2,25\text{ mm}$  spindulio (arba  $d1 = 2\text{ mm}$ ,  $d2 = 3\text{ mm}$ ,  $d3 = 4\text{ mm}$ ,  $d4 = 4,5\text{ mm}$  skersmens) skylutės. Bandinio schema pavaizduota 2.5 paveiksle. Analizuojama defektų dydžio įtaka duobimo charakteristikoms bei lyginama su analogiškų parametrų vertėmis nustatytomis, bandiniams be defektų, kurie vadinami kontroliniais bandiniais.



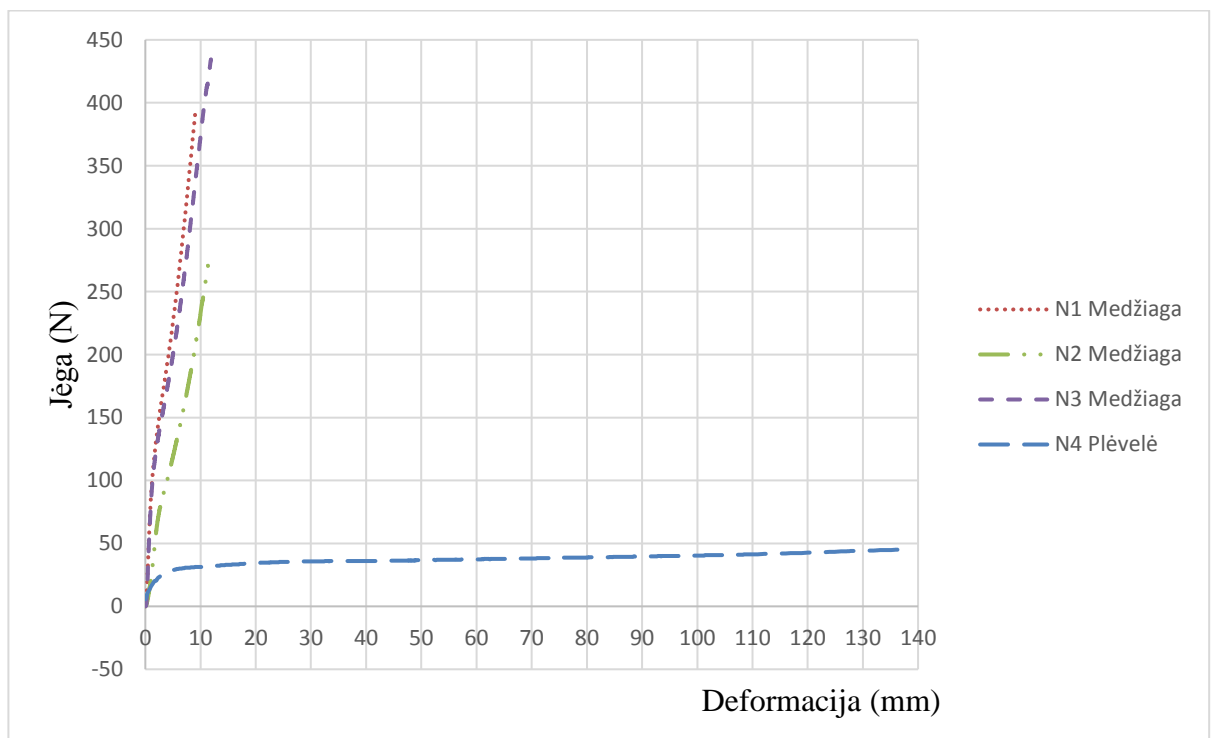
**2.5 pav.** Puansoniniame duobime naudojamas bandinys su įvairaus dydžio defektu

Taip pat, lyginama polimerinės plėvelės ir dengtų tekstilės medžiagų mechaninė elgsena duobiant. Defekto skersmuo parinktas siekiant kuo tiksliau imituoti realias eksploatacijos sąlygas.

### 3. TYRIMO REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

#### 3.1. Lyginamoji vienašio tempimo charakteristikų analizė

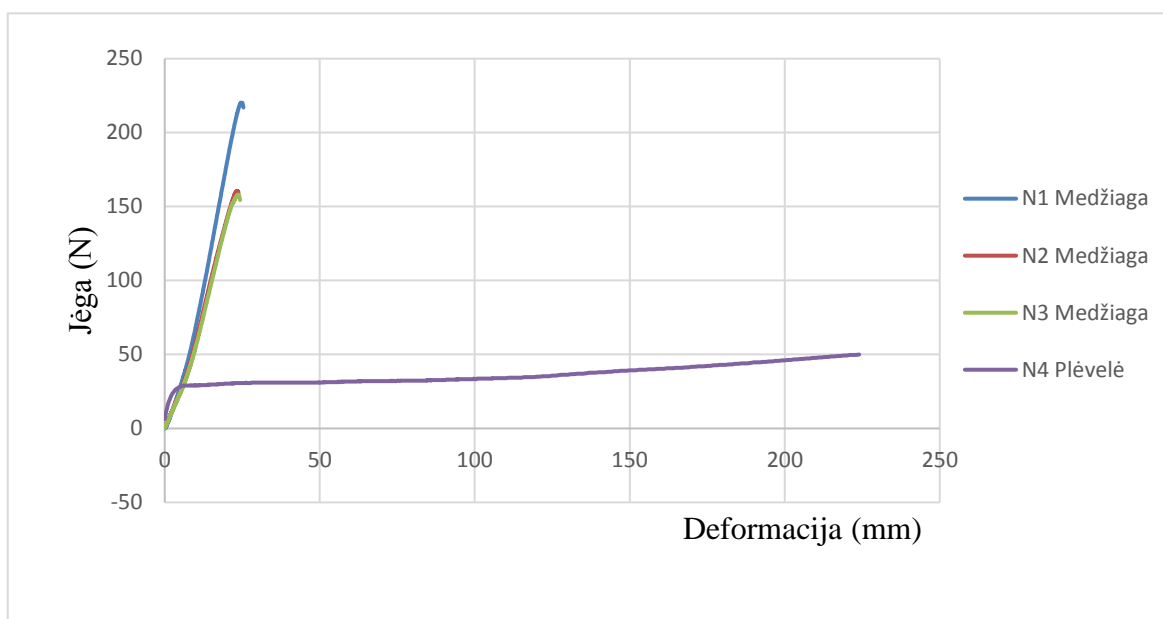
Pasirinktų tyrimo objektų vienašio tempimo charakteristikos buvo tiriamos siekiant nustatyti, ar jos yra tinkamos naudojimui. Kadangi techninės paskirties, dengtos tekstilės medžiagos (ypatingai tos, iš kurių gaminami tentai) dažniausiai naudojamos atviraime ore, todėl jos turi atitikti minimalius standartinius reikalavimus. Todėl medžiagos stiprumo vertinimas yra labai svarbus aspektas, norint sužinoti, ar medžiaga tinkama slankių ir neslankių uždangalų ir kitų gaminių pramonėje.



3.1 pav. Tempimo iki trūkimo kreivės medžiagų ilgine kryptimi

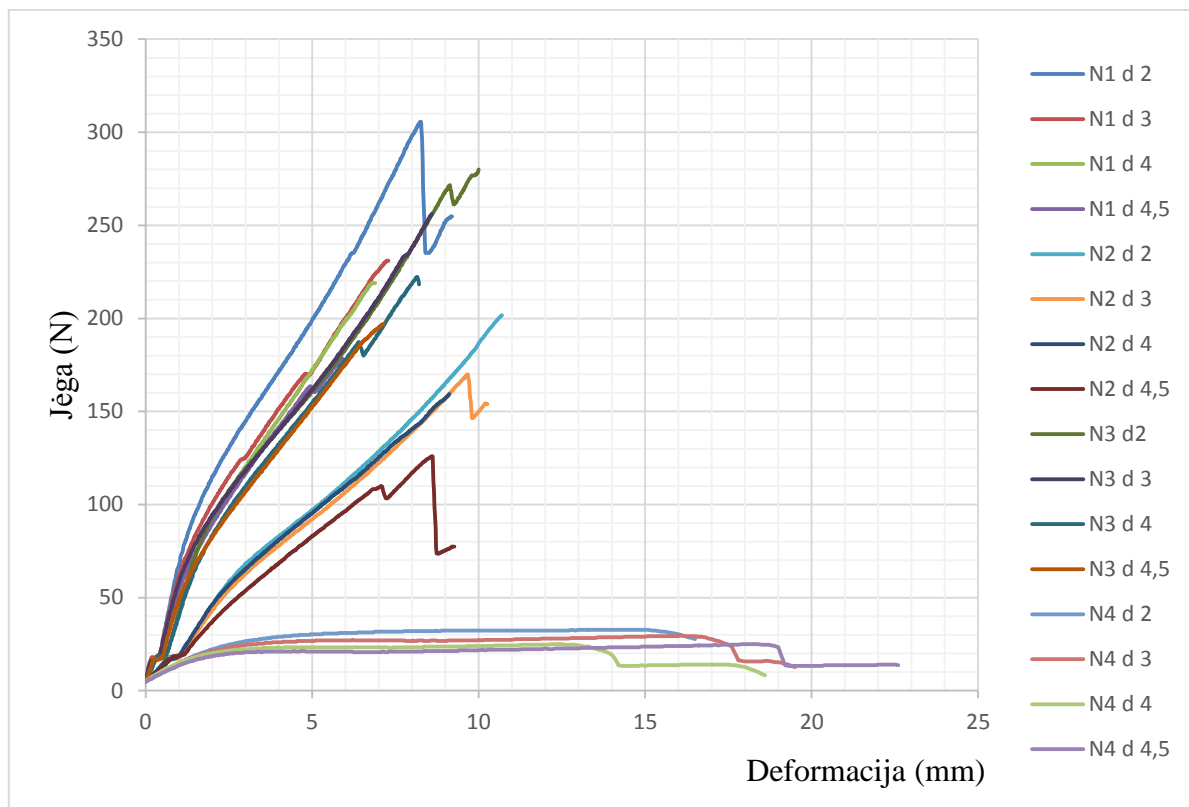
Analizuojant 4 medžiagų tempimo iki trūkimo kreives (žr. 3.1 pav.) pastebėta, kad ilgine kryptimi medžiaga N3 yra stipriausia, N4 medžiaga – silpniausia, tačiau jos deformacija yra didžiausia ir siekia apie 140 mm. Gauti rezultatai rodo, kad trys tirtos dengtos tekstilės medžiagos (N1, N2, N3) yra daug stipresnės už polietileno plevelę (N4). Smarkiai didesnam šių medžiagų stiprumui įtaką daro tekstilė, kuri šiuo atveju atlieka armuojančio elemento funkciją. Tačiau dėl

tekstilės elemento buvimo ženkliai sumažėja N1, N2, N3 medžiagų tūsumas palyginti su polimerine plevele (N4).



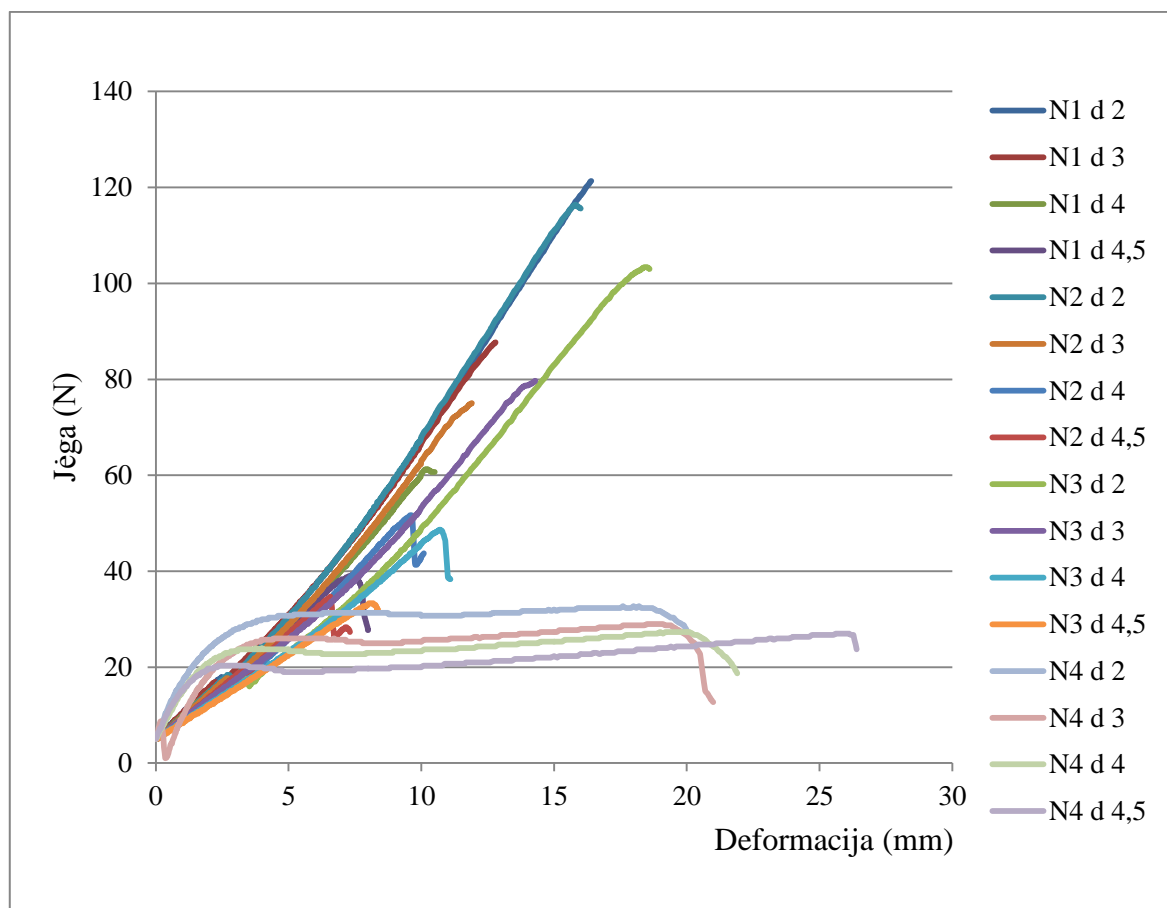
**3.2 pav.** Medžiagos tempimo iki trūkimo kreivės medžiagų skersine kryptimi

Analizuojant tirtų medžiagų tempimo iki trūkimo kreives medžiagų skersine kryptimi (žr. 3.2 pav.) matyti, jog N1 medžiaga stipriausia ir mažiausiai deformuojasi, o N4 bandiniai silpniausi ir deformacija yra didelė. Ji siekia daugiau kaip 220 mm.



**3.3 pav.** Medžiagų su defektais tempimo iki trūkimo kreivės medžiagų ilgine kryptimi

Analizuojant 4 medžiagų su defektais ilginės krypties bandinių tempimo kreives (žr. 3.3 pav.) matyti, kad visų tirtų medžiagų stiprumas palaipsniui mažėjo, didinant defekto skersmens dydį. Mažiausia jėgos vertė nustatyta N4 medžiagos, didžiausia – N1 medžiagos.



**3.4 pav.** Medžiagos su defektais tempimo iki trūkimo kreivės medžiagų skersine kryptimi

Analizuojant 4 medžiagų su defektais skersinės krypties bandinių tempimo kreives (žr. 3.4 pav.) matyti, kad visų tirtų medžiagų stiprumas palaipsniui mažėjo, didinant defekto skersmenį. Mažiausia jėgos vertė nustatyta N4 medžiagos, didžiausia – N1 medžiagos.

Dengtų tekstilės medžiagų (N1, N2, N3) ir polietilinės plėvelės (N4) tempimo iki trūkimo jėgos rezultatai medžiagos skersine ir ilgine kryptimis pateikti 3.1 lentelėje.

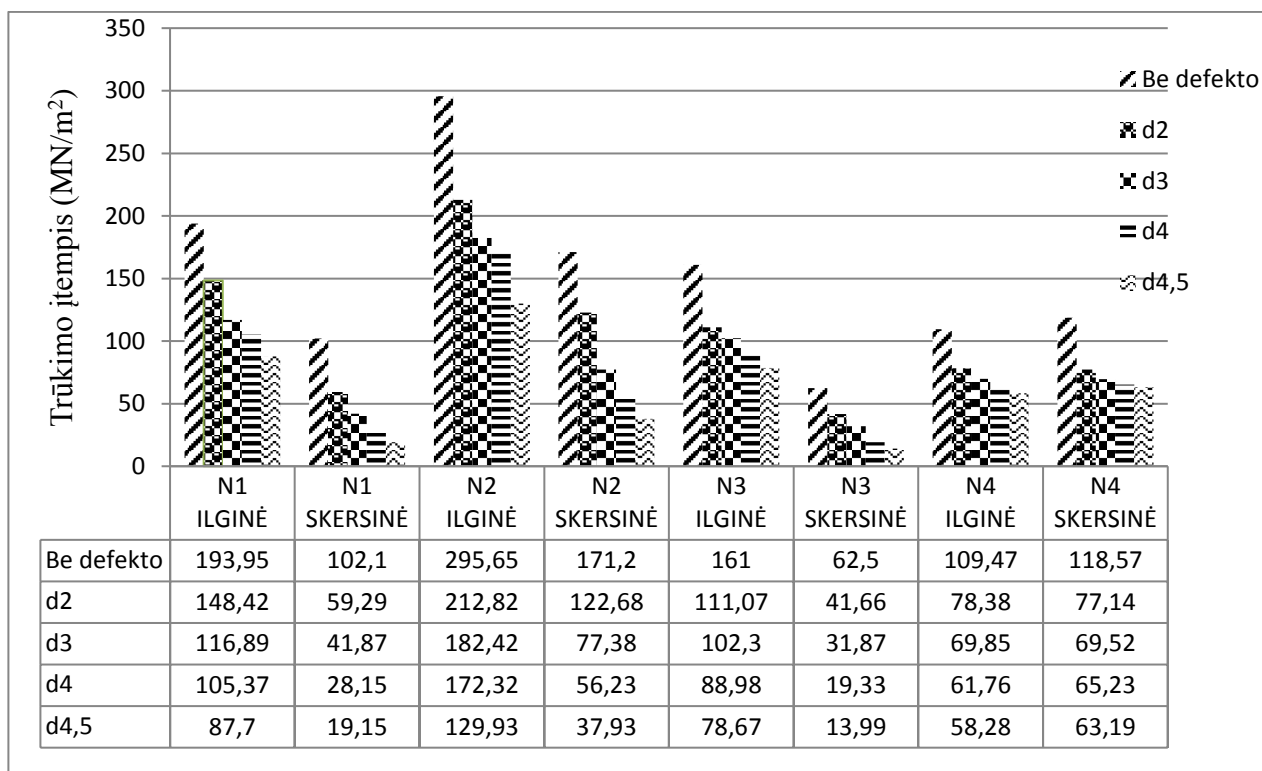
**3.1 lentelė.** Tirtų medžiagų su defektais tempimo jėgų (N) dydžių suvestinė

Defekto skersmuo (mm) / Medžiaga	Be defekto	d 2	d 3	d 4	d 4,5
N1 ilginė	399,54 ± 4,5	305,76 ± 11,34	240,8 ± 17,88	217,07 ± 8,17	180,68 ± 11,65
N1 skersinė	217,72 ± 11,24	122,15 ± 8,01	86,26 ± 6,48	58 ± 17,21	39,46 ± 13,81
N2 ilginė	277,92 ± 4,31	200,06 ± 13,29	171,48 ± 9,68	161,99 ± 20,17	122,14 ± 27,3
N2 skersinė	160,96 ± 1,87	115,32 ± 6,93	72,74 ± 9,88	52,86 ± 9,89	35,66 ± 10,48
N3 ilginė	402,52 ± 25,37	277,68 ± 3,22	255,76 ± 8,25	222,45 ± 5,91	196,68 ± 5,89
N3 skersinė	156,26 ± 3,51	104,15 ± 2,75	79,68 ± 6,94	48,34 ± 14,6	34,98 ± 24,02
N4 ilginė	45,98 ± 7,05	32,92 ± 5,17	29,34 ± 7,11	25,94 ± 11,24	24,48 ± 6,32
N4 skersinė	49,8 ± 10,92	32,4 ± 3,52	29,2 ± 5,29	27,4 ± 5,34	26,54 ± 7,94

**Pastaba:** Santykinė paklaida kito nuo 1,87 % iki 27,3 %.

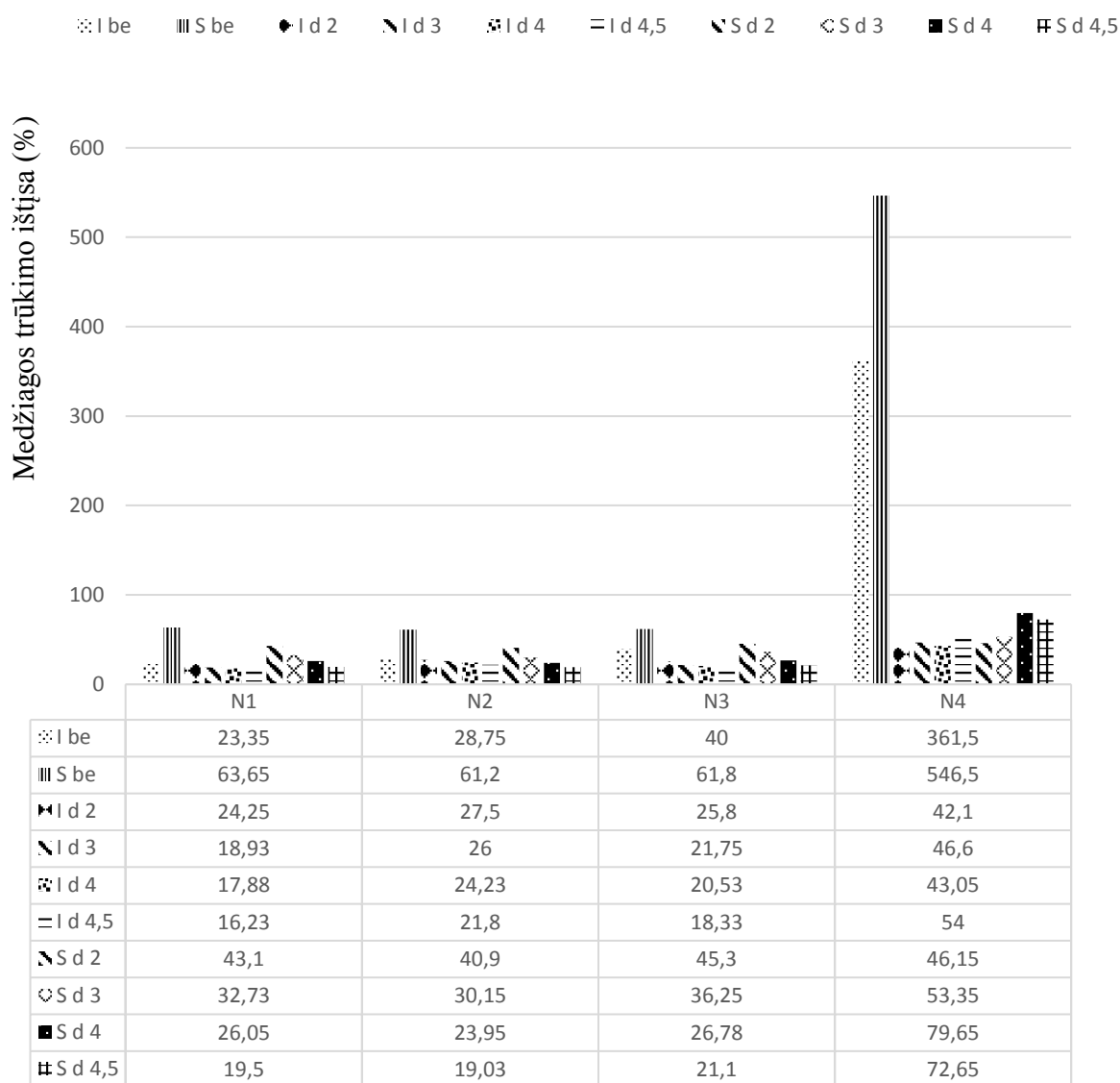
Lyginant tempimo jėgų (N) vertes (žr. 3.1 lentelė) ir trūkimo įtempius (žr. 3.5 pav.) pastebėtas matavimo verčių mažėjimas, didinant defekto skersmenį. Žymiausias jėgų pokytis lyginant bandinį su defektais ir be jų nustatytas N3 medžiagos ilgine kryptimi. Didžiausias įtempio pokytis nustatytas N2 medžiagos, ilgine kryptimi. Analizuojant dengtos tekstilės medžiagos (N1, N2, N3) ir polimerinės plėvelės (N4) jėgų verčių ir trūkimo įtempių suvestines, akivaizdžiai matomas jėgos (žr. 3.1 lentelė) ir trūkimo įtempių (žr. 3.5 pav.) mažėjimas. Dengtų tekstilės medžiagų stiprumo pokytis lyginant medžiaga be defektų ir su didžiausio skersmens defektu, ilgine kryptimi nustatytas nuo 44 % iki 55 %, skersine nuo 46,7 % iki 81,8 %. Polimerinės plėvelės pokytis tiek skersine, tiek ilgine kryptimi yra mažesnis. Jis siekia apie 46 %. Medžiagos kryptis taip pat svarbus faktorius lyginant medžiagų stiprumo pokyčius. Dengtos tekstilės medžiagos didžiausias jėgos pokytis nustatytas skersine kryptimi. Plėvelės stiprumo skirtumo beveik nėra, ar bandinys būtų kirstas skersine kryptimi, ar ilgine kryptimi.





**3.5 pav.** Medžiagų su defektais trūkimo įtempiai

Didžiausias trūkimo įtempis ilgine kryptimi yra N2 medžiagos, mažiausias – N3 bandinių. Ilgine kryptimi didžiausias trūkimo įtempis nustatytas N2 medžiagos, mažiausias – N4 medžiagos (žr. 3.5 pav.). Dengtų tekstilės medžiagų stiprumo pokytis lyginant medžiaga be defektų ir su didžiausio skersmens defektu, ilgine kryptimi nustatytas nuo 51,1 % iki 56 %, skersine nuo 77,6 % iki 81,2 %. Polimerinės plėvelės pokytis yra mažesnis, jis siekia apie 46,7 %. Trūkimo ištįsų diagrama pavaizduota 3.6 paveiksle. Iš gautų ištįsos rezultatų matyti, kad didžiausią ištįsą (procentais) pasiekė medžiaga N4, mažiausią – N1 medžiaga. Taip yra dėl to, kad plėvelė N4 yra plastiška ir jos struktūroje nėra tekstilės medžiagos. Medžiagos kryptis taip pat svarbus faktorius lyginant medžiagų trūkimo įtempių pokyčius be defektų ir su defektais, dengtos tekstilės medžiagos didžiausias jėgos pokytis nustatytas ilgine kryptimi kirstoms medžiagoms, plėvelės stiprumo skirtumo beveik nėra.



**3.6 pav.** Medžiagų su defektais trūkimo ištįsos

Bandymo iki trūkimo metu buvo fiksuota trūkimo ištįsa. Nustatyta, kad didžiausia ištįsa lyginant dengtas tekstilės medžiagas (N1, N2, N3) ir polimerinę plėvelę (N4) skersine ir ilgine kryptimi yra N4 (atitinkamai skersine – 546,5 % ir ilgine – 361,5 %) medžiagos, o mažiausia – N1 (atitinkamai skersine – 63,65 % ir ilgine – 23,55 %) medžiagos (3.6 pav.). Taip pat, analizuotos medžiagos trūkimo ištįsos su defektais (3.6 pav.). Išanalizavus rezultatus galima teigti, jog defektas daro įtaką medžiagos ištįsai. Ji sumažėja. Taip pat, matyti, kad medžiagų tįsumas skersine kryptimi yra didesnis už ilginę krypties medžiagų tįsumą. Dengtų tekstilės medžiagų stirprumo pokytis lyginant medžiaga be defektų ir su didžiausio skersmens defektais, ilgine kryptimi nustatytas nuo

24,1 % iki 54,1 %, skersine nuo 65,8 % iki 69,3 %. Polimerinės plėvelės pokytis tiek skersine, tiek ilgine kryptimi yra mažesnis. Jis siekia apie 86 %. Medžiagos kryptis taip pat svarbus faktorius, lyginant medžiagų stiprumo pokyčius. Dengtos tekstilės medžiagos didžiausias jėgos pokytis nustatytas skersine kryptimi, plėvelės stiprumo skirtumo beveik nėra, ar medžiaga būtų kirpta skersine kryptimi, ar ilgine kryptimi.

Bandiniai po tempimo iki trūkimo bandymo pavaizduoti 3.7 paveiksle. Pagal pateiktas bandinių nuotraukas galima teigti, kad bandiniai su defektu visais atvejais trūko per defekto vidurį.



**3.7 pav.** Bandiniai po tempimo iki trūkimo bandymo

### **3.2. Stiprumo plėšiant tyrimo rezultatai ir jų aptarimas**

Pagal EN 1875-3 [26] standartą numatyta, kad atsparumas plėšiant turi būti mažiausiai 185 N. Tačiau standartinis plėšimo bandymas neatliktas, neturint reikiamos įrangos. Taikant 2.2.2 skyrelyje aprašytą metodiką nustatyta vidutinė medžiagos plyšimo jėga  $F_{tr}$ . (žr. 3.2 lentelę)

### 3.2 lentelė. Tirtų medžiagų plėšimo jėgų verčių suvestinė

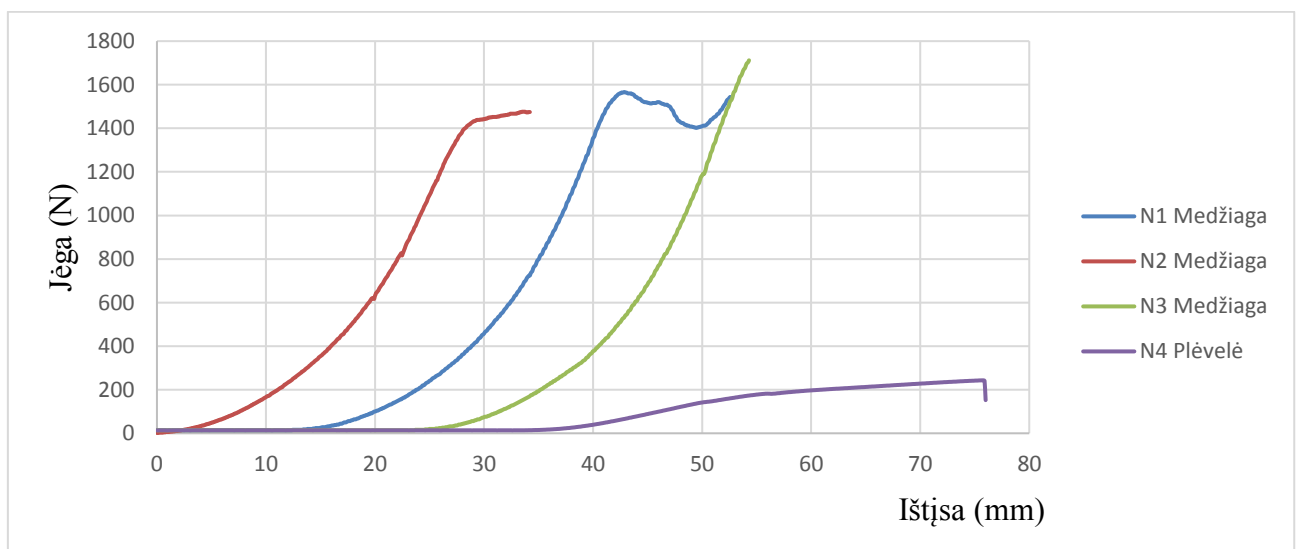
Medžiagos kodas	Plėšimo jėga (N) Skersinė kryptis	Plėšimo jėga (N) Ilginė kryptis
N1	97,87 ± 17,18	63,23 ± 3,86
N2	132,32 ± 16,34	214,32 ± 5,74
N3	190,24 ± 30,46	229,20 ± 18,73

**Pastaba:** Santykinė paklaida nuo 3,86 % iki 30,46 %.

Matyti, kad stiprumo plėšiant vidutinės jėgos rezultatai yra mažesni už tempimo iki trūkimo rezultatus. N3 medžiaga skersine kryptimi – plėšimo bandymo metu, išliko stipriausia, o N1 – silpniausia. Ilgine kryptimi medžiagos yra stipresnės lyginant su skersine kryptimi, išskyrus N1 medžiagą, kuri eksperimento metu skersine kryptimi parodė aukštesnius rodiklius negu ilgine kryptimi.

### 3.3. Medžiagų savybių ir bandinio defektų įtaka duobimo rezultatams

Eksperimentiniais tyrimais nustatyta, kad tirtų medžiagų mechaninė elgsena duobiant priklauso nuo medžiagų savybių ir defektų dydžio bandiniuose.



3.10 pav. Tipinės medžiagų duobimo kreivės

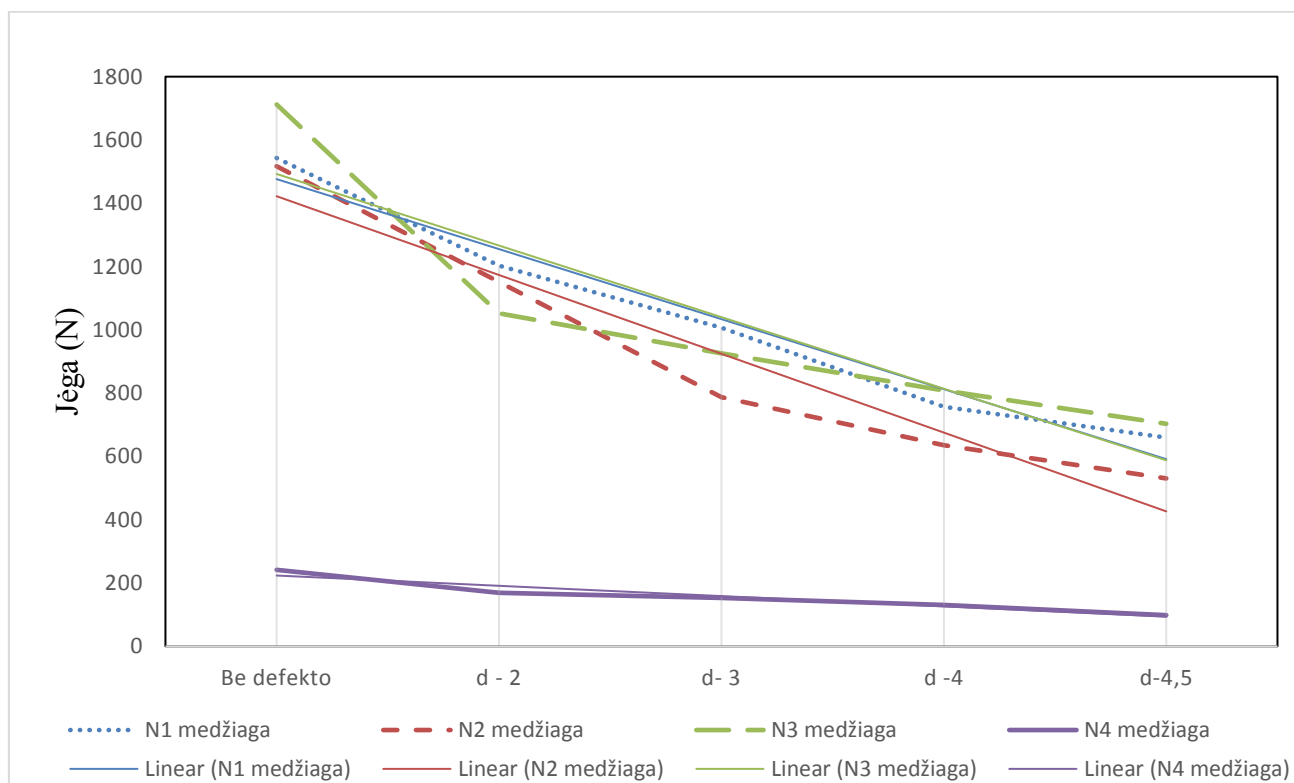
Rezultatai parodė, kad medžiagos stiprumo duobiant jėgos vertė mažai keitėsi N4 medžiagos, dėl to kad N4 medžiaga neturi stiprumą didinančių tekstilės komponentų, tačiau ištįsos vertė buvo apie 75 mm. Palaipsniui didinant jėgą dengtos tekstilės medžiagos ištįsos vertė keitėsi lėčiau. Polimerinės plėvelės jėgos vertė neviršijo 300 N, tačiau ištįsa buvo didžiausia (3.10 pav.).

Dengtų tekstilės medžiagų (N1, N2, N3) ir polimerinės plėvelės (N4) duobimo jėgos rezultatai nurodyti 3.3 lentelėje.

**3.3 lentelė.** Tirtų medžiagų be defektų ir su defektais duobimo jėgų verčių suvestinė

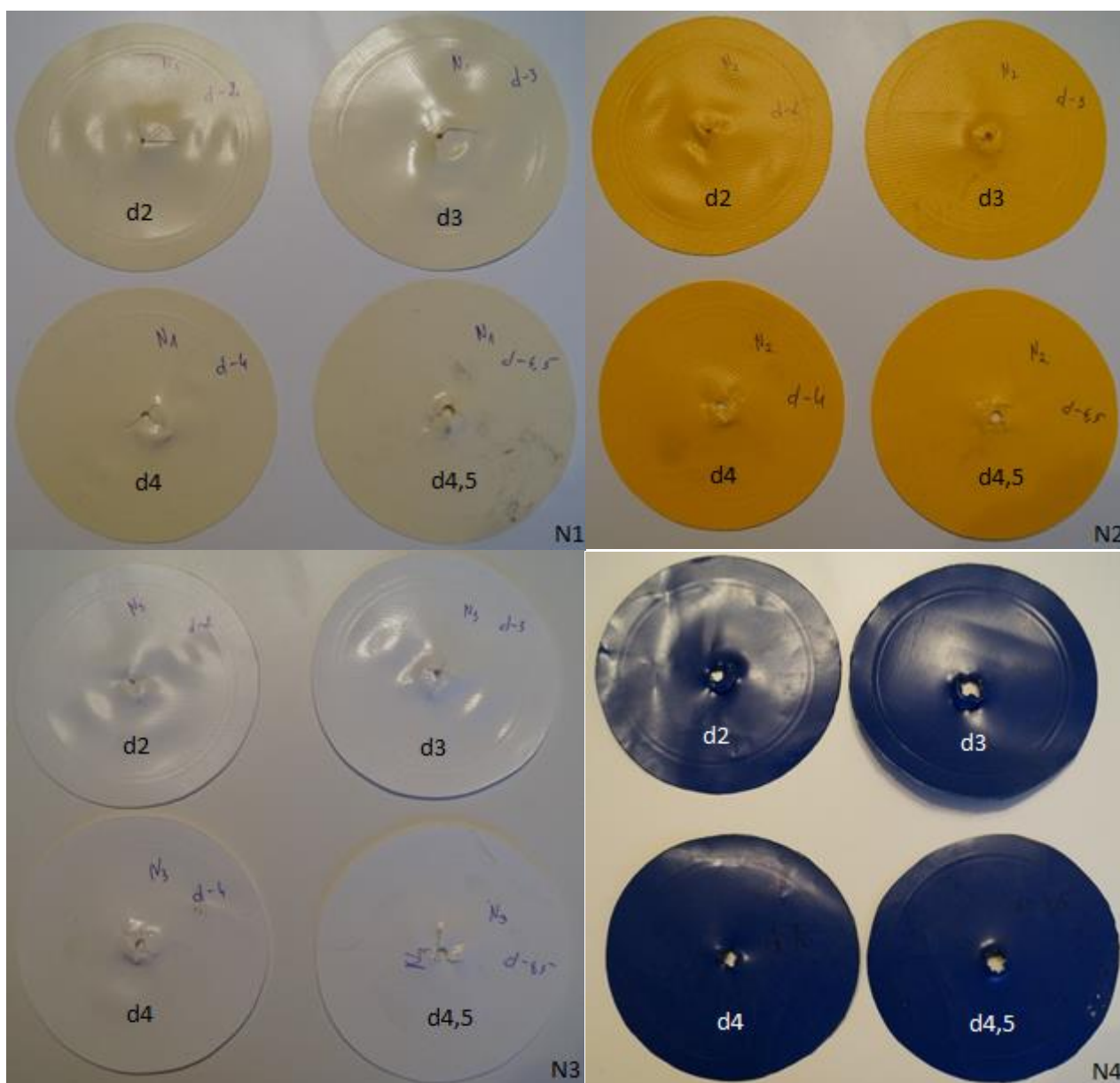
Defekto skersmuo (mm) \ Medžiaga	Be defekto	d 2	d 3	d 4	d 4,5
N1	1542,8 ± 2,9	1202,9 ± 10,4	1006,9 ± 9,94	757,1 ± 12,07	659,6 ± 9,94
N2	1516,9 ± 8,11	1151,7 ± 27,98	787,4 ± 15,36	635 ± 10,99	530,6 ± 7,15
N3	1712 ± 7,95	1052 ± 15,1	925,6 ± 4,22	808,1 ± 19,69	703,1 ± 13,21
N4	241,6 ± 5,98	169,4 ± 3,7	153,2 ± 4,58	130,7 ± 16,12	98,41 ± 13,01

**Pastaba:** Santykinė paklaida kito nuo 2,9 % iki 27,98 %.

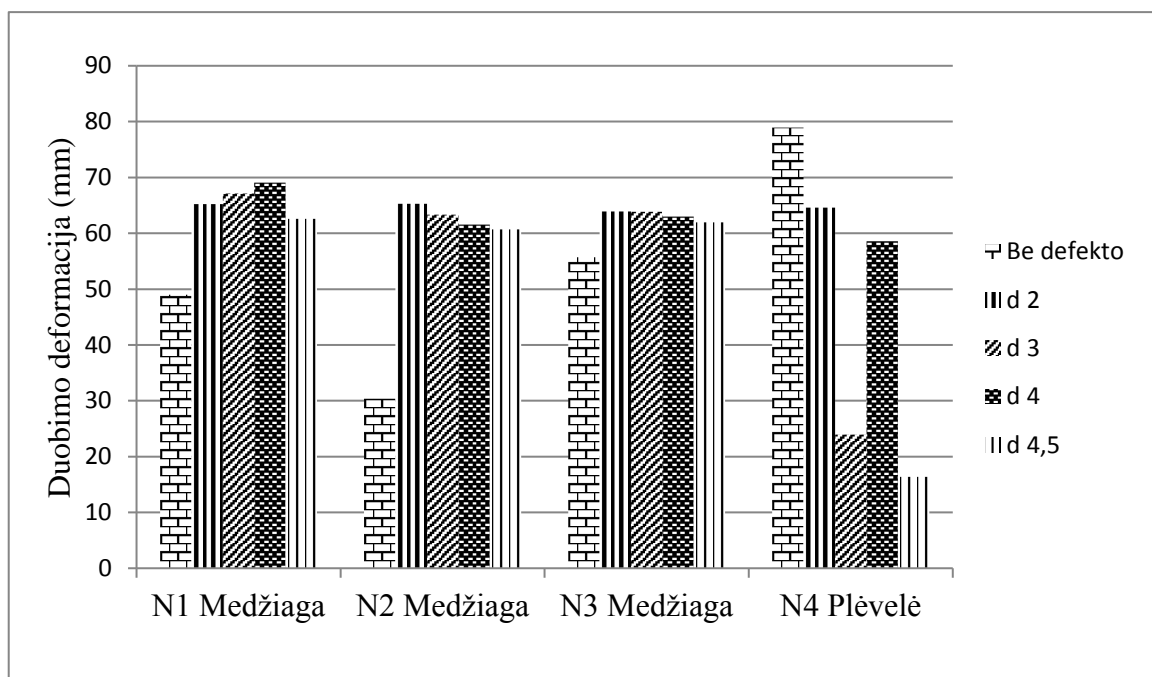


**3.11 pav.** Defekto įtaka medžiagų stiprumui duobiant

Duobimo jėgos priklausomybės nuo defekto dydžio pateiktos 3.11 paveiksle. Didžiausias duobimo jėgos pokytis matomas N3 medžiagos. Analizuojant bandinių vaizdus (3.12 pav.) galima teigti, kad dengtų tekstilės medžiagų (N1, N2, N3) su defektais pokyčiai yra mažesni už polimerinės plėvelės. Medžiaga deformuojasi dažniausiai viena medžiagos kryptimi ten, kur yra silpniausia tekstilės struktūra, o polimerinės plėvelės (N4) suardymas yra kur kas didesnis. Duobimo metu defektas didėja, ir jo skersmeniui pasiekus puansono skersmens vertę, duobimo procesas baigiasi. Dengtų tekstilės medžiagų stiprumo pokytis lyginant medžiaga be defektų ir su didžiausio skersmens defektu, nustatytas N1 – 57,2 %, N2 – 65 %, N3 – 58,9 %. Polimerinės plėvelės pokytis yra 59,2 %.



3.12 pav. Bandiniai po duobimo bandymo



**3.13 pav.** Medžiagų su defektu deformacija puansoninio duobimo procese

Didžiausia deformacija pasižymi medžiaga N4, kitos tirtos medžiagos buvo beveik dvigubai mažiau tąsios (žr. 3.13 pav.). Analizuojant defektų įtaką puansoninio duobimo rezultatams, nustatyta, kad imituojant defektą, N1, N2, N3 duobimo deformacija padidėjo, didinant defekto skersmenį, o polimerinės plėvelės (N4) duobimo deformacija mažėja, didinant defekto skersmenį.

## IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Taikant vienašį tempimo metodą nustatyta, kad N3 medžiagos trūkimo jėga yra didžiausia (402,52 N) vertinant ilgine kryptimi, mažiausia – N4 (45,98 N). Analizuojant skersinės krypties bandinių trūkimo jėgas nustatyta, kad stipriausia medžiaga – N1 (217,72 N), silpniausia – N4 (49,8 N).
2. Tarpusavyje lyginant dengtų tekstilės medžiagų (N1, N2, N3) vienašio tempimo deformacijas skersine kryptimi nustatyta, kad didžiausią deformaciją skersine kryptimi pasiekia N3 medžiaga, ilgine kryptimi – N2 medžiaga. Daugiausiai deformuojasi polimerinė plėvelė N4 skersine (546,58 %) ir ilgine (361,5 %) kryptimis, lyginant su dengtomis tekstilės medžiagomis.
3. Nustatyta, kad vienašio tempimo metu, bandinių su defektais stiprumas ir tūsumas yra mažesnis už bandinių be defektų.
4. Nustatyta, kad pakopiškai didinant defekto dydį, dengtų tekstilės medžiagų (N1, N2, N3) ir polimerinės plėvelės (N4) stiprumas mažėja palyginti su bandiniais be defektų. Dengtų medžiagų tūsumas taip pat proporcingai mažėja, didėjant defektui. Tačiau polimerinės plėvelės tūsumo mažėjimas nėra proporcingas defekto padidėjimui.
5. Vertinant tirtų medžiagų stiprumą plėšiant nustatyta, kad skersine ir ilgine kryptimis N3 medžiaga stipriausia (atitinkamai, 190,24 N ir 229,2 N), o silpniausia N1 medžiaga (skersine kryptimi – 97,87 N bei ilgine kryptimi – 63,23 N).
6. Taikant puansoninio duobimo metodą nustatyta, kad stipriausia medžiaga iš dengtų tekstilės medžiagų – N3 (1712 N), silpniausia – N2 (1516,9 N). Polimerinės plėvelės duobimo jėga – 241,6 N. Didžiausia deformacija nustatyta N4 polimerinės plėvelės (78,94 %), mažiausia – N2 dengtos tekstilės medžiagos (30 %), lyginant visas tirtas medžiagas (N1, N2, N3, N4) tarpusavyje.
7. Duobiant bandinius su defektu nustatyta, kad bandinių stiprumas palaipsniui mažėjo. Deformacijos vertė didėjo dengtuose tekstilės medžiagose (N1, N2, N3), o mažėjo polietileno plėvelės (N4), lyginant su medžiagų bandiniais be defektų.
8. Dengtų medžiagų duobimo metu nustatyta, kad bandinių su defektais duobimo deformacija yra didesnė už bandinių be defektų deformaciją. Lyginant tarpusavyje dengtų medžiagų bandinius su defektais matyti, kad didėjant defekto skersmeniui N2 ir N3 medžiagų deformacija rodo tendenciją mažėti, o N1 – didėti. N4 polimerinės plėvelės duobimo deformacija, bandinyje suformavus defektą sumažėja, palyginti su bandinio be defekto deformacija.



## LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. UAB AGRO ANGARAI [interaktyvus]. 2007. [žiūrėta 2016.08.30] Prieiga per: <http://www.agroangarai.lt/klausimai-ir-atsakymai-58/lt/>
2. *LST EN 12641-1. Nuimamieji kėbulai ir krovininiai automobiliai. Tentai. 1 dalis. Mažiausieji reikalavimai = Swap bodies and commercial vehicles – Tarpaulins – Part 1: Minimum requirements: Europos standartas EN 12641-1:2005 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2005.
3. UAB SD Prekyba [interaktyvus]. 2013. [žiūrėta 2016.11.17]. Prieiga per: <http://www.sdprekyba.lt/tentiniai-audiniai.html>
4. *LST EN 12641-2. Nuimamieji kėbulai ir krovininiai automobiliai. Tentai. 2 dalis. Mažiausieji slankiųjų uždangalų reikalavimai = Swap bodies and commercial vehicles – Tarpaulins – Part 2: Minimum requirements for curtainsiders: Europos standartas EN 12641-2: 2006 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2007.
5. SATHISHKUMAR TP, J NAVEEN and S SATHEESHKUMAR (2014). Hybrid fiber reinforced polymer composites – a review. *Journal of reinforced plastics & composites* Vol. 33(5) 454-471.
6. DAUKANTIENĖ Virginija ir Matas GUTAUSKAS (2001). The influence of specimen geometry and local defects on polyethylene membrane behaviour in punch deformation process. *Polymer testing* 20 579-583.
7. STAZDIENĖ Eugenija and Matas GUTAUSKAS (2001). The peculiarities of textile behaviour in biaxial punch deformation. *International Journal of Clothing Science and Technology* pp. 201-05.
8. STRAZDIENĖ E., V. DAUKANTIENĖ ir M. GUTAUSKAS (2000). Friction factor in polyethylene membrane punch deformation. *Polymer testing* 20 (191-197).
9. DAUKANTIENĖ V. and Matas GUTAUSKAS (2003). The Structural Changes of Polyethylene Film during Punch Deformation. *Materials science (Medžiagotyra)*. Vol.9 No. 2.
10. JUODSNUKYTĖ Daiva, Matas GUTAUSKAS ir Elytė ČEPONONIENĖ (2006). Mechanical Stability of Fabrics for Military Clothing. Faculty of Design and Technologies, Kaunas University of Technology.

11. PAWLOWA Maria and Halina SZAFRANSKA (2007). Form Durability of Clothing Laminates from the Standpoint of Maintenance Procedures. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* Vol. 15, No. 3(62).
12. OZIPEK O. B., E. BOZDAG, E. SUNBULOGLU, A. ABDULLAHOGLU, E. BELEN and E. CELIKKANAT (2013). Biaxial Testing of Fabrics - A Comparison of Various Testing Methodologies. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 78.
13. YINGYING Zhang, Song XIAOGUANG, Zhang QILIN and LV HENGLIN (2014). Fracture failure analysis and strength criterion for PTFE- coated woven fabrics. *Journal of composite Materials* Vol. 49(12) 1409-1421.
14. WANG Shengnan, Baozhonh SUN and Bogong GU (2013). Analytical modeling on mechanical responses and damage morphology of flexible woven composites under trapezoid tearing. *Textile Research Journal* 83(12) 1297–1309.
15. RUKUIŽIENĖ Žaneta ir Rimvydas MILAŠIUS (2006). Inequality of woven fabric elongation in width and change of warp inequality under axial and biaxial tensions. *Fibres & textiles in Eastern Europe* Vol.14, No. 1 (55).
16. BAGHAEI B., M SHANBEH and A A GHAREAGHAJI (2010). Effect of tensile fatigue cyclic loads on bagging deformation of elastic woven fabrics. *Indian Journal of Fibre & Textile Research* Vol. 35, December 2010, pp. 298-302.
17. KOZIOL Mateusz (2012). Effect of thread tension on mechanical performance of stitched glass fibre- reinforced polymer laminates- experimental study. *Journal of composite materials* 47(16) 1919-1930.
18. LEAL A. Andres, Joseph M. DEITZEL and John W. GILLESPIE JR (2009). Compressive Strength Analysis for High Performance Fibers with Different Modulus in Tension and Compression. *Journal of composite materials*, Vol. 43.
19. YINGYING Zhang, Xu JUNHAO and Zhang QILIN (2016). Advances in mechanical properties of coated fabrics in civil engineering. *Journal of Industrial Textiles* 0(00) 1–17.
20. CHEROUAT Abel and Hounan BOROUCHEKI (2009). Present State of the Art of Composite Fabric Forming: Geometrical and Mechanical Approaches. Charles Delaunay Institute-Project GAMMA3, University of Technology of Troyes.
21. YANG Xudong, Xiuting JIANG, Jiyong HU, Fangjuan WANG and Chun HU (2016). Relationship between physical and mechanical properties of accelerated weathering and outdoor weathering of PVC- coated membrane material under tensile stress. *Journal of Industrial Textiles* 0(00).

22. JUODSNUKYTĖ Daiva, Virginija DAUKANTIENĖ and Matas GUTAUSKAS (2007). Investigating the implications of static and dynamic loading in high- performance fabrics for outdoor clothing. *International Journal of Clothing Science and Technology* Vol.20 No.1 pp.7-14.
23. TOMASZEWSKA Jolanta, Krystyna WRZESNIEWSKA- TOSIK, Stanislaw ZAJCHOWSKI, Anita PARTYKA and Tomasz MIK (2016). Tri- component Recycled PVC/PE- HD Material Composite with Keratin Fibres. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe* 73-80.
24. *LST EN ISO 2231. Guma arba plastiku padengtos medžiagos. Standartinis kondicionavimo ir bandymo klimatas (ISO 2231:1989) = Rubber or plastics coated fabrics. Standard atmospheres for conditioning and testing: Europos standartas EN ISO 2231: 1995 turi Lietuvos standarto statusą. .* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2000.
25. *LST EN ISO 2589. Oda. Fizikiniai ir mechaniniai bandymai. Storio nustatymas (ISO 2589:2016) = Leather – Physical and mechanical tests – Determination of thickness: Europos standartas EN ISO 2589:2016 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2016.
26. *LST EN ISO 4674-1. Guma arba plastiku padengtos medžiagos. Atsparumo plėšimui nustatymas 1 dalis. Plėšimo pastoviu greičiu metodai (ISO 4674-1:2003) = Rubber- or plastics- coated fabrics – Determination of tear resistance – Part 1: Constant rate of tear methods: Europos standartas EN ISO 4674-1:2003 turi Lietuvos standarto statusą.* Vilnius: Lietuvos standartizacijos departamentas, 2005.

## **PRIEDAI**

**1 lentelė.** Pradiniai medžiagos storio  $\delta$  (mm) ir masės (g) matavimo duomenys

Medžiagos kodas	Masė, g	Storis, mm
<b>N1</b>	6,77	0,2
	6,62	0,2
	6,69	0,21
	6,68	0,21
	6,63	0,21
(Vid. X)	6,67	0,21
Variacijos koeficientas, %	0,9	2,66
Santykinė atsitiktinė paklaida, $\delta\%$	1,11	3,3
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	0,074	0,007
<b>N2</b>	4,45	0,1
	4,48	0,09
	4,41	0,09
	4,42	0,09
	4,43	0,1
(Vid. X)	4,44	0,094
Variacijos koeficientas, %	0,63	5,83
Santykinė atsitiktinė paklaida, $\delta\%$	0,78	7,23
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	0,03	0,007
<b>N3</b>	6,32	0,24
	6,28	0,25
	6,22	0,26
	6,34	0,25
	6,28	0,25
(Vid. X)	6,28	0,25
Variacijos koeficientas, %	0,78	2,83
Santykinė atsitiktinė paklaida, $\delta\%$	0,91	3,51
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	0,06	0,009
<b>N4</b>	3,077	0,02
	2,833	0,05
	2,999	0,04
	2,893	0,04
	2,988	0,06
(Vid. X)	2,96	0,042
Variacijos koeficientas, %	3,23	35,32
Santykinė atsitiktinė paklaida, $\delta\%$	4,01	43,84
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	0,12	0,018

**2 lentelė.** Pradinės medžiagų plėšimo jėgų vertės ir statistiniai parametrai

Medžiagos kodas	Ilginė kryptis	Skersinė kryptis
<b>N1</b>	62,42	121,3
	58,5	91,9
	67,0	84,9
	64,01	94,4
	64,1	96,7
(Vid. X)	63,23	97,87
Variacijos koeficientas, %	4,92	14,15
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	6,1	17,56
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	3,86	17,18
<b>N2</b>	221,9	141,9
	220,2	131,7
	217,6	128,3
	214,3	112,8
	197,3	146,6
(Vid. X)	214,32	132,32
Variacijos koeficientas, %	4,62	9,95
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	5,74	12,36
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	5,74	16,34
<b>N3</b>	216,5	190,8
	214,5	215,5
	245,8	213,5
	224,4	167,8
	244,5	163,3
(Vid. X)	229,20	190,24
Variacijos koeficientas, %	6,58	12,9
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	8,17	16,02
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	18,73	30,46

**3 lentelė.** Pradiniai medžiagų duobimo rezultatai

Medžiagos kodas	Jėga (N)
<b>N1</b>	1518
	1594
	1566
	1528
	1508
(Vid. X)	1542,8
Variacijos koeficientas, %	2,34
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	2,9
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	44,78
<b>N2</b>	1414,5
	1452
	1476
	1646
	1596
(Vid. X)	1516,9
Variacijos koeficientas, %	6,53
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	8,11
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	110,3
<b>N3</b>	1712
	1824
	1742
	1736
	1528
(Vid. X)	1712
Variacijos koeficientas, %	6,4
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	7,95
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	135,7
<b>N4</b>	246
	243
	248,75
	249
	221,25
(Vid. X)	241,6
Variacijos koeficientas, %	4,82
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	5,98
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	14,44

**4 lentelė.** Pradiniai medžiagų su defektu duobimo rezultatai

Medžiagos kodas	d2	d3	d4	d4,5
<b>N1</b>	1245	882	637,5	652,5
	1288,5	1051,25	839	689,25
	1073,75	1051,25	766,4	623,25
	1290	971	780,8	600
	1117,5	1078,75	761,6	732,75
(Vid. X)	1202,9	1006,9	757,1	659,6
Variacijos koeficientas, %	8,38	8,01	9,73	8,01
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	10,4	9,94	12,07	9,94
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	125,2	100,1	91,4	65,56
<b>N2</b>	1132,5	719,25	636	564
	1600	780,8	732	546
	1042,5	669	600	489
	1041,25	867	603	509,25
	942	901	603,75	544,5
(Vid. X)	1151,7	787,4	635	530,6
Variacijos koeficientas, %	22,54	12,37	8,85	5,76
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	27,98	15,36	10,99	7,15
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	322,2	120,9	69,78	37,92
<b>N3</b>	1269	876	764,8	657
	953	947	1027,5	817
	1063,75	953	809	619,5
	983	938	716,25	720,75
	991	914	723	701,25
(Vid. X)	1052	925,6	808,1	703,1
Variacijos koeficientas, %	12,17	3,4	15,9	10,64
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	15,1	4,22	19,7	13,21
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	158,9	39,05	159,1	93,52
<b>N4</b>	162	148,65	158,4	114,37
	173	162,6	127,05	99,7
	174,6	153,4	129,6	97,3
	170,6	152,4	112	86
	167	148,95	126,3	94,7
(Vid. X)	169,4	153,2	130,7	98,41
Variacijos koeficientas, %	3	3,7	13	10,48
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	3,7	4,58	16,12	13,01
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	6,27	7,02	21,06	12,8



**5 lentelė.** Pradiniai medžiagos tempimo iki trūkimo rezultatai

Medžiagos kodas	Ilginė kryptis	Skersinė kryptis
<b>N1</b>	394,8	210,75
	393,2	190,6
	412,5	245
	381,2	222
	416	220,25
(Vid. X)	399,54	217,72
Variacijos koeficientas, %	3,62	9,05
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	4,5	11,24
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	18	24,46
<b>N2</b>	275,2	163
	283,2	163,6
	291,6	157,6
	266,8	160
	272,8	160,6
(Vid. X)	277,92	160,96
Variacijos koeficientas, %	3,47	1,51
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	4,31	1,87
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	12	3,01
<b>N3</b>	459	154
	434,5	158
	276,8	149,7
	477,5	160,6
	364,8	159
(Vid. X)	402,52	156,26
Variacijos koeficientas, %	20,43	2,82
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	25,37	3,51
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	102,1	5,47
<b>N4</b>	48	44
	49,3	50
	44,3	54
	45,3	47
	43	54
(Vid. X)	45,98	49,8
Variacijos koeficientas, %	5,68	8,8
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	7,05	10,92
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	3,24	5,44

**6 lentelė.** Pradiniai medžiagos su defektu tempimo iki trūkimo rezultatai ilginė kryptis

Medžiagos kodas	d2	d3	d4	d4,5
<b>N1</b>	321,6	215	230	178,4
	305,6	283,2	219	178
	280,8	231	222	209
	343,6	270,8	221,75	163,4
	277,2	204	192,6	174,6
(Vid. X)	305,76	240,8	217,07	180,68
Variacijos koeficientas, %	9,14	14,41	6,58	9,38
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	11,34	17,88	8,17	11,65
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	34,68	43,07	17,73	21,05
<b>N2</b>	173,4	170	159,4	126
	202,75	156	206,75	156
	201,75	176	137,4	99,7
	190,4	164	152,4	138
	232	191,4	154	91
(Vid. X)	200,06	171,48	161,99	122,14
Variacijos koeficientas, %	11	7,8	16,3	22
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	13,29	9,68	20,17	27,3
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	25,59	16,6	32,67	33,35
<b>N3</b>	272,8	241,75	227	208
	281,6	284,8	220	197
	268	248	222,25	198
	280	248,25	236	182
	286	256	207	198,4
(Vid. X)	277,68	255,76	222,45	166,68
Variacijos koeficientas, %	2,59	6,65	4,76	4,75
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	3,22	8,25	5,91	5,89
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	8,94	21,11	13,15	11,59
<b>N4</b>	31,3	28,3	28	22,7
	32,7	31	27,7	25,3
	35	29,7	25	25,7
	32,3	30,7	22,3	25
	33,3	27	26,7	23,7
(Vid. X)	32,92	29,34	25,94	24,48
Variacijos koeficientas, %	4,17	5,73	9,05	5,09
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	5,17	7,11	11,24	6,32
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	1,71	2,09	2,92	1,55

**7 lentelė.** Pradiniai medžiagų su defektu tempimo iki trūkimo rezultatai skersinė kryptis

Medžiagos kodas	d2	d3	d4	d4,5
<b>N1</b>	130,65	80,3	67	41
	110	89	62,7	36
	127,35	87,7	49,7	46
	121,37	83	49,3	39,3
	121,37	91,3	61,3	35
(Vid. X)	122,15	86,26	58	39,46
Variacijos koeficientas, %	6,45	5,22	13,9	11,12
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	8,01	6,48	17,21	13,81
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	9,78	5,59	9,98	5,45
<b>N2</b>	119,62	78,7	50,3	38,3
	116,37	76,7	48	39,3
	104	65,3	56	32,3
	118,62	68	58,3	34,7
	118	75	51,7	33,7
(Vid. X)	115,32	72,74	52,86	35,66
Variacijos koeficientas, %	5,58	7,96	7,97	8,45
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	6,93	9,88	9,89	10,48
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	7,99	7,19	5,23	3,74
<b>N3</b>	103,37	79,7	51,3	33,3
	101,37	84,7	56	47
	107	79,3	42	31,3
	106	72,7	48,7	32
	103	82	43,7	31,3
(Vid. X)	104,15	79,68	48,34	34,98
Variacijos koeficientas, %	2,21	5,59	11,8	19,35
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	2,75	6,94	14,6	24,02
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	2,86	5,53	7,06	8,4
<b>N4</b>	31	29	25,7	28,3
	33	29	27,3	27
	33,3	28	28,3	29
	32,7	31,3	27	24,7
	32	28,7	28,7	28,7
(Vid. X)	32,4	29,2	27,4	27,54
Variacijos koeficientas, %	2,84	4,26	4,3	6,4
Santykinė atsitiktinė paklaida, δ%	3,52	5,29	5,34	7,94
Absoliutinė atsitiktinė paklaida	1,14	1,54	1,46	2,19